



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura  
Engenharia Civil de Infraestrutura

**ESTUDIO EXPLORATORIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA  
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO  
*CROSS LAMINATED TIMBER* (CLT) EN FOZ DE IGUAZÚ**

FRANZ JHONATHAN ZEA CCATAMAYO

Foz do Iguaçu, PR  
Julho de 2018



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura  
Engenharia Civil de Infraestrutura

**ESTUDIO EXPLORATORIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA  
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO  
CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EN FOZ DE IGUAZÚ**

FRANZ JHONATHAN ZEA CCATAMAYO

Plano de Trabalho apresentado à Banca Examinadora do  
Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA,  
como parte dos requisitos para obtenção do Grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Katia Punhagui

Foz do Iguaçu, PR  
Julho de 2018

## RESUMEN

El sistema constructivo de Madera Contralaminada (MCL), en inglés *Cross Laminated Timber* (CLT), es una técnica industrializada que genera mínimas cantidades de desperdicios ya que es prefabricada y su ejecución es rápida debido al montaje de los paneles. Actualmente, en el mercado de construcción brasileño existen pocas residencias construidas en CLT. Asimismo, en Foz de Iguazú no se encuentran construcciones en CLT, por lo que este estudio busca realizar un estudio exploratorio de la viabilidad técnico-económica para la implementación del sistema constructivo CLT en el municipio, tomando en consideración el confort térmico, la legislación actual y los precios de construcción. Para ello, se caracterizó la habitación en Foz de Iguazú mediante una clasificación socioeconómica por el número de salarios mínimos identificando a las clases: baja, media baja, media, media alta y alta; se caracterizó el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú por medio del rango de precios y precios de venta que es considerado por este sector para los padrones de construcción bajo, medio y alto; se identificó la demanda actual por cada uno de los padrones de construcción; se analizó la viabilidad técnico-económica por medio de su capacidad frente al clima, legislación actual y precios de venta de construcción; y se identificó el nicho de mercado propicio para ofrecer el sistema constructivo CLT. Finalmente, se tuvo como resultado la viabilidad técnico-económica para implementar el sistema constructivo de casas de un pavimento con un nicho de mercado en padrones bajos, con lucros de 5% hasta 7,4%, ya que ello demanda la construcción de menores áreas, por lo tanto, economiza la cantidad del uso de paneles y disminuye el tiempo de construcción. Así, este sistema constructivo se presenta como una opción más en el abanico de posibilidades de construcción en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú.

**Palabras-clave:** Madera. *Cross Laminated Timber*. Viabilidad técnico-económica.

## RESUMO

O sistema construtivo de Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC), em inglês *Cross Laminated Timber* (CLT), é uma técnica industrializada que gera mínimas quantidades de desperdício e a execução é rápida devido a montagem dos painéis. Atualmente, no mercado de construção brasileiro existem poucas residências construídas em CLT. No caso de Foz do Iguaçu não existem construções feitas em CLT, pelo que o estudo busca realizar uma análise de exploração inicial da viabilidade técnico-econômica para implementação do sistema construtivo CLT no município, considerando o desempenho térmico, a legislação atual e os preços de construção. Para isso se caracterizou a habitação em Foz do Iguaçu mediante uma classificação socioeconômica pelo número de rendas mínimas; caracterizou-se o mercado imobiliário de Foz do Iguaçu por meio da faixa de preços e preços de venda que é considerado pelo setor para os padrões de construção Baixo, Médio e Alto; se identificou a demanda atual por cada um dos padrões de construção; se analisou a viabilidade técnico-econômica por meio da sua propriedade térmica, legislação atual e preços de construção; e se identificou o nicho de mercado propício para oferecer o sistema construtivo de CLT. Finalmente, se teve como resultado a viabilidade técnico-econômica para implementar no sistema construtivo de casas térreas com o nicho de mercado em padrões baixos, com lucros de 5% até 7,4%, já que demanda construção de menor área, portanto, economiza a quantidade do uso de painéis e diminui o tempo de construção. Assim, o CLT apresenta-se como uma opção a mais para o mercado imobiliário de Foz do Iguaçu.

**Palavras-chave:** Madeira. *Cross Laminated Timber*. Viabilidade técnico-econômica.

## **ABSTRACT**

The constructive system Cross Laminated Timber (CLT), is an industrialized technique that generates minimum amounts of waste since it is prefabricated and its execution is fast due to the assembly of the panels. Currently, in the Brazilian construction market there are few residences built in CLT. Also, in Foz de Iguazú there are no constructions in CLT, so this study seeks to exploratory analyze the technical-economic viability for the implementation of the CLT construction system in the municipality, taking into account thermal comfort, current legislation and prices of building. To do this, a characterization of the housing in Foz de Iguazú was made through a socioeconomic classification by the number of minimum wages identifying the classes: low, medium low, medium, high and high average; the real estate market of Foz de Iguazú was characterized through the range of prices and sales prices that is considered by this sector for the low, medium and high construction standards; and the favorable market niche was identified to offer the CLT construction system. Finally, the result of the investigation was the technical-economic viability to implement the constructive system of houses of a pavement with a market niche in low standards, with profits of 5% up to 7.4%, since this demands the construction of smaller areas, therefore, saves the amount of use of panels and decreases construction time. Thus, this construction system is presented as one more option in the range of construction possibilities in the real estate market of Foz de Iguazú.

**Keywords:** Wood. Timber. Cross Laminated Timber. Technical-economic viability.

## DEDICATORIA

A mis padres, mis hermanos, mi novia y mi hija que viene en camino. Seres que iluminan mi recorrido en la vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por conducirme en esta jornada, amparándome en los momentos difíciles y mostrándome el camino en las horas inciertas.

A mis padres, Mario y Teodomira, por su esfuerzo, dedicación y amor en todos los momentos de mi vida.

A mi novia, Jhomelin, por su paciencia y apoyo incondicional en cada momento de este último tramo de mi vida académica de graduación.

A mi profesora orientadora, Katia Punhagui, por su entereza y dedicación en el proceso de orientación para llevar a cabo este trabajo.

A mi amigo y corredor de inmuebles, Jefferson Balsevicius, por haberme ayudado a contactarme con las inmobiliarias y zanjado muchas dudas respecto al mercado inmobiliario de Foz de Iguazú.

A los representantes de las inmobiliarias quienes gentilmente nos concedieron las entrevistas que fueron fundamentales para el logro de los objetivos de este trabajo.

Al gerente de la proveedora entrevistada, quien amablemente me atendió y cedió parte de su valioso tiempo.

A todos los profesores de la carrera de Ingeniería Civil de Infraestructura, por sus enseñanzas y por sus grandes aportes que fueron útiles para el logro de mi vida académica.

A los profesores miembros de la banca por sus contribuciones que ayudaron a fortalecer el presente trabajo.

A mis compañeros de la carrera y amigos, que la UNILA me permitió conocer, por todos los momentos compartidos dentro y fuera de aulas.

A todos ellos, mi profundo agradecimiento.

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| RESUMEN.....   | iii |
| RESUMO.....  | iv  |
| ABSTRACT .....   | v   |
| DEDICATORIA .....  | vi  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | vii |
| 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICATIVA .....                                  | 13  |
| 2. OBJETIVOS.....  | 15  |
| 2.1 Objetivo General .....   | 15  |
| 2.2 Objetivos Específicos.....   | 15  |
| 3. SÍNTESIS DE LA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....                        | 16  |
| 3.1 Madera Contralaminada (MCL).....                                   | 16  |
| 3.1.1 Histórico del desenvolvimiento de la tecnología CLT .....        | 16  |
| 3.1.2 Construcciones en CLT.....                                       | 18  |
| 3.1.3 Proceso de Fabricación .....                                     | 25  |
| 3.1.4 Propiedades del CLT .....  | 30  |
| 3.1.5 Formas de construcción.....                                      | 35  |
| 3.1.6 Sistema de Uniones.....  | 35  |
| 3.1.7 Costos.....  | 40  |
| 3.2 Albañilería Convencional (Técnica constructiva de referencia)..... | 41  |
| 3.2.1 Proceso constructivo.....  | 42  |
| 4. METODOLOGÍA .....   | 47  |
| 4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                              | 47  |
| 4.2 Caracterización habitacional de Foz do Iguazú .....                | 48  |
| 4.3 Caracterización del mercado inmobiliario de Foz de Iguazú.....     | 51  |
| 4.4 Análisis de viabilidad técnico-económica .....                     | 53  |
| 4.4.1 Descripción del CLT.....   | 54  |
| 4.4.2 Análisis de viabilidad técnica.....                              | 54  |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.4.3 | Análisis de viabilidad económica.....                 | 55 |
| 4.4.4 | Identificación del Nicho de Mercado.....              | 57 |
| 5.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                           | 58 |
| 5.1   | Características habitacionales de Foz de Iguazú ..... | 58 |
| 5.1.1 | Renta domiciliar .....                                | 58 |
| 5.1.2 | Tipos de material de construcción.....                | 58 |
| 5.1.3 | Número de dormitorios.....                            | 59 |
| 5.2   | Características del mercado inmobiliario .....        | 60 |
| 5.2.1 | Precio de venta .....                                 | 60 |
| 5.2.2 | Oferta inmobiliaria .....                             | 61 |
| 5.2.3 | Demanda inmobiliaria .....                            | 63 |
| 5.3   | Viabilidad Técnico-económica.....                     | 64 |
| 5.3.1 | Viabilidad Técnica .....                              | 64 |
| 5.3.2 | Viabilidad Económica.....                             | 68 |
| 5.4   | Elección del nicho de mercado.....                    | 70 |
| 6.    | CONCLUSIONES .....                                    | 72 |
| 7.    | FUTUROS ESTUDIOS.....                                 | 74 |
| 8.    | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                      | 75 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Capas de CLT.....                                      | 17 |
| Figura 2. Tipos de capas de CLT.....                             | 17 |
| Figura 3. Edificio Forte Living.....                             | 18 |
| Figura 4. Actividades de la fase de Construcción del Forte.....  | 19 |
| Figura 5. Edificio <i>The Tree</i> .....                         | 20 |
| Figura 6. Detalle de las armaduras.....                          | 20 |
| Figura 7. Edificio <i>Dalston Lane</i> .....                     | 21 |
| Figura 8. <i>Edificio Brock Commons</i> .....                    | 21 |
| Figura 9. Componentes del <i>Brock Commons</i> .....             | 22 |
| Figura 10. Casa en Tiradentes.....                               | 23 |
| Figura 11. Casa María y José.....                                | 24 |
| Figura 12. Edificio <i>Floresta Urbana</i> .....                 | 25 |
| Figura 13. Fases de Producción de CLT.....                       | 25 |
| Figura 14. Control de humedad.....                               | 26 |
| Figura 15. Agrupación de tablas.....                             | 27 |
| Figura 16. Cepillado de las tablas.....                          | 28 |
| Figura 17. Aplicación de colas.....                              | 28 |
| Figura 18. Panelado del tablero.....                             | 29 |
| Figura 19. Control en la estanqueidad del aire.....              | 32 |
| Figura 20. Unión muro-cimentación con pletina angular.....       | 36 |
| Figura 21. Unión muro-cimentación con tornillos en diagonal..... | 36 |
| Figura 22. Unión muro-cimentación con pletina plana.....         | 36 |
| Figura 23. Uniones paredes internas-paredes externas.....        | 37 |
| Figura 24. Unión paredes externas.....                           | 38 |
| Figura 25. Unión entre forjados unidireccionales.....            | 38 |
| Figura 26. Unión entre forjados bidireccionales.....             | 39 |
| Figura 27. Unión de cúpula del techo.....                        | 39 |
| Figura 28. Unión de pared con techo.....                         | 40 |
| Figura 29. Unión para techos planos.....                         | 40 |
| Figura 30. Construcción Convencional.....                        | 41 |
| Figura 31. Vigas de cimentación.....                             | 43 |
| Figura 32. Estacas o Pilotes.....                                | 44 |
| Figura 33. Losas de cimentación.....                             | 44 |
| Figura 34. Losas con viguetas T.....                             | 45 |
| Figura 35. Conferencia del nivel y plomo.....                    | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 36. Revestimiento .....  | 46 |
| Figura 37. Flujograma de la Metodología.....                          | 47 |
| Figura 38. Mapa de Foz de Iguazú .....                                | 48 |
| Figura 39. Rentas domiciliarias por clases sociales .....             | 58 |
| Figura 40. Material de las paredes externas de las viviendas .....    | 59 |
| Figura 41. Número de dormitorios por vivienda.....                    | 59 |
| Figura 42. Ofertas del Mercado Inmobiliario de Foz de Iguazú. ....    | 61 |
| Figura 43. Cantidad de tipos de viviendas ofertadas por padrones..... | 62 |
| Figura 44. Porcentaje de oferta de viviendas según los padrones. .... | 62 |
| Figura 45. Oferta de cantidad de dormitorios .....                    | 63 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Tabla de Construcciones en CLT .....                                   | 23 |
| Tabla 2. Conductividad térmica de materiales .....                              | 31 |
| Tabla 3. Calor específico de materiales .....                                   | 31 |
| Tabla 4. Aislamiento al ruido aéreo para paredes .....                          | 33 |
| Tabla 5. Comparación de las pérdidas de los materiales .....                    | 42 |
| Tabla 6. Clasificación Social por rentas domiciliarias.....                     | 50 |
| Tabla 7. Instituciones analizadas .....   | 51 |
| Tabla 8. Inmobiliarias elegidas.....  | 52 |
| Tabla 9. Precio de venta por padrones. ....                                     | 60 |
| Tabla 10. Precio de venta x m <sup>2</sup> .....                                | 60 |
| Tabla 11. Demandas en el sector inmobiliario .....                              | 63 |
| Tabla 12. Transmitancias para diferentes espesuras de paredes de CLT .....      | 66 |
| Tabla 13. Transmitancia térmica para la cobertura de CLT .....                  | 67 |
| Tabla 14. Capacidades térmicas para diferentes espesuras de paredes de CLT..... | 67 |
| Tabla 15. Costos por m <sup>2</sup> de construcción y mano de obra de CLT.....  | 68 |
| Tabla 16. Comparación de Precios para Foz de Iguazú para BDI 10% del CLT .....  | 69 |
| Tabla 17. Precios de Venta de CLT .....   | 70 |
| Tabla 18. Precio de CLT vs precio albañilería (precio inmobiliario) .....       | 70 |
| Tabla 19. Transmitancias paredes albañilería y CLT .....                        | 71 |
| Tabla 20. Mano de obra y ISSQ.....  | 71 |

## 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICATIVA

La técnica constructiva convencional es aquella que utiliza como materiales al hormigón armado y al ladrillo, que componen la parte estructural y la de encerramiento respectivamente. Los elementos que forman la función estructural son las columnas, vigas y losas; y las paredes como encerramiento. Este sistema es caracterizado por un proceso artesanal que presenta baja productividad ya que es altamente dependiente de la destreza de la mano de obra.

En el Brasil este método de construcción viene siendo utilizado desde los años 1930 (SILVA, 2003) y actualmente es el más utilizado en la construcción de casas residenciales teniendo cerca del 90,7% de los domicilios (IBGE, 2010). Ese mismo escenario se presenta en el estado de Paraná y en el municipio de Foz de Iguazú, teniendo 88,68% y 88,52% respectivamente de sus domicilios construidos tradicionalmente (IBGE, 2010).

El sistema convencional proporciona considerables cantidades de residuos. Cerca de 56% del cemento, 13% de ladrillos, 44% de arena, 9% de acero son desperdiciados en las obras de construcciones (AGOPYAN et al., 1998). Además, tiempos de espera para el curado del concreto, encofrado y desencofrado.

La producción de los materiales que componen la técnica constructiva convencional; cemento, acero y ladrillos se realizan mediante combustión por lo que existe una contaminación por emisión de gases. Así el cemento contribuye para el efecto invernadero con una tasa de 6% (WBCSD, 2012).

Con el avance tecnológico que existe en estos tiempos, existe la necesidad de buscar nuevas técnicas constructivas para tener mayor productividad. Frente a esto, aparece los sistemas industrializados que generan pocos desperdicios y productividad superior a la de la técnica constructiva convencional. Pero también se tiene que procurar dejar de contaminar el medio ambiente buscando nuevos materiales.

De esta forma, aparece la madera como material para poder reducir la tasa de emisiones de gases de la construcción, ya que tiene la propiedad de capturar el CO<sub>2</sub>. Así también, tiene la característica de autogenerarse debido a que la silvicultura posibilita gestionar las masas forestales y las técnicas de los cultivos de bosques y montes para obtener una producción continua y sostenible.

En los años 90 la industria maderera de Austria juntamente con centros tecnológicos de investigación como el *Institute of Timber Engineering and Wood Technology* de la *Graz University of Technology* desarrollaron la Madera Contralaminada (MCL) o CLT (Cross Laminated Timber) como nuevo producto para usarse en las construcciones (VIOTTO, 2013). Este material tiene como ventajas su baja energía para ser fabricada y el uso de maderas

coníferas como los pinos, abetos, alerces que son del tipo blandas que se caracterizan por su crecimiento rápido.

El análisis del CLT como sistema constructivo tiene la ventaja de ser más liviana que las construcciones convencionales, lo cual alivia las cargas que reciben las cimentaciones y posibilita opciones mayores de vanos en los cómodos. La construcción por montaje se caracteriza por ser fácil y rápida, mientras se realiza la fundación puede estar fabricándose los paneles simultáneamente. Además, la producción no es afectada por el tiempo atmosférico (lluvias). Asimismo, posee buen comportamiento al aislamiento acústico, térmico, sísmico y frente el fuego (BILEK et al., 2013; COSTA, 2013; VIOTTO, 2013).

Por las características ya mencionadas, el mercado brasilero de construcción debe de aprovechar los recursos naturales que el país posee, especialmente en la región sur, lugar donde se tiene la mayor cantidad de plantaciones de madera. De modo que se pueda tener un abanico mayor de posibilidades para la construcción de viviendas, agregando así una opción más de madera frente al *woodframe*.

Teniendo las posibilidades de mejorar técnica y ambientalmente el sector de construcción de viviendas en el Brasil y las potencialidades del CLT, se propone el siguiente trabajo para investigar la posibilidad de implementar este sistema constructivo en la ciudad de Foz de Iguazú, pues se acredita que es una alternativa para mejorar la relación del uso eficiente de los materiales, reducción de residuos, consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar la viabilidad técnico-económica para la implementación del sistema constructivo *Cross Laminated Timber* (CLT) en el mercado inmobiliario habitacional de Foz de Iguazú.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos son:

- a) Conocer las características habitacionales del municipio de Foz de Iguazú;
- b) Describir las características del mercado inmobiliario del municipio de Foz de Iguazú y reconocer la demanda inmobiliaria actual del municipio de Foz de Iguazú;
- c) Estudiar la viabilidad técnica-económica para la implementación del CLT en el municipio de Foz de Iguazú;
- d) Identificar el nicho propicio en el mercado habitacional para ofrecer el sistema CLT.

### 3. SÍNTESES DE LA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

En la presente sección se tratarán los temas elegidos para una mejor comprensión de nuestro campo de estudio. Así, en un primer momento estudiaremos el sistema constructivo CLT. Abordaremos el histórico del desenvolvimiento del sistema; las construcciones en CLT; el proceso de fabricación; las propiedades, en donde describiremos las propiedades térmicas, acústicas y de resistencia al fuego; las formas de construcción del CLT, aquí hablaremos del sistema celular y el sistema tradicional; el sistema de uniones entre los paneles de CLT y los costos de construcción.

Posteriormente, analizaremos el sistema constructivo convencional (albañilería). Aquí abordaremos el proceso constructivo y detallaremos las técnicas de cimentaciones; vigas, columnas y losas; paredes; revestimientos y las instalaciones.

#### 3.1 Madera Contralaminada (MCL)

##### 3.1.1 Histórico del desenvolvimiento de la tecnología CLT

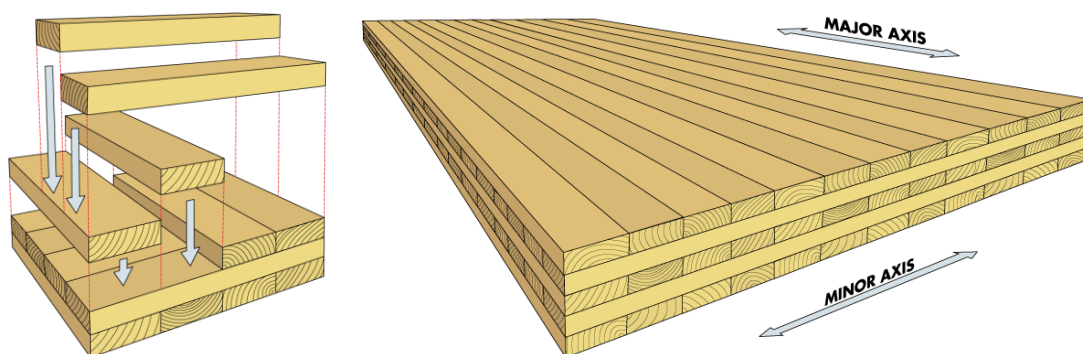
También llamada *Cross Laminated Timber* (CLT) o *X Lam*. Es una técnica constructiva relativamente nueva que nació en la ciudad de Zurich (Suiza) en 1990, su desenvolvimiento se dio en Austria y Alemania. En el primer país fue impulsado por una cooperación entre universidades e industrias, siendo la empresa KLH la pionera en fabricar CLT en el país Austriaco (COSTA, 2013).

Los avances fueron lentos hasta el año 2000, posteriormente se tuvo un alza significativa que fue impulsado por la eficiencia en los procesos productivos y por el marketing. Un factor fundamental fue el cambio de percepción del CLT, que por su ligereza no podría estar a la par con los sistemas convencionales utilizados (hormigón armado y albañilería).

La experiencia europea señala al CLT como un sistema constructivo competitivo en estructuras de medio y gran porte (BILEK et al., 2013). Esto se debe al proceso industrializado de esta técnica, ya que las maderas son prefabricadas y se logra tener un mejor control de calidad y rapidez en la ejecución de proyectos. Así también, su ligereza demanda máquinas de menor porte para su montaje y economiza las cimentaciones.

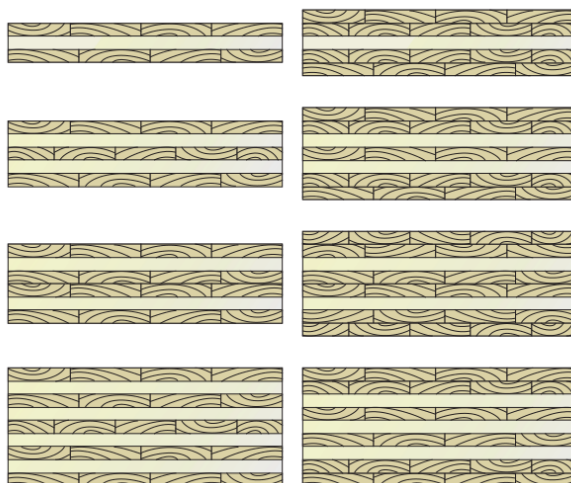
El CLT está compuesto por capas de maderas que son encoladas por sus caras, con la posibilidad de encolarse también por los costados de las tablas. Las capas son colocadas en forma cruzada (90°) u ortogonal y posteriormente se aplica un prensado para formar un tablero o panel macizo, como se observa en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Capas de CLT

Fuente: Breneman (2016).

Los paneles de CLT son compuestos generalmente por tres, cinco y siete capas. El número impar de capas se debe a la necesidad de tener un eje de simetría en la parte central. Dependiendo de las especificaciones de las características estructurales que se desea se puede colocar capas dobles en una de las direcciones (FPINNOVATIONS, 2011). En la **Figura 2**, se puede observar las diferentes alternativas de orientación de las capas.

**Figura 2.** Tipos de capas de CLT.

Fuente: FPINNOVATIONS (2011).

FPINNOVATIONS (2011), indica que las espesuras de las capas oscilan de 10 mm a 50 mm y el ancho de las tablas varía de 6 cm a 24 cm; mientras que el ancho de los paneles entre 60 cm a 300 cm. La largura máxima admitida de los paneles debe ser 18 m, para así poder facilitar su transporte.

En Brasil, CROSSLAM fabrica los paneles con espesuras entre 57 mm y 250 mm, con capas que varían entre 19 mm a 40 mm. Los tamaños máximos fabricados son de 12 m de largo y 3 m de ancho.

El CLT, en comparación con la Madera Laminada Encolada<sup>1</sup> (MLE), permite alcanzar capacidades de resistencia y rigidez más altas, esto se debe al cruzamiento de las maderas. Por ello, el CLT se puede utilizar para la construcción de paredes, losas y pisos en un sistema constructivo de módulos. Silva (2014) menciona que también se puede utilizar en una construcción con sistemas de vigas y pilares, así como construir híbridamente con hormigón y acero.

### 3.1.2 Construcciones en CLT

En esta sección se citará algunos edificios emblemáticos en el desarrollo e implementación de la tecnología del CLT en varios países, incluido el Brasil. Las construcciones se mencionan en forma cronológica, finalizando con la edificación más alta ya construida. Así también, se dará a conocer algunos proyectos en fase de construcción o como propuestas.

El **Forte Living (Figura 3)**, situada en Melbourne, es el primer edificio construido en CLT en Australia y su primera planta fue construida en concreto armado. Este edificio cuenta con un espacio de 197 m<sup>2</sup> comercial y 1 558 m<sup>2</sup> residencial, consta de 23 apartamentos distribuidos en 10 pisos. La altura alcanzada de la edificación es de 32,2 m (DFM, 2017a; CROSSIN; DURLINGER; WONG, 2013).

**Figura 3.** Edificio Forte Living



**Fuente:** Forestal Maderero (2017)

---

<sup>1</sup> Panel con capas de madera que son orientados en una misma dirección.

El edificio fue construido por la empresa *Lead Lease* y la empresa proveedora del CLT fue KHL. La construcción comenzó en febrero del año 2012, siendo finalizada en diciembre del mismo año. El tiempo de instalación de la estructura de CLT fue de dos meses y se montó con solo 5 carpinteros, 1 supervisor y 1 *trainer*. El tiempo total de construcción fue de 10 meses (LEND LEASE, 2013). En la **Figura 4** se muestra las actividades realizadas en la fase de construcción de la edificación.

**Figura 4.** Actividades de la fase de Construcción del Forte



a) Colocación de uniones con tornillos.



b) Colocación de los paneles por medio de grúa.

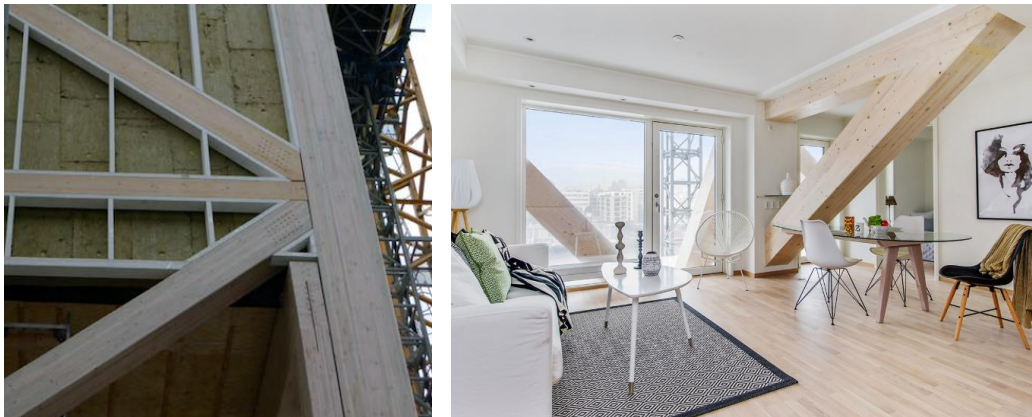
**Fuente:** Lead Lease (2013)

El edificio ***The Tree*** (**Figura 5**), tiene un área total de construcción de 7 140 m<sup>2</sup>, desarrollado en Borgen (Noruega), cuenta con 62 apartamentos distribuidos en una planta de estacionamiento de concreto armado y 14 pisos de apartamentos de madera. El edificio llega a tener una altura de 49 m (ABRAHAMSEN, 2014; DFM, 2017b).

La construcción del *The Tree* se caracteriza por ser mixta, siendo 385 m<sup>3</sup> de CLT y 550 m<sup>3</sup> de MLE. El MLE se utilizó de forma estructural y fue compuesto por armaduras, las cuales fueron unidas a las columnas (**Figura 6**). El CLT fue utilizado en las escaleras, elevadores, paredes interiores y balcones. El tiempo de montaje del edificio fue de 3 días para levantar 4 plantas, la etapa de construcción fue del 2014 hasta el 2015 (SANTOS, 2017).

**Figura 5.** Edifício *The Tree*

Fuente: Timber (2017)

**Figura 6.** Detalle de las armaduras.

Fuente: Santos (2017)

El ***Dalston Lane*** es un complejo de apartamentos en Londres revestida por una fachada de ladrillos visto, conocido en Brasil como *tijolo aparente* (**Figura 7**). El edificio tiene 3 500 m<sup>2</sup> de espacio comercial y 12 500 m<sup>2</sup> residencial. Posee una altura de 33,8 m distribuidas en 10 pisos para 121 departamentos. Su construcción fue realizada en CLT a excepción de la primera planta que fue hecha de concreto armado (BINDERHOLZ, 2017; BLOCK, 2017).

El tiempo de entrega de la construcción de este edificio fue 80% menor en comparación con la construcción en hormigón armado. Bajo la misma comparación, el peso de la estructura es cinco veces más liviano. El tiempo de construcción fue de 374 días, iniciada en el 2016 y siendo finalizada en el año 2017 (WAUGH THISTLETON, 2017; BLOCK, 2017).

**Figura 7. Edificio Dalston Lane**

a) Fase de Construcción

b) Edificio finalizado

Fuente: Waugh Thistleton (2017) y Block (2017)

El **Brock Commons** es una torre de residencia universitaria de la *Universidad de British Columbia*, se construyó en Vancouver (Canadá) y cuenta con un área de 15 120 m<sup>2</sup>. Este edificio posee 53 m de altura divididos en 18 pisos construidos híbridamente con CLT, MLE y hormigón armado. Tiene una capacidad para albergar hasta 404 estudiantes (NATURALLY WOOD, 2017) (Figura 8).

**Figura 8. Edificio Brock Commons**

Fuente: Acton Ostry (2018)

La madera fue utilizada para construir 17 pisos, de los cuales el CLT fue utilizado en las losas y muros, y la MLE en las columnas y vigas. El concreto armado sólo fue utilizado en la primera planta, la losa del segundo piso y en el núcleo de la estructura (elevador y

escaleras) (**Figura 9**). La estructura de madera fue levantada en 66 días, aproximadamente dos meses más rápido de lo que se tarda un proyecto de este tipo en concreto armado. La duración de construcción total fue de 18 meses, es decir 3 meses menos que si fuese realizado por concreto armado, este proyecto fue finalizado en el año 2017 (HADEN, 2017; MADERA21, 2017).

**Figura 9.** Componentes del *Brock Commons*



Fuente: Naturally Wood (2017)

Existen edificaciones siendo construidas y proyectos-propuesta utilizando el CLT. En Estocolmo se tiene el **proyecto Västerboplan** de la firma *Møller* que tendrá 34 pisos, su construcción aún no comenzó, pero se pretende acabar para el 2023, año en que la asociación de viviendas (HSB) más grandes de Suecia cumplirá 100 años (C. F. MOLLER, 2018). La **torre Hyperion** en Burdos tendrá 18 pisos y 57 metros de altura, actualmente está siendo ejecutada y tiene previsión de entrega para el 2019 (BOSREDON, 2017). El **Haut**, torre residencial de 21 pisos y 73 metros de altura que ganó el premio BREEAM como el edificio de mayor sostenibilidad en el mundo aún no comienza su construcción (HAUT, 2018). En Tokio, la compañía **Sumitomo Forestry** pretende construir un rascacielos de 70 pisos con una altura de 350 metros para el 2041 y **Oakwood Tower**, es una propuesta de rascacielos de 80 pisos en Londres de 305 metros de altura (MARSCH, 2018).

En la **Tabla 1** se presenta un resumen de las construcciones que ya fueron concluidas, están en ejecución o aún sin ejecutar.

**Tabla 1.** Tabla de Construcciones en CLT

| Construcción        | Edificio          | Pavimentos | Altura | País       | Año  |
|---------------------|-------------------|------------|--------|------------|------|
| <b>Concluida</b>    | Forté Living      | 10         | 32,2   | Australia  | 2012 |
|                     | The Tree          | 14         | 49     | Noruega    | 2015 |
|                     | Dalston Lane      | 10         | 33,8   | Inglaterra | 2017 |
|                     | Brock Commons     | 18         | 53     | Canadá     | 2017 |
| <b>Sin ejecutar</b> | Västerbroplan     | 34         |        | Suecia     | 2023 |
| <b>Ejecutándose</b> | Hyperion          | 18         | 57     | Francia    | 2019 |
| <b>Sin ejecutar</b> | Haut              | 21         | 73     | Holanda    |      |
| <b>Sin ejecutar</b> | Sumitomo Forestry | 70         | 350    | Japón      | 2041 |
| <b>Sin ejecutar</b> | Oakwood Tower     | 80         | 305    | Inglaterra |      |

**Fuente:** Autor (2018)

En Brasil existen proyectos residenciales ya realizados por la proveedora CROSSLAM BRASIL, construcciones que se encuentran en Itaipava (Rio de Janeiro), Itu (São Paulo) y Tiradentes (Minas Gerais). Así también, la prefectura o municipalidad de Suzano-SP realizó ampliación del número de salones de clase en cinco escuelas a partir del CLT (PREFEITURA DE SUZANO, 2018; FAUSTINO, 2018).

La casa Tiradentes cuenta con un área de construcción de 62 m<sup>2</sup> la cual se realizó en el año 2012, su tiempo de construcción fue de tan solo de 3 días (CROSSLAM, 2016). En la **Figura 10**, se presenta las fotos de la fase de montaje y el proyecto acabado.

**Figura 10.** Casa en Tiradentes

**Fuente:** Autor con base en Crosslam (2016)

La casa María y José, construida en Itu, tiene un área de construcción de 1 350 m<sup>2</sup> distribuida en una sola planta, la cual se realizó entre los años 2013 y 2014. En su construcción se usó columnas de acero para resistir el peso de la estructura, ya que en una parte del terreno tenía un desnivel de 8m (ARCHDALLY, 2017), que se puede observar en la **Figura 11**.

**Figura 11.** Casa María y José



**Fuente:** Autor con base en Archdally (2017)

Actualmente, se está construyendo el Edificio *Urban Forest* en Vila Madalena (São Paulo). Dicho edificio está siendo construido enteramente con CLT por medio de la asociación entre la firma franco-brasileña *Triptyque Architecture* y la empresa forestal Amata. La edificación tendrá 4 700 m<sup>2</sup>, distribuidos en 13 pisos, y contará con espacios para restaurantes, tiendas, *coworking* y *coliving*. La construcción del edificio tiene previsión de ser finalizado en el 2020 (BARBOSA, 2018; BARATTO, 2017).

El *Urban Forest* será de forma escalonada, lo cual le permite adaptarse a la topografía desnivelada del lugar (**Figura 12**). El uso de vegetación y la madera en la construcción del edificio simula una floresta urbana, con ello se pretende secuestrar 900 toneladas de gas carbónico en la madera (BARBOSA, 2018; BARATTO, 2017).



**Figura 12.** Edificio *Floresta Urbana*

Fuente: Triptyque Architecture (2017)

### 3.1.3 Proceso de Fabricación

Según Kretschmann et al. (2013), el proceso de fabricación del CLT sigue las siguientes etapas, como puede ser observada en la **Figura 13**.

**Figura 13.** Fases de Producción de CLT

Fuente: Viotto (2013).

### 3.1.3.1 Selección de tablas

Las tablas tienen que satisfacer las clasificaciones visuales, en Brasil tiene que seguir la revisión de la norma para proyectos de maderas NBR 7190 (ABNT, 2011), en el cual se menciona los límites que tiene que cumplir las tablas respecto a los nudos, grietas o defectos que están presentes en las maderas. La misma norma nos da las clasificaciones mecánicas que deben de cumplir las maderas como resistencia de compresión, resistencia a tracción, resistencia cortante (cizallante) y rigidez.

Las tablas también tienen que cumplir con la clasificación de humedad. Kretschaumann et al. (2013), indican que la humedad ideal es de  $12\% \pm 3$  y para tablas compuestas por maderas reconstituidas de  $8\% \pm 3$ . Así también, mencionan que la temperatura entre tablas adyacentes no debe de superar el 5% de humedad. Para este proceso, recomiendan el monitoreo de la temperatura ambiente para asegurar que no descienda de los  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ya que ello afectaría en la calidad de las líneas de juntas para el colado y el tiempo del curado. En la **Figura 14**, podemos observar el control de humedad realizado para las tablas.

**Figura 14.** Control de humedad



Fuente: Moraes (2014).

### 3.1.3.2 Agrupación de las tablas

Para realizar la agrupación de las tablas se puede combinar diferentes especies de madera, pero la norma ANSI/APA PRG 320 (2018) indica que cada capa sea compuesta únicamente por una especie de madera, de modo que se pueda tener las mismas

características físicas y propiedades mecánicas. En la **Figura 15**, se observa el agrupamiento según la clasificación mecánica de las tablas.

**Figura 15.** Agrupación de tablas



Fuente: González et al. (2014).

En esta etapa se realiza la agrupación de tablas de mayor resistencia que irán en la dirección principal, así como la agrupación de tablas de menor resistencia que irán en la dirección secundaria. Las tablas de alta calidad deberán ser colocadas en las zonas donde existan uniones o presenten mayores solicitaciones. En las capas externas o internas muchas veces se necesita mejorar la estética cuando el CLT es aparente, para ello se puede agrupar de forma visual, siempre cumpliendo con la clasificación mecánica.

### 3.1.3.3 Cepillado y corte de las tablas

En esta etapa se necesita retirar una capa superficial de las tablas, el cual es llamado cepillado. Este procedimiento se realiza para hacer el encolado de las tablas. Julien (2010), menciona que para tener mejor coordinación dimensional se debe realizar el cepillado en las cuatro caras, pero en muchos casos solo es necesario en dos de las caras, por lo que recomienda la retirada de 2,5 mm en dirección de la espesura y 3,8 mm en dirección del ancho de la tabla. Además, si se encuentra humedades mayores a los permitidos en las tablas se necesitará reacondicionar o remover la pieza. En la **Figura 16**, se muestra como es realizado el cepillado de las tablas. Una vez cepilladas las tablas se pasará a realizar el corte en la dirección de la largura de la tabla, tanto para las posiciones longitudinales y transversales.

**Figura 16.** Cepillado de las tablas

Fuente: González et al. (2014).

#### 3.1.3.4 Aplicación de colas o pegamentos

Generalmente se utiliza los pegamentos PUR (adhesivo poliuretano) y PRF (Fenol-Resorcino-Formaldehído). Kretschmann et al., (2013) mencionan que se tendría un mejor resultado si la cola se aplica en líneas paralelas a través de un sistema hermético con suministro directo desde el contenedor de adhesivo. Así también, indican que cuando se usa el PUR se pueden humedecer las capas con niebla para ayudar a la reacción del curado, teniendo una producción generalmente de 18 a 20 m/min. En la **Figura 17**, se muestra la aplicación de los adhesivos en las tablas.

**Figura 17.** Aplicación de colas

Fuente: González et al. (2014).

Según González et al. (2014), se debe aplicar el adhesivo dentro de las 24 horas de realizado el cepillado, para evitar la oxidación superficial, envejecimiento e inestabilidad dimensional de la madera; ello mejora la humectabilidad y la efectividad del encolado. Para que el pegado tenga una alta calidad se tiene que cubrir toda la superficie empleando aproximadamente 200 gramos por metro cuadrado de sección encolada.

### 3.1.3.5 Panelado y prensado del tablero

Para formar el tablero se colocan las capas, una sobre otra, de forma ortogonal a las fibras de la anterior. La norma ANSI/APA PRG 320 (2018) establece un 80% como la mínima superficie de contacto entre capas. En la **Figura 18**, se observa el panelado de las tablas.

Para la unión de las capas puede utilizarse el método por vaciado o el método por prensa hidráulica. El método por vaciado ejerce una presión en torno a los 0,1 MPa, la cual es insuficiente para corregir las deformaciones o irregularidades de las tablas, por lo que no se consigue un contacto continuo entre las caras. El método por prensa hidráulica puede llegar a ejercer presiones de hasta 6 MPa. Se recomienda realizar una presión lateral entre 0,276 MPa y 0,550 MPa para poder reducir los posibles espacios existentes entre las tablas. La temperatura durante el prensado debe ser superior a 15 °C ya que existen colas que a temperaturas bajas tardan en curarse (KRETSCHAMANN et al., 2013).

**Figura 18.** Panelado del tablero



**Fuente:** González et al. (2014).

### 3.1.3.6 Acabado, corte y control de calidad

Para el control de calidad del acabado se tiene que realizar un lijado. Viotto (2013), menciona que la tolerancia para dicho lijado es de 0,1mm a una velocidad de 2 m/min. Una

vez acabado el lijado se procede a hacer los cortes. La técnica principal usada es el Control Numérico Computarizado (CNC). Según la norma DIN 18203 (2008), las tolerancias para el corte de los paneles de pared, piso, techo y tejado de madera son en torno a los 2 mm para una humedad de 12%.

### 3.1.3.7 Marcado, empaquetado y transporte

En Brasil aún no existe una norma para el marcado. La norma americana ANSI/APA PRG 320 (2018), indica que es necesario que los productos de CLT contengan las siguientes informaciones.

- Calidad del padrón;
- Dimensiones;
- Nombre del Fabricante o número de identificación;
- Nombre o logo de la agencia aprobadora del producto;
- Símbolo o sello de ANSI/APA PRG 320 que es en conformidad a la norma;
- Identificación de uso (pared, piso, techo).

En Brasil, el CONTRAN (Consejo Nacional de Tránsito) autoriza el transporte de cargas con medidas máximas de 2,6 m de ancho, 4,4 de altura y 14 m de largo en vehículos no articulados.

## 3.1.4 Propiedades del CLT

### 3.1.4.1 Propiedades térmicas y de humedad

La conductividad térmica es una propiedad física que mide la capacidad de una determinada espesura de material para conducir el calor en un segundo sobre una sección. Cuanto mayor valor, el material será mejor conductor.

En la **Tabla 2** se puede observar las conductividades térmicas de las proveedoras de CLT europeas (KLH, Stora Enso) y brasileña (CROSSLAM) junto con otros materiales. Presentando el CLT conductividades más bajas (0,12 W/m.K - 0,13 W/m.K) a comparación de los ladrillos cuyas conductividades varían entre 0,70 y 1,05 W/m.K y el hormigón normal que tiene 1,75 W/mK.

**Tabla 2.** Conductividad térmica de materiales

| Material                    | Conductividad ( $\lambda$ )<br>W/m.K | Fuente     |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------|
| Ladrillos<br>Tejas de barro | 0,70 - 1,05                          | NBR 15220  |
| Hormigón normal             | 1,75                                 | NBR 15220  |
| Acero                       | 55                                   | NBR 15220  |
| Yeso                        | 0,25 - 0,50                          | NBR 15220  |
| CLT (Crosslam)              | 0,13                                 | CROSSLAM   |
| CLT (KLH)                   | 0,12                                 | KLH        |
| CLT (Stora Enso)            | 0,13                                 | STORA ENSO |

**Fuente:** Autor con base en la NBR 15220 (2003), KLH, STORA ENSO y CROSSLAM

El calor específico es una magnitud física que define la cantidad de calor que una masa de material tiene que recibir para poder elevar su temperatura en una unidad (K o °C). A mayor valor, mayor cantidad de calor necesario para alterar la temperatura del material.

En la **Tabla 3** se presenta los calores específicos de las proveedoras de CLT europeas (KLH, Stora Enso) y la proveedora brasileña CROSSLAM, juntamente con otros materiales. El CLT de CROSSLAM cuenta con un calor específico de 2,1 KJ/kg.K frente a las proveedoras europeas que cuentan con 1,6 KJ/kg.K. siendo también superior a los ladrillos que tienen 0,92 KJ/kg.K y el hormigón 1,00 KJ/kg.K. Esto quiere decir que para que el CLT de CROSSLAM varíe su temperatura tiene que recibir mayor cantidad de calor en comparación con los CLT de KLH y Stora Enso, el ladrillo y el hormigón.

**Tabla 3.** Calor específico de materiales

| Material                    | C<br>kJ/kg.K | Fuente     |
|-----------------------------|--------------|------------|
| Ladrillos<br>Tejas de barro | 0,92         | NBR 15220  |
| Hormigón normal             | 1            | NBR 15220  |
| Acero                       | 0,46         | NBR 15220  |
| Yeso                        | 0,84         | NBR 15220  |
| CLT (Crosslam)              | 2,1          | CROSSLAM   |
| CLT (KLH)                   | 1,6          | KLH        |
| CLT (Stora Enso)            | 1,6          | STORA ENSO |

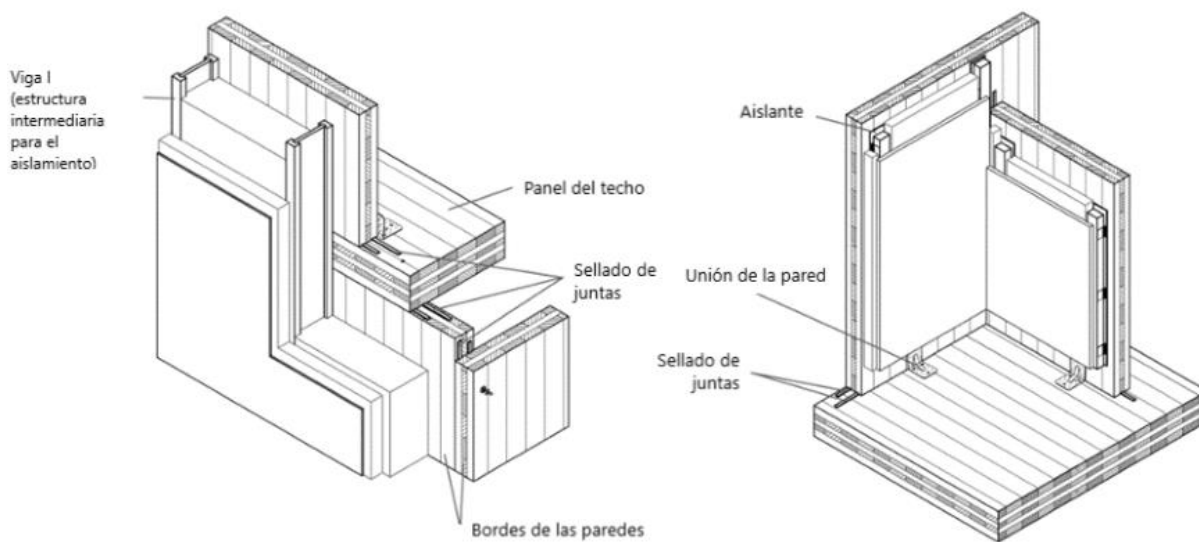
**Fuente:** Autor con base en la NBR 15220 (2003), KLH, STORA ENSO y CROSSLAM

La conductividad térmica que presenta el CLT está entre 5 a 8 veces menor que los ladrillos y 13 veces menor que el hormigón. Así en las construcciones con el CLT para que pase la temperatura calurosa o frío del ambiente exterior al interior demoraría más tiempo.

También el calor específico que presenta el CLT es 2 veces mayor que el del ladrillo y hormigón, así se necesitaría más cantidad de calor para que pueda variar la temperatura de la estructura.

Otra de las características de buen desempeño es la posibilidad de ausencia de puentes térmicos; es decir, que las zonas de la envolvente térmica de la edificación en el que exista variación de la uniformidad de construcción, sea por la diferencia de conductividades térmicas de materiales o por interrupciones, aislen el paso del calor del ambiente externo hacia ambiente interno. Esto se debe a la homogeneidad de la estructura de CLT, a la baja conductividad térmica y al sellado al aire y al vapor de las juntas en las que pueden adicionarse aislantes térmicos para mejores resultados, tal y como se observa en la **Figura 19** (COSTA, 2013; VIOTTO 2013).

**Figura 19.** Control en la estanqueidad del aire



**Fuente:** Autor con base en Viotto (2013).

Según Viotto (2013), el CLT es un amortiguador ambiental por que puede corregir cambios bruscos de humedad, ya que su propiedad higroscópica permite equilibrarla. Esta capacidad del CLT permite liberar humedad cuando el ambiente esté seco y cuando el ambiente tiene exceso de humedad la absorbe; lo que permite tener un mejor ambiente internamente.

### 3.1.4.2 Propiedades acústicas

Se tiene que analizar las dos clases de ruido: el aéreo y el de impacto. El ruido aéreo se transmite directamente y por transmisiones laterales. El ruido de impacto es aquel que se



propaga a gran velocidad con baja pérdida de energía lo que provoca el ruido aéreo (VIOTTO, 2013).

La medición para el ruido aéreo se realiza por medio del índice STC (*Sound Transmission Class*), del índice ponderado de reducción al sonido  $R_w$  (*Weighted Sound Reduction Index*) o por el  $D_{nT,w}$  (*Standardized Level Difference*), que es usado en la norma de desempeño NBR 15575 (ABNT, 2013); y para la medición del ruido de impacto se utiliza la clasificación del aislante al impacto (IIC), que es normalizado por la ASTM E989 (ASTM, 2012) o el  $L'_{nT,w}$  (*Wighted Standardized Impact Sound Pressure Level*), que aparece en las normativas brasileñas. Para el STC, IIC y  $D_{nT,w}$  cuanto mayor sean los índices, significa que son mejores aislantes; en el caso del  $L'_{nT,w}$ , como analiza la presión transmitida por impacto, cuanto menor sea el valor, mejor aislante será.

En la **Tabla 4** se presenta los índices de aislamiento al ruido aéreo para diferentes tipos de configuración de paredes para materiales como: ladrillos, bloques de concreto, concreto armado y paneles de CLT.

**Tabla 4.** Aislamiento al ruido aéreo para paredes

| <b>Paredes</b>  | <b><math>R_w</math></b> | <b>Fuente</b> |
|---|-------------------------|---------------|
| <b>Ladrillos (14 cm)<br/>Sin revestimiento</b>  | 38 dB                   | NBR 15220     |
| <b>Ladrillos (14 cm)<br/>Revestimiento<br/>Mortero (1,5 cm) - ambas caras</b>           | 42 dB                   | NBR 15220     |
| <b>Bloques de Concreto (14 cm)<br/>Revestimiento<br/>Mortero (1,5 cm) - ambas caras</b> | 45 dB                   | NBR 15220     |
| <b>Concreto Armado (12 cm)</b>  | 47 dB                   | NBR 15220     |
| <b>CLT 3 capas (9,5 cm - 11,5 cm)<br/>Sin revestimiento</b>                             | 32 dB - 34 dB           | Adms y Hu     |
| <b>CLT 5 capas (13,5 cm)<br/>Sin revestimiento</b>                                      | 39 dB                   | Viotto        |

**Fuente:** Autor con base en Adams y Hu (2013), CBIC (2010) y Viotto (2013)

El CLT muestra valores de aislamiento al ruido aéreo que pueden ser competitivos frente a los materiales de construcción convencional, ya que una pared con panel de CLT de 13,5 cm obtiene un 39 dB frente a los 38 dB de los ladrillos, ambos sin revestimiento. Para mejorar en el CLT se necesitaría realizar revestimiento del tablero con aislantes acústicos como fibras y placas de yeso, lanas minerales o de roca, rastreles entre otros.

El CLT obtiene mejor desenvolvimiento cuando se analiza al ruido por impacto en los pisos. A manera de ejemplo podemos mencionar que el aislamiento al impacto de un panel de CLT de 5 capas de 14cm sin revestimientos es de 87 dB (BARBARESÍ; BELLA;

GRANZOTTO, 2016), mientras que el aislamiento al impacto por una losa cero de 15 cm es de 71 dB (CBIC, 2010).

Hu y Adms (2013) mencionan que una de las propiedades que afecta en el aislamiento acústico es la densidad superficial, que representa la cantidad de masa por área. Para mejorar los desempeños acústicos del CLT puede aumentarse dicha propiedad.

### 3.1.4.3 Resistencia al Fuego

En Brasil es poco reconocida la importancia de los proyectos contra incendios, existiendo, prácticamente, en muchas normativas la exoneración para edificaciones con áreas construidas menores a 750 m<sup>2</sup> y alturas inferiores a los 12 m (CBIC, 2013).

Según Aitim (1994) la madera presenta menos peligro como material estructural a bajas temperaturas por su baja conductividad térmica, dilatación térmica insignificante y carbonización superficial.

Por la baja conductividad térmica del CLT, la temperatura externa disminuye hacia el interior. Como la dilatación térmica es muy pequeña, prácticamente despreciable, la estructura no ocasionará desplomes ni deformaciones peligrosas. La carbonización superficial en la madera frente a un incendio obstruye la salida de gases y la penetración de calor, ya que dicha capa tiene una capacidad aislante de unas 6 veces superior a la madera, eso proporciona una temperatura mucho menor en el interior sin alteración de sus propiedades físico-mecánicas de la madera (GALLEGO et al., 2010)

Viotto (2013) realiza una comparación entre los materiales usados como estructura en las construcciones. Así, menciona la característica de arder de la madera frente al fuego, la cual se podría controlar con un tratamiento de técnica industrial llamada ignifugación que disminuye la inflamabilidad y la velocidad de propagación del fuego. Por otro lado, señala que los materiales que no arden son más peligrosos, como las estructuras metálicas que frente a un incendio sufren grandes dilataciones y contracciones, así como la reducción brutal de su resistencia; el hormigón en su caso se resquebraja por la dilatación.

Los tableros contralaminados KLH y Stora Enzo son clasificados por la norma de la Euroclase como productos combustibles con contribución limitada al fuego, con humos de velocidad y cantidades medias sin caída de gotas o partículas inflamables. Conforme al ETA-06/0138, las velocidades de combustión son 0,67 mm/min cuando el fuego se da en una de las caras y 0,76 mm/min cuando fuese en varias caras del tablero.

### **3.1.5 Formas de construcción**

#### **3.1.5.1 Sistema Celular**

La construcción modular es un sistema constructivo que permite crear módulos prefabricados para ser ensamblados. Silva (2014) menciona que con el CLT se fabrica las paredes y las losas. La autora indica que la estabilidad estructural se da por medio de las paredes vigas y de los núcleos de distribución vertical, para edificios de media altura, que tienen una espesura mayor.

En estructuras de altura, las paredes y los pisos forman un sistema tridimensional de tableros de traba que maximiza la robustez de la edificación. Una buena estabilidad se consigue transformando los elementos verticales en paredes resistentes, así permiten una gran capacidad de resistencia a las solicitaciones verticales y horizontales, como las acciones del viento (COSTA, 2013).

#### **3.1.5.2 Sistema tradicional**

Esta forma de construcción se utiliza en el sistema convencional del hormigón. La parte estructural lo conforman las losas, columnas y vigas; mientras que para el taponamiento se usa las paredes. En este tipo de sistema se vienen analizando construcciones híbridas, así como el CLT que tiene buenas propiedades para combinarse con otros materiales de madera, concreto y acero, por lo que es utilizado también para reformas de construcción (SILVA, 2014).

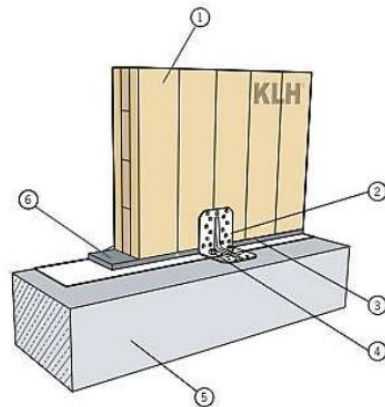
### **3.1.6 Sistema de Uniones**

Las uniones que se utilizan son las mecánicas, que son empleadas por elementos metálicos como pasadores o placas. Podemos encontrar conectores tipo clavija que serían los clavos, tornillos, pasadores, grapas; conectores de superficie que son compuestos por anillos, placas y conectores dentados. Estos últimos tipos de conectores son más resistentes a las fuerzas cortantes y de difícil separación (VIOTTO, 2013).

#### **3.1.6.1 Uniones de muro con cimentación**

Este tipo de uniones son las más críticas pues demandará la unión de diferentes materiales. Estas uniones se pueden realizar con tornillos autoroscantes, pletinas planas y angulares, así como con la combinación de estas. Además, se tiene que colocar un impermeabilizante para que la humedad del terreno no ascienda. Para ello se puede utilizar una manta, tejido o un perfil impermeabilizado que puede ser de acero o de madera. En las **Figura 20**, **Figura 21** y **Figura 22** se muestran las opciones de uniones de muro con cimentación

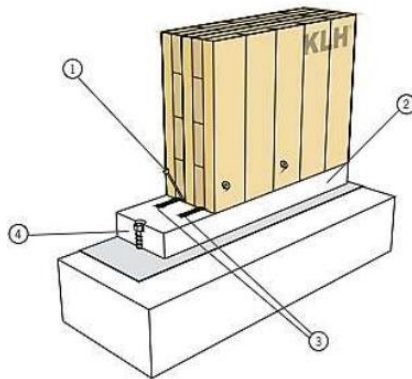
**Figura 20. Unión muro-cimentación con pletina angular**



- ① Placa de pared KLH conforme a los requisitos estáticos
- ② P. ej. escuadra BMF de transmisión del empuje horizontal y arriostamiento para las paredes según los requisitos estáticos
- ③ Las paredes deben encontrarse enrasadas en todo su largo. Si las paredes se apoyan únicamente en algunos puntos deberá realizarse una comprobación estática
- ④ Atención: para cada escuadra BMF deberán colocarse al menos dos tacos; de lo contrario, la acción de la escuadra quedará considerablemente reducida (preferentemente ambos taladros se realizarán directamente junto a la pared o el larguero de solera)
- ⑤ Componente de hormigón (pared, techo, placa de hormigón)
- ⑥ Lecho de mortero de baja contracción

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

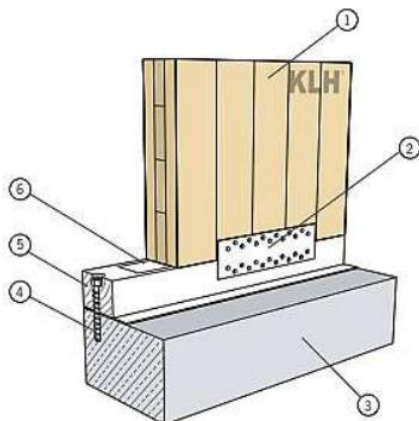
**Figura 21. Unión muro-cimentación con tornillos en diagonal**



- ① Tornillos de rosca completa diagonales para absorber fuerzas horizontales superiores
- ② Larguero de solera colocado en lecho de mortero y fijado mediante tacos al hormigón
- ③ Cinta de obturación doble a lo largo de las capas longitudinales de placas
- ④ Unión mediante tacos entre el larguero y el hormigón

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

**Figura 22. Unión muro-cimentación con pletina plana**



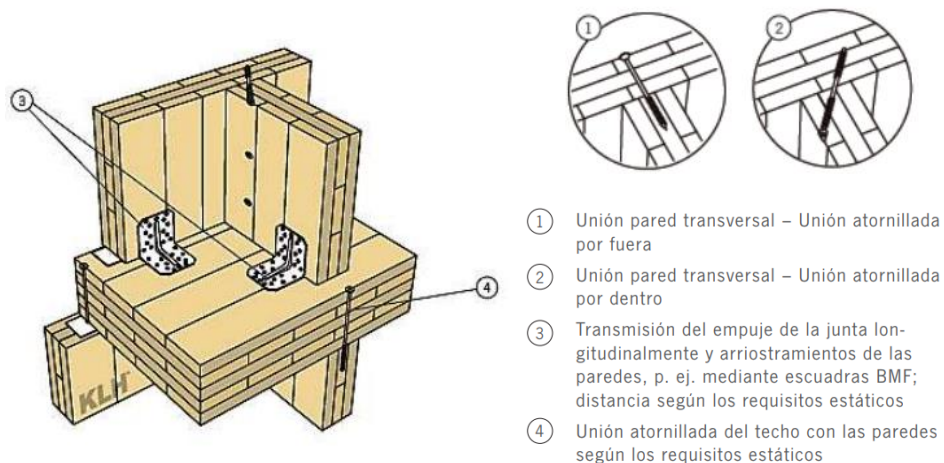
- ① Placa de pared KLH conforme a los requisitos estáticos
- ② P. ej. chapa perforada BMF para conexión de empuje entre la pared KLH y el larguero
- ③ Componente de hormigón (pared, techo, placa de hormigón)
- ④ Tornillos de hormigón para la transmisión del empuje entre el larguero y el hormigón
- ⑤ Colocar el larguero de roble o alerce en el lecho de mortero (apoyo en toda su superficie)
- ⑥ En caso necesario, colocar cinta de obturación

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

### 3.1.6.2 Uniones muro-forjado

Para realizar este tipo de unión se puede usar los tornillos autoroscantes el cual permitirá juntar el forjado con las paredes inferiores y superiores. Otra opción es el uso de pletinas metálicas en ángulo que junta la pared inferior y la superior, se puede encontrar muchas soluciones con las combinaciones de ambas. En la **Figura 23** se muestra una forma de unión de paredes internas y externas.

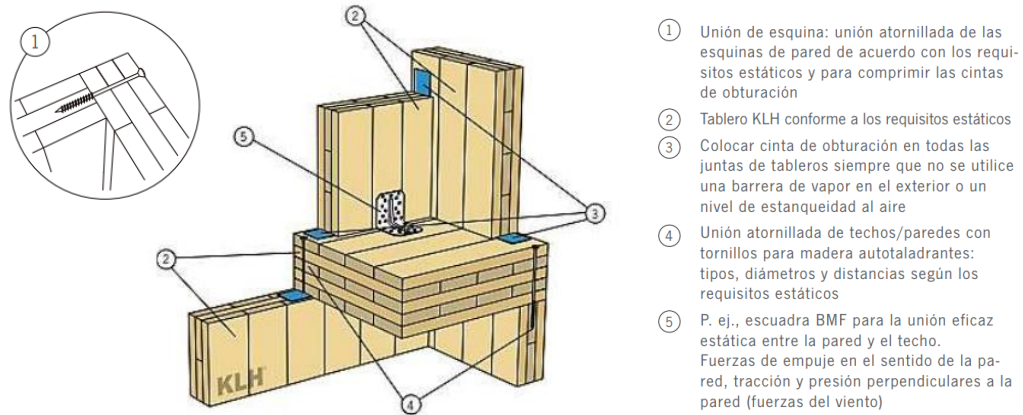
**Figura 23.** Uniones paredes internas-paredes externas



**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

### 3.1.6.3 Uniones muro-muro

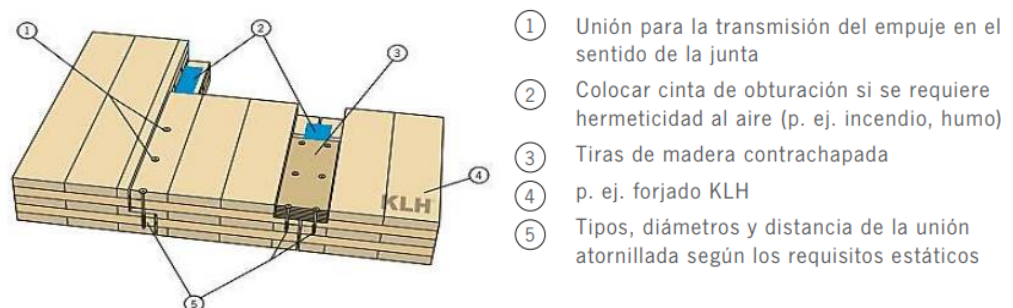
Este tipo de uniones se puede realizar con los tornillos autoroscantes a lo largo de la pared. En las paredes que forman esquinas o a medio muro tienen que ir perpendicularmente para poder resistir a los esfuerzos horizontales. También existe la posibilidad de realizarlo mediante los perfiles de madera o de metales. En la **Figura 24** se presenta la unión de las paredes externas.

**Figura 24. Unión paredes externas**


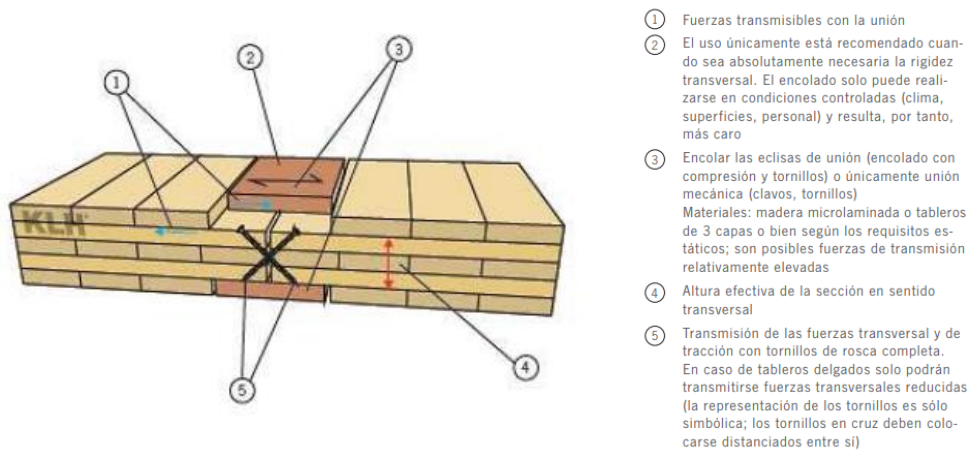
Fuente: Autor con base en KLH (2016).

### 3.1.6.4 Uniones entre tableros alineados

Estas uniones se realizan a lo largo de todo el canto de los tableros, para forjados y muros. Una de las opciones es el uso de una o dos tablas de conexión que pueden ser tableros contrachapados o LVL (*Laminated Veneer Lumber*) que son atornillados, con la posibilidad de ser pegados. Para el caso de forjados bidireccionales también se usa el tornillo autoroscante en cruz. Asimismo, se pueden usar las pletinas planas con tornillos autoroscantes o utilizar los tableros dentados o escalonados en los cuales se pueden colocar los tornillos perpendiculares o en cruz, que son más fáciles de ejecutar. Douglas et al. (2013) describen un tipo de unión de tubo, en el cual los tableros tienen unas barras con rosca encoladas, las cuales coinciden al momento de montar dos tableros alineados. En las **Figura 25** y **Figura 26** se presentan las opciones de las uniones entre forjados unidireccionales y bidireccionales.

**Figura 25. Unión entre forjados unidireccionales**


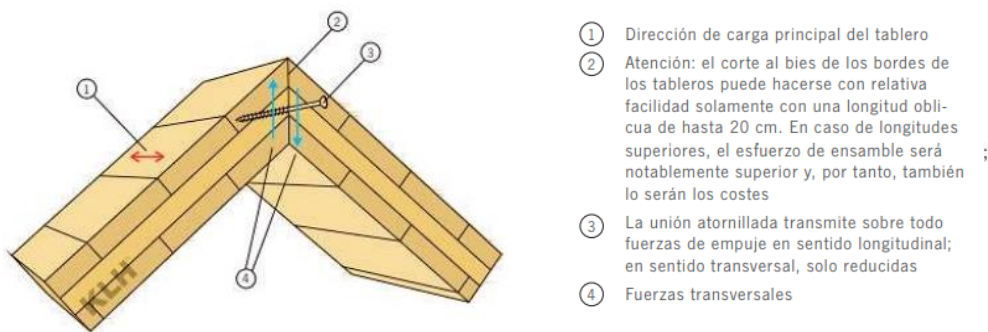
Fuente: Autor con base en KLH (2016).

**Figura 26.** Unión entre forjados bidireccionales

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

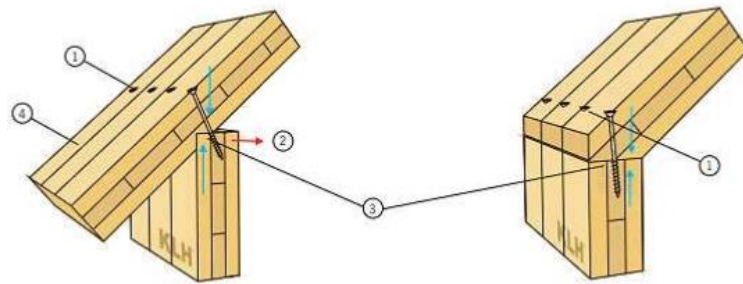
### 3.1.6.5 Uniones en techos

En este tipo de uniones, para la cúpula y para la unión techo-muro, se utilizan los tornillos autoroscantes. En las **Figura 27**, **Figura 28** y **Figura 29** se observan las uniones para techos planos y con inclinaciones.

**Figura 27.** Unión de cúpula del techo

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

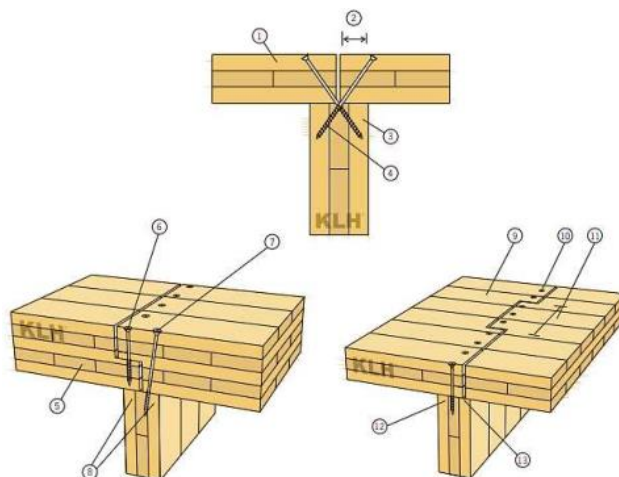
**Figura 28.** Unión de pared con techo



- ① Los tornillos absorben fuerzas de empuje paralelas al soporte y fuerzas de succión del viento
- ② Con fuerzas elevadas hacia el interior, emplear tornillos de rosca completa
- ③ La superficie de apoyo debe ejecutarse en perpendicular a la dirección de las cargas principales
- ④ Cuando el sentido de carga principal del tablero es paralelo al apoyo, los voladizos laterales solo serán posibles en función de la capacidad de carga transversal (capas centrales); se requerirá una comprobación de las condiciones estáticas

**Fonte:** Autor con base en KLH (2016).

**Figura 29.** Unión para techos planos



- ① Junta del techo sobre una pared delgada (puede ser necesaria para aislamiento acústico de los tableros de tejado)
- ② Observar también las tolerancias constructivas en cuanto al ancho de soporte
- ③ Respetar un ancho de soporte mínimo de 4 cm o bien una compresión perpendicular a la fibra. Tener en cuenta posibles esfuerzos por incendio; tras un incendio deberán quedar en cualquier caso 3 cm de soporte
- ④ Junta de tableros sobre una pared posible solamente con fuerzas horizontales reducidas en la junta placa-pared. Posibilidades limitadas de cálculo de las uniones atornilladas oblicuas (recomendables solo con esfuerzos reducidos)
- ⑤ Para la correcta distribución de las cargas, entallar las placas. De este modo es posible respetar en la mayor parte

**Fuente:** Autor con base en KLH (2016).

### 3.1.7 Costos

En un trabajo realizado por Viotto (2014), en España, se compara dos tipos de viviendas; la primera una casa de 314 m<sup>2</sup> de dos pisos construida por el sistema convencional y la segunda, una vivienda de 157 m<sup>2</sup> de dos pisos construida por el sistema constructivo CLT, ambas viviendas fueron construidas entre los años 2006 y 2007. Los valores obtenidos fueron de 313,85 €/m<sup>2</sup> para el sistema convencional y 457,32 €/m<sup>2</sup> para el CLT, resultando este último 30% más caro.

En el manual de FPInnovations, Bilek et al. (2013) mencionan que en Norteamérica las construcciones realizadas con CLT, de 1 piso a 3 pisos, tienen un costo de 30% más caro



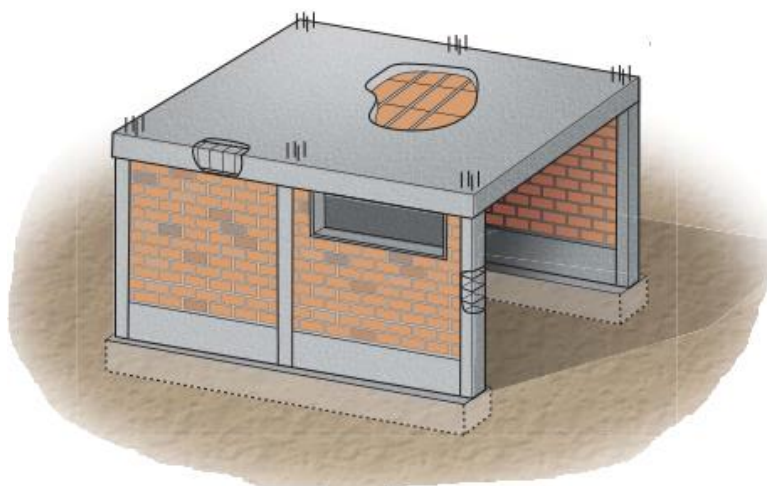
que con hormigón armado y que construir con CLT es más competitivo a partir de los 5 pisos en adelante. En este caso los autores no analizan el tiempo de construcción, lo que sería un factor fundamental pues la misma FPIinnovations menciona que construir con CLT ahorraría el 30% del tiempo que al construirlo por hormigón armado. Este estudio fue realizado mediante simulaciones de costos de 14 construcciones. Así, para edificios de 5 pisos el costo en CLT fue de 333,68 \$/m<sup>2</sup> mientras que en sistemas convencionales fue de 344,44 \$/m<sup>2</sup>, en el caso de 8 pisos con CLT fue de 322,92 \$/m<sup>2</sup> y 365,97 \$/m<sup>2</sup> en sistemas convencionales.

Actualmente en Brasil, no existen publicaciones que analicen los costos del CLT, por lo que en el análisis posterior de viabilidad técnica-económica se hará el estudio de los costos de construcción por este sistema constructivo.

### 3.2 Albañilería Convencional (Técnica constructiva de referencia)

En Brasil el sistema constructivo más utilizado actualmente es la albañilería con 88,52% de los domicilios construidos (IBGE, 2010). Las edificaciones construidas por la técnica constructiva convencional son constituidas por concreto armado y por la albañilería de ladrillos como se observa en la **Figura 30**. El concreto armado tiene una función estructural, formado por losas, vigas y columnas; y la albañilería actuando como cerramiento de la estructura (ALVES; 2016). Las construcciones autogerenciadas son las que están a cargo de los dueños, para casas de un piso que no se va a construir la losa del techo es común no encontrar vigas, solo se colocan las vigas de amarre (*cinta de amarração*) que van encima de las paredes de ladrillos.

**Figura 30.** Construcción Convencional



**Fuente:** Manual de Construcción (2017).

Este sistema constructivo viene siendo utilizado desde la década de los años treinta, sin tener un avance tecnológico en comparación con las otras industrias (SILVA, 2003). Tiene

una característica artesanal, ya que es altamente dependiente de la calidad de mano de obra por lo que presenta una baja productividad, considerables desperdicios de residuos y tiempos de espera (curado del concreto).

Un estudio realizado por Soares (2010) nos muestra un comparativo de las pérdidas de materiales que se presenta en la **Tabla 5**. En el cual se puede observar que para el concreto hecho en obras se tiene entre 9 y 13%; para los ladrillos son entre 17 y 52%; contrapiso ejecutado en obra entre 15,88 hasta 79%. EL estudio de Agopyan et al. (1998) muestran que 56% de cemento, 13% de ladrillos, 44% de arena y 9% de acero se transforman en residuo en obras de construcción de edificios.

**Tabla 5.** Comparación de las pérdidas de los materiales

| MATERIAIS                       | ESTUDO DE CASO | FINEP 1998 | SOIBELMAN (1993) |
|---------------------------------|----------------|------------|------------------|
|                                 | Média          | Média      | Média            |
| CONCRETO USINADO                | 9,75           | 9          | 13               |
| BLOCO CERÂMICO                  | 31,1           | 17         | 52               |
| PLACA CERÂMICA 41x41cm, PISO    | 15,44          | 16         | -                |
| PLACA CERÂMICA 31x31cm, PISO    | 2,79           | 16         | -                |
| PLACA CERÂMICA 31x31cm, PAREDES | 6,36           | 16         | -                |
| CONTRAPISO USINADO              | 15,88          | 79         | -                |

Fuente: Soares (2010).

### 3.2.1 Proceso constructivo

#### 3.2.1.1 Cimentaciones

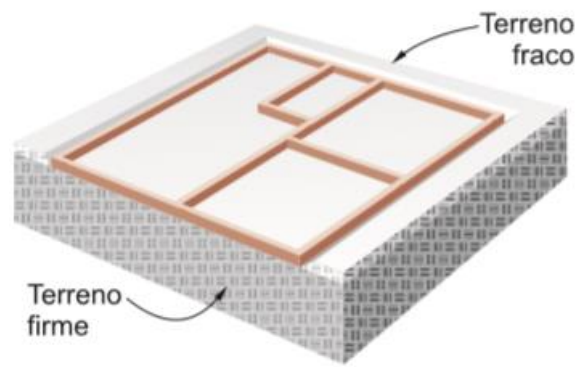
Las cimentaciones son las encargadas de soportar las cargas provenientes de las cargas permanentes (peso propio) y las cargas accidentales (sobrecargas) para distribuir esos esfuerzos en el suelo (SALGADO, 2014)

Las cimentaciones dependen del tipo de suelo en el cual se va construir. En Brasil el estudio más utilizado es el SPT (*Standard Penetration Test*) que constituye una medida de la resistencia a la penetración con un sondaje de reconocimiento simple que se rige por la NBR

6484 (ABNT, 2001). Para la construcción por la técnica convencional o tradicional para obras simples se usan las siguientes cimentaciones:

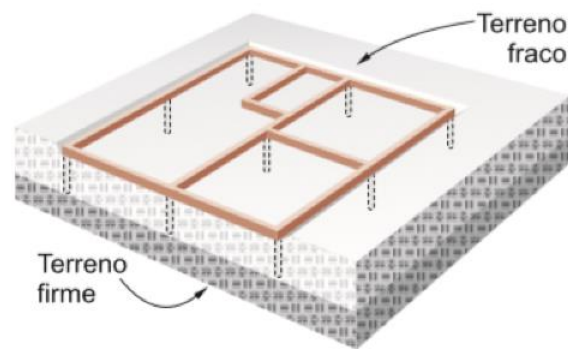
**Vigas de cimentación**, llamadas vigas *Baldrame* en el Brasil, es una cimentación superficial que puede ser colocada en suelo firme. Según Meyer (2010), esta cimentación se puede usar cuando se encuentra suelo firme hasta unos 60 cm de profundidad, se puede ejecutar la zapata corrida directamente sobre el fondo de la zanja. Salgado (2014) indica una altura de la viga de cimentación de 20 a 30 cm, sobre la cual es asentada una albañilería de envase hasta nivelar con el piso.

**Figura 31.** Vigas de cimentación



**Fuente:** Autor con base en Meyer (2010).

**Estacas o Pilotes** se utilizan cuando el suelo firme está a una profundidad mayor a 60 cm de profundidad, sobre éstas se apoya la viga de cimentación (MEYER, 2010). Se tiene que realizar la impermeabilización para evitar que entre la humedad y suba hacia las paredes de las viviendas. Salgado (2014) recomienda utilizar las estacas concretadas *in-loco* en suelos sin presencia de arenas que sean cohesivos, compactos y firmes; este tipo de estacas son consideradas de bajo costo y de fácil ejecución.

**Figura 32. Estacas o Pilotes**

Fuente: Autor con base en Meyer (2010).

**Losas de cimentación**, llamadas *Radier* en el Brasil, es una losa concretada encima de suelos uniformes. Este tipo de cimentación es aprovechado, ya que la losa ya funciona como contrapiso y vereda (acera). Antes de concretarse se tiene que realizar las instalaciones sanitarias: tubos y desagüe, conocido este último como *ralo* en el Brasil (MEYER, 2010).

**Figura 33. Losas de cimentación**

Fuente: Autor con base en Meyer (2010).

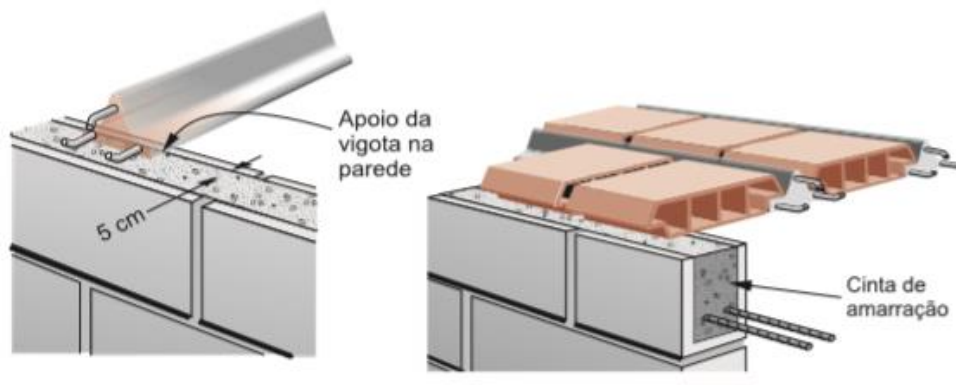
### 3.2.1.2 Vigas, Pilares y Losas

Estos elementos son hechos con hormigón armado. Primero se coloca las armaduras de acero (varillas y estribos), seguido del encofrado, para finalmente concretar.

**Las Losas** son hechas por concreto armado, ejecutadas *in-loco* o las prefabricadas de concreto armado compuestas de viguetas T, viguetas cerchas y bloques de techo, llamado *lajotas* en el Brasil. Los bloques de techos pueden ser cerámicos o de concreto.

Según Meyer (2010) si el vano es inferior a 3,40 m se coloca una fila de puntales y si el vano fuera de 3,40m a 5m se coloca dos fileras de puntales. Para formar la contraflecha se necesita que los puntales sean un poco más altos que las paredes.

**Figura 34.** Losas con viguetas T



**Fuente:** Autor con base en Meyer (2010).

### 3.2.1.3 Paredes

Las paredes internas y externas pueden ser hechas con bloques de concreto o ladrillos que son unidos por el mortero. Se tiene que usar el nivel y el plomo para asentar los ladrillos, en este caso depende de la calidad de la mano de obra para obtener buenos resultados de las paredes (MEDINA, 2017).

**Figura 35.** Conferencia del nivel y plomo

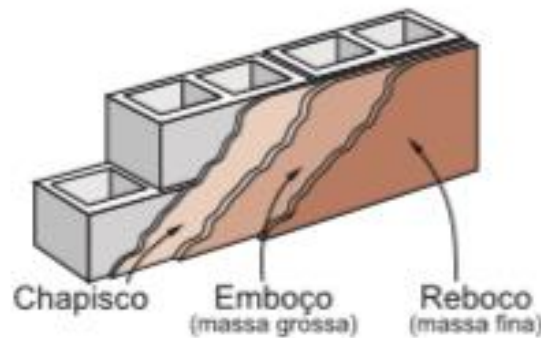


**Fuente:** Melo (2014).

### 3.2.1.4 Revestimiento

El revestimiento tiene que ser realizado en tres etapas: tarrajeo primario o rayado, tarrajeo fino y estucado. En cada etapa se tiene que esperar a que las capas sequen antes de aplicar la siguiente capa (MEYER, 2010).

**Figura 36.** Revestimiento



**Fuente:** Autor con base en Meyer (2010).

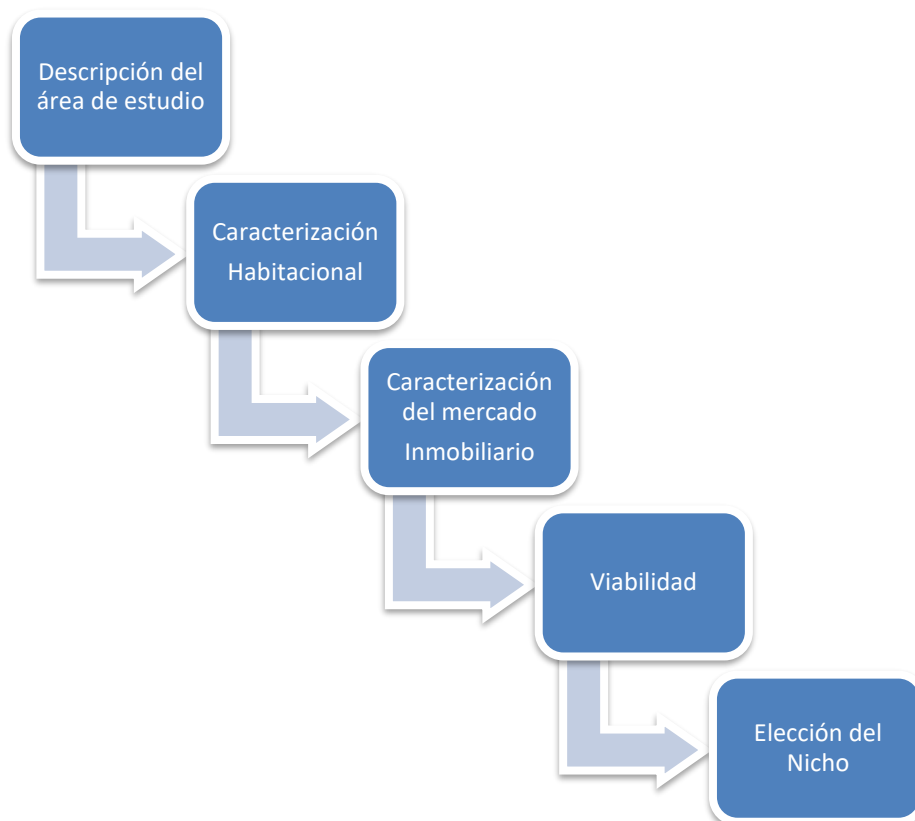
### 3.2.1.5 Instalaciones

Se realiza las instalaciones hidráulicas, sanitarias, gas, telecomunicaciones y eléctricas. En las actividades a ser realizadas está la ejecución de las regatas y rozas, realizadas por maquinas regateadoras, martillos neumáticos o maceta y escarpa. Una vez terminado se colocan las tuberías y luego se tapa con mortero o yeso. En esta parte se tiene mucho desperdicio y polvareda en la obra.

## 4. METODOLOGÍA

El presente trabajo fue abordado desde la investigación cuali-cuantitativa y su desarrollo se orientó a resolver cada uno de nuestros objetivos planteados. Para ello, nuestro estudio fue dividido en 5 etapas, tal y como se observa en la **Figura 37**.

**Figura 37.** Flujograma de la Metodología



Fuente: Autor (2018)

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Foz de Iguazú es un municipio brasileño que está localizado en el extremo de la región oeste del Estado de Paraná (**Figura 38**), en la frontera de Brasil con Paraguay y Argentina. Según la estimativa del IBGE (2017), cuenta con una población de 264 044 habitantes.

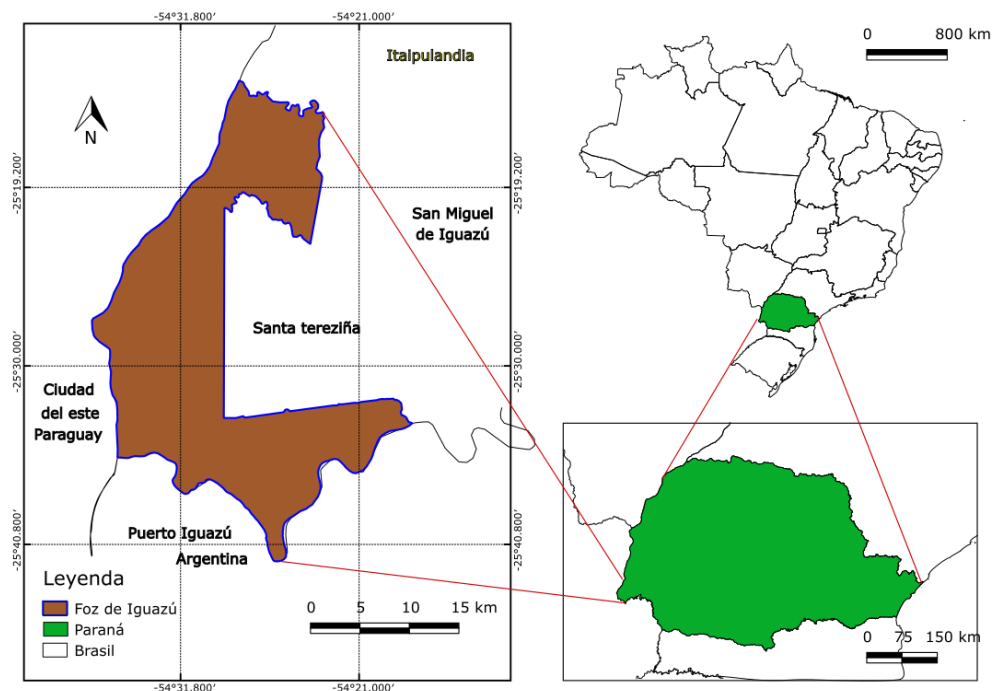
El área total territorial es de 617,71 km<sup>2</sup>, de los cuales 191,46 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana y 138, 17 km<sup>2</sup> son del área rural. Geográficamente está situado a 25°32'45" de latitud sur y 54°35'07" de longitud oeste, por lo que se encuentra en un clima subtropical húmedo, con precipitaciones abundantes que son distribuidas a lo largo de todo el año (PMFI, 2016).

Foz de Iguazú, presenta veranos muy calientes que pueden superar los 40 °C, en los inviernos la temperatura puede ubicarse por debajo de los 0 °C. Además, cuenta con una amplitud térmica de 11°C de diferencia media entre el verano e invierno (DELGADO; SACHT; VETTORAZZI, 2016).

## LÍMITES

- Norte: *Itaipulândia*
- Sur: Puerto Iguazú (Argentina)
- Este: *Santa Terezinha de Itaipu* y *São Miguel do Iguazu*.
- Oeste: Ciudad del Este (Paraguay)

Figura 38. Mapa de Foz de Iguazú



Fuente: Autor (2018).

## 4.2 Caracterización habitacional de Foz do Iguazú

Esta sección responde a nuestro primer objetivo específico, que es conocer las características habitacionales del Municipio de Foz de Iguazú. Para ello, la técnica de investigación empleada fue la de investigación documental, en donde recurrimos a las fuentes primarias como son: El Censo Demográfico (2010), que es encontrado en la base de datos del Sistema IBGE De Recuperación Automática (SIDRA); la Investigación Nacional por muestreo de Domicilios (PNAD) y la Clasificación Social por medio de salarios mínimos. Cabe



resaltar que todos estos datos pertenecen al Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

La recolección de datos se realizó en el periodo de los meses de octubre y noviembre del año 2017. A continuación, se detalla el proceso:

- En un primer momento, se analizaron las PNAD de los años 2013, 2014, 2015 y 2016, sin embargo, no se encontró ninguna información concerniente al municipio de Foz de Iguazú, por lo que se entró en contacto con los funcionarios del IBGE-FOZ, los cuales no supieron responder nuestros cuestionamientos, dicho proceso tuvo un tiempo de demora de aproximadamente un mes. Ante tal situación nos contactamos con un funcionario del IBGE-SÃO PAULO, quien aclaró que la PNAD no incluía a los municipios que no eran capitales de los Estados y nos orientó a recurrir a los datos de los Censos (investigaciones que incluyen a todos los Municipios de Brasil).
- Para buscar información respecto al tipo de material utilizado en la construcción de viviendas, el número de dormitorios de las viviendas y las rentas domiciliarias, se accedió a la base de datos del SIDRA. En dicha base de datos se encontró el último Censo Demográfico que fue realizado en el 2010. En vista de que no se tenían datos actuales se recurrió a la búsqueda vía internet, para ello se utilizó el buscador de Google. Las palabras clave utilizadas fueron: *pesquisa domicílios Foz do Iguaçu*, *material domicílios de Foz do Iguaçu*, *rendimentos domicílios Foz do Iguaçu* y *número de dormitórios por domicílios de Foz de Iguaçu*. El único dato encontrado fue del Sistema de Información de Atendimento Básico (SIAB), pero éste se basaba solamente en las informaciones de la población que se encontraba inscrita en el Sistema Único de Salud (SUS), por lo que finalmente se decidió trabajar con los datos del Censo Demográfico del año 2010.
- La recolección de datos en la plataforma del SIDRA se realizó para los domicilios particulares permanentes, que son viviendas residenciales como: casas, casas de condominios, casas de urbanizaciones y departamentos.
  - Las casas de condominio son aquellas que hacen parte de un conjunto residencial constituidas por dependencias de uso común como áreas de ocio, plazas interiores, losas deportivas, etc. Generalmente este tipo de casas son separadas una de otras.
  - Las casas de urbanizaciones, llamadas en el Brasil como *casas de vila*, forman un grupo de casas con un acceso único y generalmente están juntas o son gemelas, construcciones de dos o más casas simétricas que comparten la estructura, pared y techo.

- Los datos encontrados en la plataforma SIDRA respecto al tipo de material usado en la construcción de las viviendas fueron datos que correspondían a las paredes externas de los domicilios. Aquí, es necesario indicar que pueden existir viviendas construidas con materiales de paredes externas diferentes al material usado en la totalidad de la construcción. Este tipo de situaciones no suceden frecuentemente, pues las casas generalmente son construidas con el mismo material para toda la estructura y el taponamiento. Así, para el presente trabajo se utilizaron los datos de los tipos de materiales de las paredes externas como si fuese el material usado en toda la casa.
- Los datos recolectados de la plataforma SIDRA incluían el revestimiento de las paredes como una característica. Para el presente estudio consideramos la totalidad de paredes como la suma de las cantidades de paredes revestidas y no revestidas. Además, para el análisis se consideró solamente las paredes externas de albañilería y madera, desconsiderando los otros materiales pues correspondían a un 0,22% (IBGE, 2010).
- Para la obtención de datos respecto al número de dormitorios por cada domicilio se utilizó la plataforma SIDRA. Para el presente estudio se consideraron las viviendas con cantidades menores a 5 dormitorios, desconsiderando los domicilios que presentaban más de 4 dormitorios, pues representaban sólo un 0,48% (IBGE, 2010).
- Las rentas domiciliarias fueron obtenidas en la plataforma del SIDRA y se ordenaron de acuerdo a la clasificación de las clases sociales del IBGE, ello en relación a los salarios mínimos (**Tabla 6**). Justificamos el uso de esta clasificación por tener una correspondencia biunívoca entre las clases sociales y los padrones de construcción. Ello quiere decir que una construcción de padrón alto estaría relacionado a una clase social alta.

**Tabla 6.** Clasificación Social por rentas domiciliarias

| <b>Clases Sociales</b> | <b>Renta Domiciliar</b>      |
|------------------------|------------------------------|
| <b>Alta</b>            | Mayor de 20 salarios mínimos |
| <b>Media alta</b>      | 10 a 20 salarios mínimos     |
| <b>Media</b>           | 4 a 10 salarios mínimos      |
| <b>Media baja</b>      | 2 a 4 salarios mínimos       |
| <b>Baja</b>            | Hasta 2 salarios mínimos     |

**Fuente:** Autor con base en datos del IBGE (2010).

### 4.3 Caracterización del mercado inmobiliario de Foz de Iguazú

Esta sección estará orientada a responder nuestro segundo y tercer objetivo específico. Ello incluye la descripción de las características del mercado inmobiliario y el reconocimiento de la demanda inmobiliaria en Foz de Iguazú.

La técnica de investigación empleada fue la de investigación documental mediante la recopilación de datos de fuentes secundarias como son: La plataforma TRIVIT y las búsquedas vía internet. Así también, se usó la técnica de las entrevistas de tipo semi-estructuradas.

Esta parte del trabajo se realizó en el periodo de los meses de marzo a mayo del año 2018. A continuación, se detalla el proceso:

- Para la identificación de estudios o instituciones que cuenten con informaciones de las características del mercado inmobiliario, los costos y precios de venta en el sector de casas térreas y sobrados en la ciudad de Foz de Iguazú, se realizaron búsquedas vía internet.
  - Para la identificación de estudios se realizaron búsquedas en portugués, utilizando el buscador *Google Acadêmico*, colocándose como palabras clave: *preço venda imobiliário Foz do Iguaçu, mercado imobiliário de Foz do Iguaçu y preço de casas Foz do Iguaçu*. La selección previa fue hecha por medio de las lecturas de los títulos y resúmenes, buscando aquellas que abarquen las características del sector inmobiliario o los precios de ventas. Los resultados de la búsqueda para estas palabras clave fueron poco satisfactorios.
  - Para la identificación de las instituciones se realizaron búsquedas en portugués, utilizando el buscador *Google*, colocándose como palabras clave: *Sindicato de corretores de Foz do Iguaçu, associação mercado imobiliário Foz do Iguaçu e sindicato habitação Foz do Iguaçu*. En la **Tabla 7**, se presenta a las instituciones seleccionadas.

**Tabla 7.** Instituciones analizadas

| <b>Siglas</b>     | <b>Institución</b>                                     |
|-------------------|--|
| <b>ABMI</b>       | Asociación Brasileña del Mercado Inmobiliario          |
| <b>SECOVI</b>     | Sindicato de la Habitación y Condominios               |
| <b>ACIFOZ</b>     | Asociación de Corredores de Inmuebles de Foz de Iguazú |
| <b>CRECI</b>      | Consejo Regional de Corredores de Inmuebles            |
| <b>FOZ-HABITA</b> | Instituto de Habitación de Foz de Iguazú               |

**Fuente:** Autor (2018).

- En esta parte, cabe resaltar que para la recopilación de datos se tuvo un acercamiento a dichas instituciones por medio de mensajes de correo electrónico, llamadas telefónicas y en algunas, visitas en oficinas. Sin embargo, no se obtuvo los datos que se necesitaban, sólo la SECOVI supo orientarnos. Así, se entrevistó al vicepresidente del SECOVI-PR quien nos informó que la institución que tendría esas informaciones era el Instituto Paranaense de Investigación y Desenvolvimento del Mercado Inmobiliario y Condominal (INPESPAR).
- Conforme a lo recomendado, se contactó con el INPESPAR quienes nos mencionaron que no contaban con datos de los precios medios de venta, ya que el análisis lo realizaban recolectando informaciones de ventas de las páginas web de las inmobiliarias en cada ciudad. Sin embargo, en Foz de Iguazú tenían un problema, pues en muchos de los avisos no existía el metraje de los inmuebles.
- Para obtener información acerca de los precios y demandas para cada padrón de construcción se realizó la búsqueda vía internet de inmobiliarias, las cuales pasarían por un proceso de selección para posteriormente ser entrevistadas. Para ello, se priorizó el tiempo de experiencia en el sector y el volumen de las ofertas de inmuebles. Las búsquedas se realizaron en portugués, utilizando las siguientes palabras claves: *maiores imobiliarias em Foz do Iguacu* y *mais importantes imobiliarias de Foz de Iguacu*. En la **Tabla 8**, podemos observar las inmobiliarias seleccionadas.

**Tabla 8.** Inmobiliarias elegidas

| INMOBILIARIAS  | CREADAS | INMUEBLES A VENTA |
|----------------|---------|-------------------|
| INMOBILIARIA 1 | 1990    | 506               |
| INMOBILIARIA 2 | 1992    | 328               |
| INMOBILIARIA 3 | 1988    | 283               |
| INMOBILIARIA 4 | 1988    | 121               |
| INMOBILIARIA 5 | 1992    | 66                |
| INMOBILIARIA 6 | 1991    | 52                |
| INMOBILIARIA 7 | 1989    | 49                |
| INMOBILIARIA 8 | 1991    | 17                |

Fuente: Autor (2018).

- De las inmobiliarias elegidas se pasó un filtro de selección, el cual consistía en clasificar a las inmobiliarias que tuvieran por lo menos 20 años de

- experiencia. De las cuales cuatro inmobiliarias fueron seleccionadas para realizar las entrevistas.
- Las entrevistas se realizaron a los representantes de las inmobiliarias y tuvieron un tiempo de duración de aprox. 45 min.
  - La caracterización de los padrones de construcción se realizó mediante los rangos de precios, dichos datos fueron obtenidos en las entrevistas a los representantes de las inmobiliarias. La definición de los padrones de construcción se hizo por los rangos de precios con mayor frecuencia, esto significa aquel rango que se repita la mayor cantidad de veces.
  - Así también, por medio de las entrevistas, se obtuvieron datos respecto a los valores de precios de venta y construcción. El valor medio del precio de venta y el valor medio del precio de construcción fueron estimados mediante el promedio aritmético de los valores.
  - La caracterización de la oferta del mercado inmobiliario respecto a los tipos de viviendas ofertadas (casas térreas, sobrados y departamentos) y al número de dormitorios, se realizó por medio de la plataforma TRIVIT en la búsqueda vía internet. Dicha plataforma fue escogida por presentar mayor cantidad de unidades de venta frente a las otras plataformas pues cuenta con varios avisos de inmobiliarias y personas naturales. Para nuestro estudio fueron utilizados 383 avisos de venta de la plataforma, muestra que cuenta con un nivel de confianza del 95% y un error de 5%, ello tomando como población total al número de domicilios censados en el 2010.
    - El proceso de recolección de datos en la plataforma TRIVIT se realizó rellenando el campo de precio mínimo y máximo según los padrones clasificados por las inmobiliarias. Para el caso de los dormitorios se seleccionó el botón de números 0+,1+,2+,3+,4+; el número define la cantidad y el símbolo + significa que abarca los números superiores. Por ejemplo, 1+, representa las viviendas con uno o más dormitorios.

#### **4.4 Análisis de viabilidad técnico-económica**

Esta parte de nuestro trabajo se orientó a desarrollar nuestro cuarto objetivo específico, que es estudiar la viabilidad técnico-económica de la implementación del CLT en Foz de Iguazú. Para ello, en un primer momento se describió el panel de CLT escogido para la realización del análisis de la viabilidad, los datos usados para la descripción fueron obtenidos en el portal web de un proveedor de CLT y por medio de la entrevista a un

representante de dicho proveedor. Posteriormente, se analizó la viabilidad técnica por medio del análisis de fuentes primarias como son: la Norma de desempeño de edificaciones - NBR 15575 (ABNT, 2013), la Norma de desempeño térmico de edificaciones - NBR 15220 (ABNT, 2005), la Ley complementaria N° 276 (PMFI, 2017) y el código de obras que se encuentra en la Ley complementaria N° 3 (PMFI, 2015). Y finalmente, se analizó la viabilidad económica por medio de búsquedas vía internet y entrevista a un proveedor de CLT.

Esta parte del trabajo se realizó en el periodo de los meses de mayo a junio del año 2018. Cabe resaltar que el presente trabajo de viabilidad técnico-económica es una exploración inicial al campo de estudio.

#### 4.4.1 Descripción del CLT

- Para identificar a los proveedores del sistema constructivo del CLT en Brasil, se realizaron búsquedas vía internet en portugués. Las palabras usadas para las búsquedas fueron *fornecedoras de CLT no Brasil, madeiras de CLT no Brasil, fornecedoras madeira laminada colada cruzada Brasil*. De la búsqueda se logró identificar a dos proveedoras. La Proveedora 1, ubicada en *São Paulo*, fue localizada a través del motor de búsqueda de Google y la Proveedora 2, ubicada en Paraná, fue localizada a través del portal de AECWEB.
- El análisis de la viabilidad técnica-económica se realizó en base a los paneles de CLT de la Proveedora 1, ya que no se obtuvo respuesta alguna de la Proveedora 2.
- El levantamiento de datos de las características técnicas del CLT se realizó por medio del portal web de la Proveedora 1.
- El levantamiento de datos sobre precios y tiempos de construcción con CLT, se realizó mediante una entrevista al CEO (*Chief Executive Officer*) de la Proveedora 1.

#### 4.4.2 Análisis de viabilidad técnica

Este análisis tiene como objetivo evaluar las características técnicas frente al clima y las condiciones legales de los paneles de CLT, para su implementación en Foz de Iguazú. Así:

- El análisis de la capacidad técnica frente al clima de Foz de Iguazú se realizó por medio del cálculo de las transmitancias y capacidades térmicas establecidas en la NBR 15220 (ABNT, 2005). La evaluación se realizó por medio del método simplificado de la NBR 15575 (ABNT, 2013).

- El análisis de las condiciones legales para la implementación del CLT se realizó en base a las normas locales de Foz de Iguazú. Para ello, se utilizó la Ley complementaria N° 276 (PMFI, 2017), que habla sobre la zonificación de uso y ocupación del suelo, y el código de obras que se encuentra en la Ley complementaria N° 3 (PMFI, 2015). Todo ello, para conocer las reglamentaciones respecto a la construcción con madera en el Municipio de Foz de Iguazú.

#### 4.4.3 Análisis de viabilidad económica

Este análisis tiene como objetivo evaluar los precios de venta en 3 escenarios de lucros para la construcción de CLT en Foz de Iguazú. Siendo los escenarios: 5%, 7,4% y 15%; dichos escenarios corresponden a los lucros mínimo (5%) y máximo (15%), definidos por la Tabla de Composición de Precios para Presupuestos<sup>2</sup> - TCPO (2010) y el lucro medio de 7,4% definido por el Tribunal de Cuentas de la Unión<sup>3</sup> - TCU 2.612 (2013).

##### 4.4.3.1 Costo de Construcción

La estimativa para el cálculo de costos de construcción por m<sup>2</sup> del CLT en Foz de Iguazú, se realizó mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$PC_{Foz\ de\ Iguazú} = PC_p + T$$

Donde:

PC: costo de construcción por m<sup>2</sup> para Foz de Iguazú.

PC<sub>p</sub>: costo medio de construcción por m<sup>2</sup> de la Proveedora 1 de CLT.

T: costo del transporte por cada metro<sup>2</sup> de construcción en CLT.

##### 4.4.3.2 Costo de transporte

La estimativa para el cálculo del costo de transporte, por m<sup>2</sup> de construcción de CLT, desde la Ciudad A<sup>4</sup> (São Paulo) hasta Foz de Iguazú (Paraná), se realizó para la Ruta A (1104km), Ruta B (1125 km) y Ruta C (1250 km) mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{F + P}{C}$$

---

<sup>2</sup> *Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos* (TCPO). Traducción libre del portugués al español.

<sup>3</sup> *Tribunal de Contas da União* (TCU). Traducción libre del portugués al español.

<sup>4</sup> Para resguardar la información de la localidad de la Proveedora 1, se usará Ciudad A como nombre ficticio.

Donde:

T: costo de transporte por m<sup>2</sup> de construcción de CLT

F: costo medio por el servicio del flete

P: costo del peaje

C: capacidad de carga por m<sup>2</sup>

- El costo medio por el servicio del flete se estimó por medio de 6 datos del portal FRETEBRAS teniendo como origen la Ciudad A y destino final Foz de Iguazú.
- El costo del peaje se calculó por medio de la suma de todos los peajes encontrados, para un camión articulado de 4 ejes, llamados en Brasil *carreta*, con capacidad máxima de 33 ton.
- La capacidad de carga por m<sup>2</sup> es la media de área de construcción que carga un camión articulado de 4 ejes. Este dato fue informado por la PROVEEDORA 1.

#### 4.4.3.3 Beneficios y Dispensas Indirectas (BDI)

El BDI es la suma de los costos indirectos con los lucros o ganancias. Los costos indirectos son: de administración central, seguros, riesgos, impuestos, entre otros. Para nuestro estudio, el cálculo del BDI se hizo de acuerdo al TCU 2.612 (2013), por medio de la siguiente ecuación.

$$BDI = \left[ \frac{(1 + AC + S + R + G)(1 + DF)(1 + L)}{1 + I} - 1 \right] \times 100$$

Donde

AC: tasa de administración central;

S: tasa de seguros;

G: tasa de garantías

R: tasa de riesgos

DF: tasa de dispensas financieras

L: tasa de lucro bruto

I: tasa de incidencia de Impuestos (PIS, COFINS, ISSQ, CPRB)

#### 4.4.3.4 Precio de venta

La estimativa del precio de venta medio para construcción de CLT en Foz de Iguazú se calculó mediante la siguiente ecuación:



$$PV_{Foz\ de\ Iguazú} = PC_{Foz\ de\ Iguazú} \times (1 + \%BDI)$$

Donde:

PV: precio de venta por m<sup>2</sup> de construcción con CLT

PC: costo por m<sup>2</sup> de construcción con CLT

C: capacidad de carga por m<sup>2</sup>

%BDI: Tasa de los BDI

#### 4.4.4 Identificación del Nicho de Mercado

El nicho, es el segmento del mercado en el que se puede reconocer una oportunidad de negocio para un determinado producto. Para el presente análisis fue necesario identificar el padrón de construcción que sería el nicho de mercado para construir con CLT en Foz de Iguazú.

- Para la identificación del nicho, se realizó el estudio por medio del análisis de los precios de venta por m<sup>2</sup> de construcción. En seguida, se comparó los precios de venta del mercado inmobiliario actual de Foz de Iguazú y los precios de construcción con el sistema constructivo CLT. Finalmente, se eligió como nicho de mercado los padrones en los cuales los precios de venta con construcción del CLT no sobrepasen los R\$500,00 a los precios de venta construidos por albañilería. Cabe resaltar que, según las inmobiliarias, los datos sobre los precios de venta levantados poseen un margen de error de R\$500.

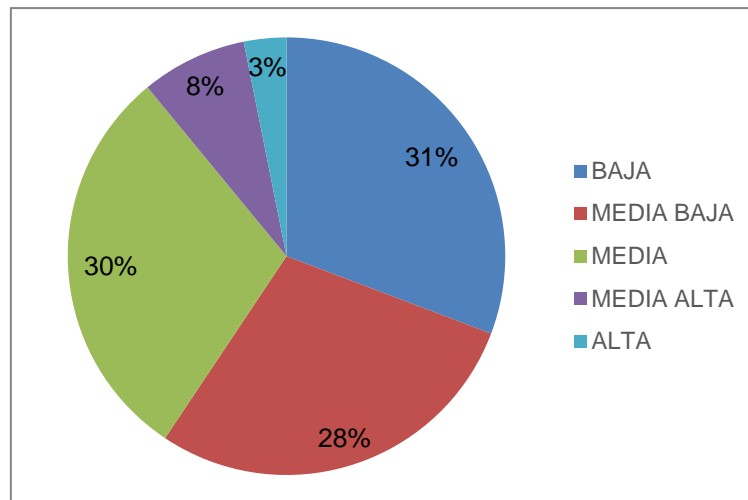
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Características habitacionales de Foz de Iguazú

#### 5.1.1 Renta domiciliar

De acuerdo a la Clasificación Social por rentas domiciliarias del IBGE (2010), se encontró que el 89% de las rentas se concentran en las clases sociales baja, media baja y media. Mientras que un 8% corresponde a la clase media alta y un 3% a la clase alta (**Figura 39**).

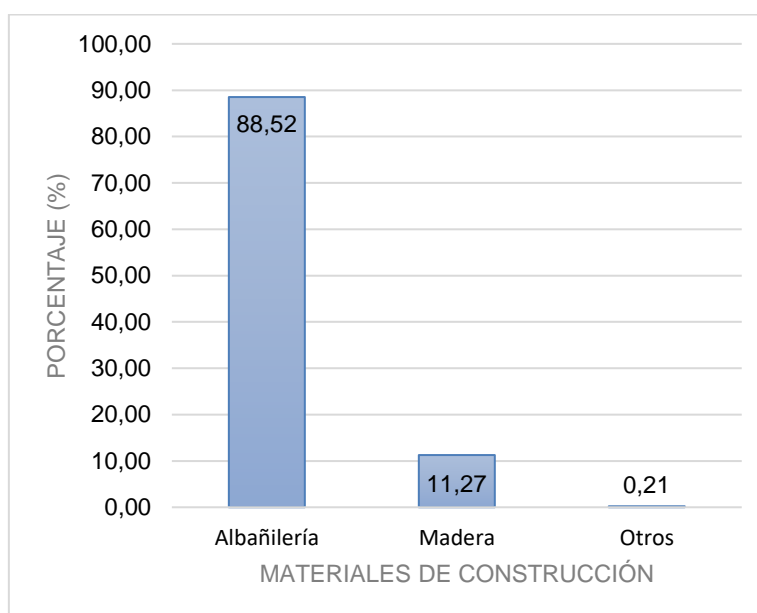
**Figura 39.** Rentas domiciliarias por clases sociales



Fuente: Autor con base de datos del IBGE (2010).

#### 5.1.2 Tipos de material de construcción

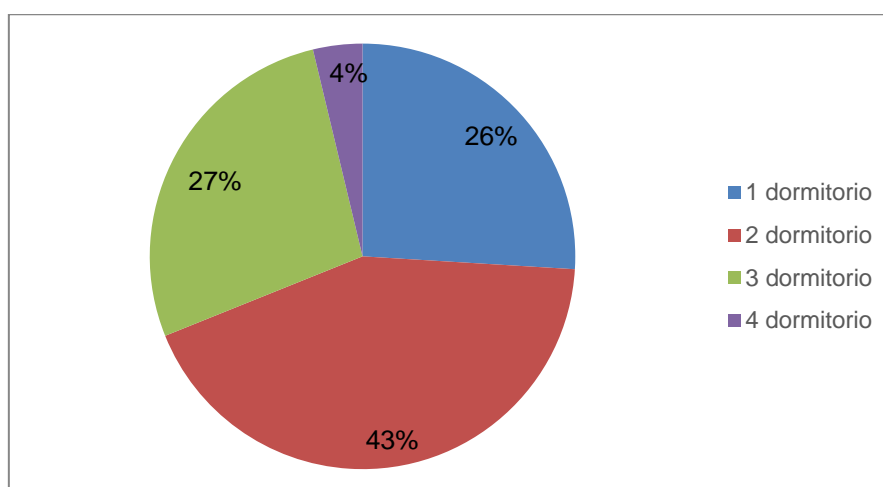
Foz de Iguazú presenta viviendas residenciales construidas mayormente en albañilería 88,53% y en madera 11,27% (**Figura 40**) (IBGE, 2010). La madera aparece como una opción a las construcciones convencionales. Además, en la región Sur de Brasil la madera empleada en el envolvente es algo corriente y aceptable socialmente. En la ciudad, existen barrios con viviendas de madera que fueron construidas para alojar a los trabajadores que vinieron para la construcción de la represa de Itaipú.

**Figura 40.** Material de las paredes externas de las viviendas

Fuente: Autor con base de datos del IBGE (2010).

### 5.1.3 Número de dormitorios

Respecto a la cantidad de dormitorios en las viviendas de Foz de Iguazú, se encontró que 43% de las viviendas cuentan con 2 dormitorios, 27% con 3 dormitorios, 26% con 1 dormitorio y 4% con 4 dormitorios (**Figura 41**). Se puede evidenciar que dichos porcentajes se relacionan con las rentas domiciliarias por clases sociales. De ello, podríamos deducir que las viviendas que presentan mayor número de dormitorios corresponden a la clase de mayor renta domiciliar.

**Figura 41.** Número de dormitorios por vivienda.

Fuente: Autor con base de datos del IBGE (2010).

## 5.2 Características del mercado inmobiliario

Los resultados de las características que se muestran a continuación han sido elaboradas en base a las entrevistas realizadas a las inmobiliarias. Aquí debemos resaltar que ello corresponde a una muestra y que no representa a la totalidad.

### 5.2.1 Precio de venta

El precio de venta incluye los costos de terreno, acabado, construcción y BDI; tal y como lo refirieron los representantes de las inmobiliarias en las entrevistas de acuerdo a cada padrón de construcción. Así, para el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú se encontraron valores de venta desde R\$150.000,00 a R\$200.000,00, para padrón bajo; R\$300.000,00 a R\$400.000,00 para padrón medio; y mayores a R\$500.000,00 para padrón alto (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** Precio de venta por padrones.

| <b>Padrón</b>     | <b>Precio Venta<br/>1000 R\$</b> |
|-------------------|----------------------------------|
| <b>bajo</b>       | 150 - 200                        |
| <b>medio bajo</b> | 200-300                          |
| <b>medio</b>      | 300-400                          |
| <b>medio alto</b> | 400 - 500                        |
| <b>alto</b>       | >500                             |

**Fuente:** Autor (2018).

#### 5.2.1.1 Precio de venta por m<sup>2</sup>

Los precios de venta por m<sup>2</sup>, en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú, incluyen la obra terminada con sus respectivos acabados sin incluir el costo de terreno para cada padrón de construcción. Así, se encontró: R\$ 1.500,00 padrón bajo, R\$ 2.000,00 padrón medio y superior a R\$ 3.000,00 padrón alto (**Tabla 10**). Dichos precios tienen una precisión aproximada de ± R\$ 500,00, según los representantes de las inmobiliarias. Los valores intermedios se calcularon por medio de una media aritmética entre los padrones extremos.

**Tabla 10.** Precio de venta x m<sup>2</sup>

| <b>Padrones de<br/>Construcción</b> | <b>Precio<br/>R\$/m2</b> |
|-------------------------------------|--------------------------|
| <b>Bajo</b>                         | 1500                     |
| <b>Medio bajo</b>                   | 1750                     |
| <b>Medio</b>                        | 2000                     |
| <b>Medio alto</b>                   | 2500                     |
| <b>Alto</b>                         | 3000                     |

**Fuente:** Autor (2018) en base a las entrevistas.

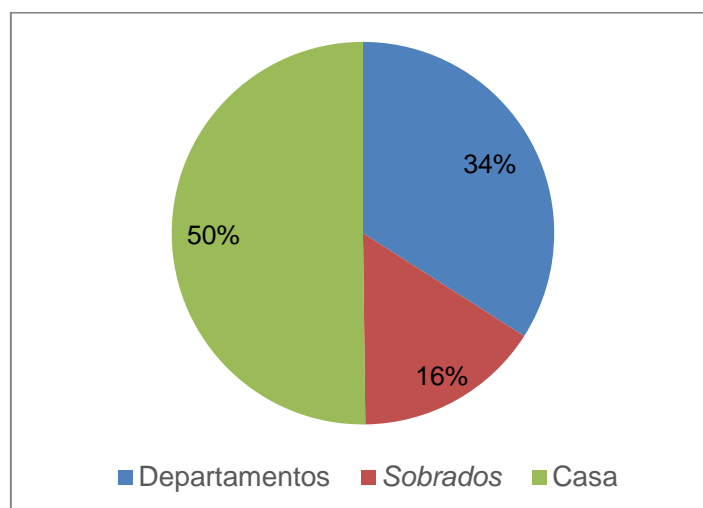
## 5.2.2 Oferta inmobiliaria

El presente análisis de oferta inmobiliaria corresponde a datos actuales levantados en abril del 2018. Este análisis se realizó con una muestra de 383 avisos de venta que comprenden *casas térreas* y *sobrados*.

### 5.2.2.1 Tipo de viviendas

Las ofertas, respecto al tipo de viviendas, identificadas en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú fueron: 50% de *casas térreas*, 34% de departamentos y 16% de *sobrados* (**Figura 42**). La oferta se relaciona con la demanda, esto quiere decir que hay una mayor demanda por *casas térreas* que por departamentos y *sobrados*.

**Figura 42.** Ofertas del Mercado Inmobiliario de Foz de Iguazú.

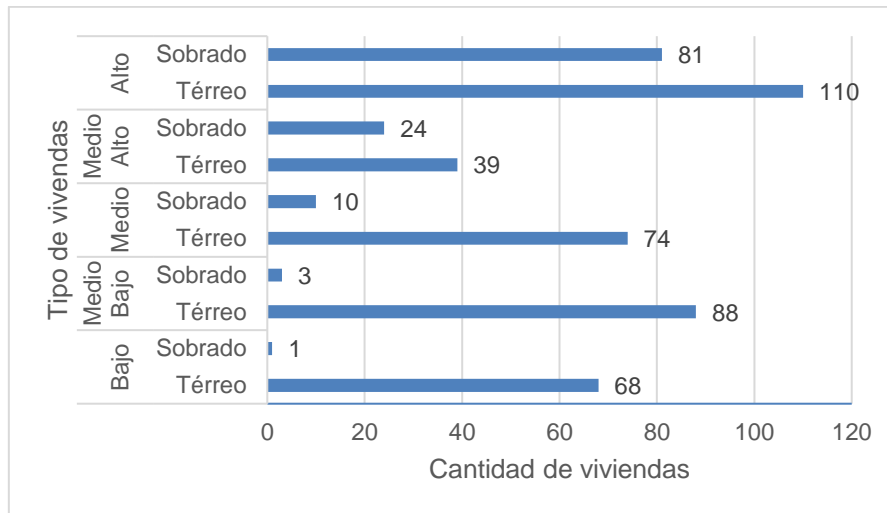


**Fuente:** Autor (2018).

De los datos arriba mostrados, se desprenden los resultados de tipos de viviendas por padrones (**Figura 43**). En donde se puede observar que los *sobrados* son ofertados en mayor cantidad para las clases sociales medio altas y altas, mostrando una presencia casi insignificante en las clases bajas y medio bajas.

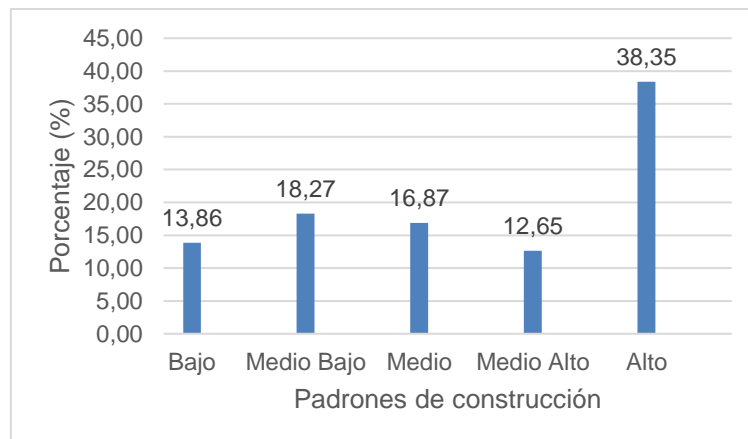
Además, se observó que existe mayor cantidad de ofertas de viviendas en el padrón alto. Esto se debe a que en ese tipo de construcciones las ganancias son mayores y al tener poca población de clase alta las unidades ofertadas se van acumulando y generando mayores cantidades. En la **Figura 44** se presenta el porcentaje de las ofertas en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú según los padrones de construcción, dichas ofertas incluyen sólo a las *casas térreas* y a los *sobrados*.

**Figura 43.** Cantidad de tipos de viviendas ofertadas por padrones.



Fuente: Autor (2018).

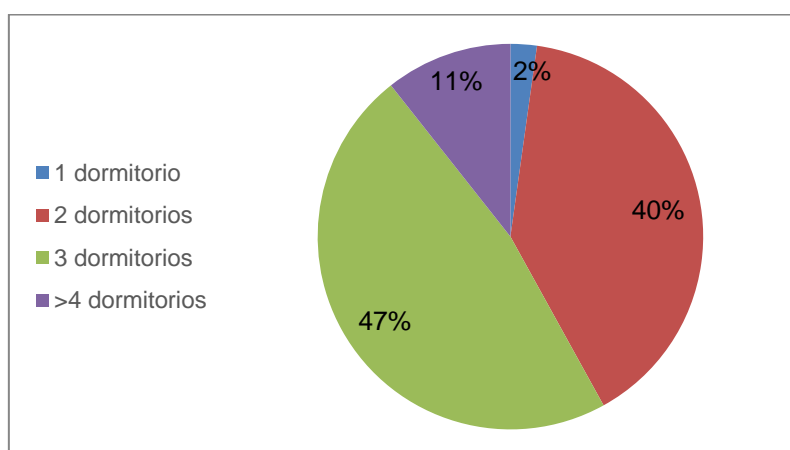
**Figura 44.** Porcentaje de oferta de viviendas según los padrones.



Fuente: Autor (2018).

### 5.2.2.2 Cantidad de dormitorios

El presente análisis, respecto a la cantidad de dormitorios, incluye solo a las casas *terreas* y *sobrados*. En la actualidad, la cantidad de dormitorios ofertadas por el sector inmobiliario corresponden en su mayoría a viviendas con 2 y 3 dormitorios (**Figura 45**), deduciéndose que ahora la población dejó de preferir viviendas con un solo dormitorio, cantidad que en el 2010 representaba a la mayoría de viviendas.

**Figura 45.** Oferta de cantidad de dormitorios

Fuente: Autor (2018).

### 5.2.3 Demanda inmobiliaria

De acuerdo a lo referido por los representantes de las inmobiliarias, podemos indicar que la mayor cantidad de demanda se encuentra en los padrones bajo, medio bajo, medio y medio alto (**Tabla 11**). De este análisis se puede deducir que las inmobiliarias presentan focos de mercado bien establecidos, es por ello que las mayores demandas se encuentran dispersas en los diversos padrones.

Así también, se puede evidenciar que hubo una menor cantidad de demanda inmobiliaria en el padrón alto. Ello puede deberse a la presencia de mayor número de unidades para venta en este padrón, como se vio en la oferta de inmuebles.

**Tabla 11.** Demandas en el sector inmobiliario

| Demandas              | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                       | 1            | 2            | 4            | 3            |
| <b>Mayores</b>        | Bajo         | Medio alto   | Bajo y Medio | Medio bajo   |
| <b>Intermediarias</b> | Medio        | Bajo         | -            | Alto         |
| <b>Menores</b>        | Alto         | Alto         | -            | -            |

Fuente: Autor (2018).

De todo lo anteriormente analizado, respecto al mercado inmobiliario de Foz de Iguazú, podemos concluir nombrando las siguientes características:

- Existe mayor número de ofertas por casas.
- Existe mayor número de ofertas en el padrón alto.
- Existe mayor número de ofertas de casas con 2 y 3 dormitorios
- Existe mayor demanda inmobiliaria en los padrones bajo, medio bajo, medio y medio alto.

### 5.3 Viabilidad Técnico-económica

En la búsqueda de las proveedoras de CLT se identificaron a las siguientes:

- Proveedor 1, localizado en la Ciudad A del Estado de São Paulo.
- Proveedor 2, localizado en la Ciudad B del Estado de Paraná.

Para el análisis de la viabilidad técnico-económica se escogió a la Proveedor 1, debido a que no se obtuvo respuesta por parte de la Proveedor 2. Así, de la Proveedor 1, se encontró las siguientes especificaciones técnicas respecto a los paneles de CLT:

- Materia prima: *Pinus taeda*
- Humedad:  $12\% \pm 2$
- Tratamiento: Autoclave con CCB (Borato de Cobre Cromado) o inmersión en solución de Boro
- Pegamento: A base de poliuretano libre de formaldehidos (a prueba de agua)
- Peso: 550 kg/m<sup>3</sup>
- Conductividad térmica:  $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
- Capacidad térmica:  $c = 2,10 \text{ KJ/kgK}$
- Ancho máximo: 3m
- Largura máxima: 12m
- Espesuras de paneles: 5,7 cm – 25 cm

#### 5.3.1 Viabilidad Técnica

##### 5.3.1.1 Legislación

En Brasil, hasta la actualidad, no existe normativa específica para construcciones en CLT. Sólo se logró encontrar una Norma de proyectos estructurales de madera, el cual divide a las maderas en: acerradas, contrachapadas y laminadas encoladas<sup>5</sup> (MLE). Dicha norma se enfoca en tratar temas sobre resistencias mecánicas o relaciones de resistencias y los ensayos para calcularlos. Además, esta norma es antigua, la cual necesitaría ser actualizada, pues existen nuevos sistemas constructivos con maderas. La norma de la que hablamos es la NBR 7190 (ABNT, 1998), la cual tiene una revisión del año 2010, pero que aún no hubo una aprobación para sustituir la norma del año 1998.

---

<sup>5</sup> La madera laminada encolada es fabricado por medio de capas de paneles de maderas, en el que las tablas están orientadas en una misma dirección.



En el Programa Brasileño de Calidad y Productividad del Hábitat (PBQP) no existe Directriz para la Evaluación Técnica (DaTec<sup>6</sup>) de construcciones en CLT. Sólo existe normativa para el sistema constructivo *Light Wood Frame* de madera acerrada. Frente a esto se hace necesaria la inversión de alguna empresa para que realice la evaluación técnica del sistema, de modo que permita su ingreso al mercado inmobiliario por financiamiento.

La Ley complementaria N° 276 de Foz de Iguazú (PMFI, 2017), que dispone sobre la zonificación de uso y ocupación del suelo, menciona que las construcciones en madera deben tener una distancia mínima de 1,50m entre viviendas. Esta Ley menciona que las construcciones de edificaciones con madera sólo pueden ser realizadas en: zonas residenciales, zonas especiales como las zonas de expansión urbanas, zonas de comercio y servicio portuario, zonas turísticas y zonas empresariales. Así también, están prohibidas las construcciones de edificaciones con maderas en las zonas mixtas, zona central, zonas de comercio y servicios, y zonas de comercio y exportación.

Por otro lado, el código de obras de Foz de Iguazú de la Ley Complementaria N°3 (PMFI, 2015), indica que las paredes externas que son construidas con madera deben de recibir un tratamiento ignífugo previo. Además, las paredes de los corredores y vestíbulos de acceso colectivo de las escaleras deben de resistir por lo menos a 4 horas de fuego.

### 5.3.1.2 Zonificación

La zonificación bioclimática de la NBR 15220 (ABNT, 2005), clasifica al municipio de Foz de Iguazú como Zona 3, la cual debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Aberturas para ventilación:  $15\% \leq A$  (% del área del piso)  $\leq 25\%$
- Sombreado de las aberturas: durante el invierno se permite sol
- Cerramientos externos:
  - Pared: leve reflectora  $U \leq 3,6$  W/m<sup>2</sup>K
  - Cobertura: leve aislada  $U \leq 2,0$  W/m<sup>2</sup>K
- Verano: ventilación cruzada<sup>7</sup>
- Invierno: Incidencia solar y paredes internas con masa térmica pesada (inercia térmica).

---

<sup>6</sup> La DaTec es utilizada para préstamos y financiamientos para construcción o compra de casas por medio de las entidades financieras en Brasil.

<sup>7</sup> La ventilación cruzada es obtenida mediante la circulación del aire por los ambientes de la edificación. Esto significa, si sólo se tienen ventanas en una fachada, la puerta se debería mantener abierta para permitir la ventilación cruzada.

### 5.3.1.3 Transmitancia térmica

Según la NBR 15220 (ABNT, 2005), la transmitancia es el flujo de calor que atraviesa un área unitaria de un componente o elemento cuando existe una variación de temperatura de 1K entre dos ambientes que son separados. Cuanto menor sea el valor de la transmitancia, menor es el flujo de calor que atraviesa, por ende, es más difícil variar la temperatura a valores pequeños de transmitancia.

En la **Tabla 12** se muestran los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica para diferentes espesuras de paredes externas con paneles de CLT. Dichos valores fueron calculados por el método simplificado de acuerdo a la NBR 15575 (ABNT, 2013).

**Tabla 12.** Transmitancias para diferentes espesuras de paredes de CLT

| Espesura (e)<br>[cm] | Resistencia Térmica (R)<br>[m <sup>2</sup> .K/W] | Transmitancia (U)<br>[W/m <sup>2</sup> .K] |
|----------------------|--|--|
| 9                    | 0,692  | 1,444                                      |
| 9,5                  | 0,731  | 1,368                                      |
| 10                   | 0,769  | 1,300                                      |
| 12                   | 0,923  | 1,083                                      |
| 14                   | 1,077  | 0,929                                      |
| 16                   | 1,231  | 0,813                                      |
| 20                   | 1,538  | 0,650                                      |

Fuente: Autor (2018).

La NBR 15575 (ABNT, 2013) indica que para las absorptancias<sup>8</sup> I ( $\alpha \leq 0,6$ ) los valores de las transmitancias deben ser menores a 3,7 W/m<sup>2</sup>.K y para las absorptancias II ( $\alpha > 0,6$ ) los valores de las transmitancias deben ser menores a 2,5 W/m<sup>2</sup>.K. En base a estas indicaciones, todas las transmitancias calculadas en la **Tabla 12** cumplen con la norma de desempeño para absorptancias I y absorptancias II.

En la **Tabla 13** se presentan los valores calculados de transmitancia térmica para la cobertura con diferentes espesuras de paneles de CLT, en este punto no fue considerado los cielos rasos, llamados *forros* en Brasil. Así, para absorptancias I ( $\alpha \leq 0,6$ ) se tiene paneles de 6 a 10 cm con desempeño intermedio y espesuras de 12 a 20 cm con desempeño superior; y para absorptancias II ( $\alpha > 0,6$ ) se tiene paneles de 6 a 10 cm con desempeño mínimo y espesuras de 12 a 20 cm con desempeño intermedio.

---

<sup>8</sup> Según la NBR 15220 (ABNT, 2005), la absorptancia es la razón entre la tasa de radiación solar absorbida y la tasa de radiación incidente sobre una superficie. Este parámetro tiene relación directa con el color de las fachadas.

**Tabla 13.** Transmitancia térmica para la cobertura de CLT

| Espesura (e)<br>[cm] | Transmitancia (U)<br>[W/m <sup>2</sup> .K] | Absortancia I<br>$\alpha \leq 0,6$ | Absortancia II<br>$\alpha > 0,6$ |
|----------------------|--|------------------------------------|----------------------------------|
| 6                    | 1,489                                      | Intermediario                      | Mínimo                           |
| 8                    | 1,212                                      | Intermediario                      | Mínimo                           |
| 9                    | 1,108                                      | Intermediario                      | Mínimo                           |
| 9,5                  | 1,063                                      | Intermediario                      | Mínimo                           |
| 10                   | 1,021                                      | Intermediario                      | Mínimo                           |
| 12                   | 0,883                                      | Superior                           | Intermediario                    |
| 14                   | 0,777                                      | Superior                           | Intermediario                    |
| 16                   | 0,694                                      | Superior                           | Intermediario                    |
| 20                   | 0,572                                      | Superior                           | Intermediario                    |

Fuente: Autor (2018).

### 5.3.1.4 Capacidad térmica

Según la NBR 15220 (ABNT, 2005), la capacidad térmica es la cantidad de calor necesario para variar en 1K la temperatura de un elemento o componente. Cuanto mayor sea este valor, más difícil será variar la temperatura. En la **Tabla 14** se presentan los valores calculados, de acuerdo a la NBR 15575 (ABNT, 2013), de las capacidades térmicas para diferentes espesuras de paredes externas de CLT sin revestimiento.

**Tabla 14.** Capacidades térmicas para diferentes espesuras de paredes de CLT

| Espesura (e)<br>[cm] | Capacidad Térmica (U)<br>[ KJ/m <sup>2</sup> .K] |
|----------------------|--|
| 9                    | 103,95   |
| 9,5                  | 109,73   |
| 10                   | 115,50   |
| 12                   | 138,60   |
| 14                   | 161,70   |
| 16                   | 184,80   |
| 20                   | 231,00   |

Fuente: Autor (2018).

Para cumplir con el desempeño térmico en la construcción de viviendas, se deben utilizar paneles, sin revestimiento, con espesuras mayores a 12 cm. Dichas cantidades se relacionan con las capacidades térmicas mayores a 130 KJ/m<sup>2</sup>.K, capacidades que son recomendadas para la zona 3, zona en la que se ubica Foz de Iguazú. Así también, se puede utilizar paneles con espesuras menores a 12 cm, con revestimientos, siempre en cuando cumplan con las capacidades térmicas estipuladas por la NBR 15575.

## 5.3.2 Viabilidad Económica

### 5.3.2.1 Costo de Construcción y mano de obra

Los datos informados por la Proveedor 1, respecto a costos de construcción y mano de obra para el sistema constructivo en CLT, fueron:

- Costos de construcción por m<sup>2</sup> para cada uno de los padrones (**Tabla 15**):
  - Padrón bajo: R\$ 1.500,00
  - Padrón medio: R\$ 3.000,00
  - Padrón alto: R\$ 5.000,00
- Porcentaje de mano de obra: entre 10% a 15%. Para el análisis se utilizó el valor medio de 12,5%.

Así también, la Proveedor 1, informó que 5 carpinteros realizan el montaje de 10 paneles en un día, independientemente del tamaño, siendo aproximadamente de 35 m<sup>2</sup> a 50 m<sup>2</sup>. De modo que, cuanto menor sea la cantidad de paneles usados en una construcción, mayor será la eficiencia. Los valores intermedios se calcularon por medio de una media aritmética entre los padrones extremos.

**Tabla 15.** Costos por m<sup>2</sup> de construcción y mano de obra de CLT

|   | RESIDENCIAL |            |         |            |         |
|---|-------------|------------|---------|------------|---------|
|   | BAJO        | MEDIO BAJO | MEDIO   | MEDIO ALTO | ALTO    |
| <b>Construcción Total (R\$/m<sup>2</sup>)</b> | 1500,00     | 2250,00    | 3000,00 | 4000,00    | 5000,00 |
| <b>Mano de Obra (R\$/m<sup>2</sup>)</b>       | 187,50      | 281,25     | 375,00  | 500,00     | 625,00  |

Fuente: Autor (2018).

### 5.3.2.2 Costos de transporte

Los costos de transporte de paneles en CLT fueron calculados para 3 rutas diferentes. En la **Tabla 16** se presenta el cálculo de los costos. Debemos resaltar que el levantamiento de datos sobre costos de flete y peaje se realizó en el mes de junio del 2018.

**Tabla 16.** Comparación de Precios para Foz de Iguazú para BDI 10% del CLT

| Rutas  | Distancia (km <sup>2</sup> ) | Costo Flete | Costo Peaje | Costo Transporte |
|--------|------------------------------|-------------|-------------|------------------|
| Ruta A | 1104                         | R\$4.941,68 | R\$686,00   | R\$5.627,68      |
| Ruta B | 1125                         | R\$5.035,68 | R\$485,00   | R\$5.520,68      |
| Ruta C | 1250                         | R\$5.595,20 | R\$240,00   | R\$5.835,20      |

Fuente: Autor (2018).

De las rutas analizadas se escogió la Ruta B como ruta ideal para el transporte de paneles en CLT. Dicha elección se debe a que por la Ruta B el costo de transporte es menor comparado al costo de las Rutas A y C.

### 5.3.2.3 Composición BDI

De acuerdo a la Secretaria de Infraestructura y Logística de Paraná, se considera las siguientes composiciones de BDI:

- Administración Central, AC = 4,00%
- Seguro y Garantías, SG = 0,80%
- Riesgos, R = 1,27%
- Dispensas Financieras, DF = 1,27%
- Impuestos
  - PIS = 0,65%
  - COFINGS = 3,00%

Las composiciones que fueron alteradas para el cálculo del BDI fueron los lucros (5%, 7,4% y 15%) y el ISSQ.

### 5.3.2.4 ISSQ

Según la composición del BDI, el valor del impuesto de servicios de cualquier naturaleza (ISSQ) se introduce como el porcentaje al precio de venta. En el caso del Municipio de Foz de Iguazú, el ISSQ sobre las obras de construcción civil, según la Ley Complementar N° 263 (PMFI, 2016), corresponde al 4% del valor de la mano de obra.

Para nuestro calculo, se consideró la incidencia del ISSQ sobre el precio de venta y se definió como 12,5% el porcentaje correspondiente a la mano de obra del costo de construcción de CLT. Por lo tanto, es prudente considerar la incidencia de la mano de obra como 10% al precio de construcción de CLT.

### 5.3.2.5 Precio de Venta

Los precios de venta, por padrones de construcción, para la implementación del sistema constructivo CLT en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú, con lucros de 5%, 7,4% y 15%, se presentan en la **Tabla 17**.

**Tabla 17.** Precios de Venta de CLT

| Lucro       | Padrones de Construcción x m <sup>2</sup> |              |              |
|-------------|---|--------------|--------------|
|             | Bajo                                      | Medio        | Alto         |
| <b>5%</b>   | R\$ 1.914,35                              | R\$ 3.771,74 | R\$ 6.248,26 |
| <b>7,4%</b> | R\$ 1.958,11                              | R\$ 3.857,95 | R\$ 6.391,07 |
| <b>15%</b>  | R\$ 2.096,67                              | R\$ 4.130,95 | R\$ 6.843,33 |

**Fuente:** Autor (2018).

### 5.4 Elección del nicho de mercado

La elección del nicho de mercado para ofrecer el sistema constructivo CLT en Foz de Iguazú, se realizó en base a lo anteriormente analizado hasta aquí. Así, se escogió un nicho de mercado para aquellos padrones en el que la variación del precio de CLT en relación al precio inmobiliario sea menor a R\$500,00, ya que esa cantidad correspondía al margen de error de los precios medios de las inmobiliarias. El nicho de mercado que cumple con este requerimiento, son las construcciones de padrón bajo con lucros de 5% y 7,4% (**Tabla 18**).

**Tabla 18.** Precio de CLT vs precio albañilería (precio inmobiliario)

|   | LUCRO | RESIDENCIAL |            |          |            |          |
|---|-------|-------------|------------|----------|------------|----------|
|   |       | BAJO        | MEDIO BAJO | MEDIO    | MEDIO ALTO | ALTO     |
| <b>Precio albañilería (R\$/m<sup>2</sup>)</b> |       | 1.500,00    | 1.750,00   | 2.000,00 | 2.500,00   | 3.000,00 |
| <b>Precio CLT (R\$/m<sup>2</sup>)</b>         | 5%    | 1.914,35    | 2.843,05   | 3.771,74 | 5.010,00   | 6.248,26 |
|   | 7,4%  | 1.958,11    | 2.908,03   | 3.857,95 | 5.124,51   | 6.391,07 |
|   | 15%   | 2.096,67    | 3.113,81   | 4.130,95 | 5.487,14   | 6.843,33 |
| <b>Diferencia R\$</b>                         | 5%    | 414,35      | 1.093,05   | 1.771,74 | 2.510,00   | 3.248,26 |
|   | 7,4%  | 458,11      | 1.158,03   | 1.857,95 | 2.624,51   | 3.391,07 |
|   | 15%   | 596,67      | 1.363,81   | 2.130,95 | 2.987,14   | 3.843,33 |

**Fuente:** Autor (2018).

En la **Tabla 19** se presenta la comparación entre paredes usadas en albañilería y paredes de CLT, sin revestimientos. Se puede observar que las transmitancias en el CLT son mejores que el de albañilería. Además, el CLT les hace frente en capacidad térmica a las paredes con ladrillos huecos, sin embargo, pierde frente a las paredes de ladrillos macizos. Esto se debe a los orificios de los ladrillos que hacen más fácil la conducción de la temperatura.

**Tabla 19.** Transmitancias paredes albañilería y CLT

|  | Transmitancia (U)<br>[W/m <sup>2</sup> .K] | Capacidad Térmica (U)<br>[ KJ/m <sup>2</sup> .K] |
|--|--|--|
| <b>Pared de 13 cm<br/>Ladrillo macizo (5x9x19)<br/>revestido 2cm (ambas caras)</b>     | 3,34                                       | 220,00   |
| <b>Pared de 14 cm<br/>Ladrillo 6 huecos (32x10x16)<br/>revestido 2cm (ambas caras)</b> | 2,38                                       | 159,00   |
| <b>Pared de 12 cm<br/>CLT sin revestimiento</b>  | 0,92                                       | 138,60   |
| <b>Pared de 14 cm<br/>CLT sin revestimiento</b>  | 0,80                                       | 161,70   |

Fuente: Autor (2018).

En la **Tabla 20** se presenta el comparativo entre albañilería y CLT para el nicho escogido (padrón bajo de construcción). La mano de obra del CLT posee menor porcentaje que la albañilería en la composición del BDI, por tanto, el ISQQ es menor.

**Tabla 20.** Mano de obra y ISSQ

|                    | Mano de Obra | ISQQ  | BDI | Costo x m <sup>2</sup> | Precio de<br>Venta x m <sup>2</sup> |
|--------------------|--------------|-------|-----|------------------------|-------------------------------------|
| <b>Albañilería</b> | 20%          | 0,80% | 25% | R\$1.200,00            | R\$1.500,00                         |
| <b>CLT</b>         | 10%          | 0,40% | 24% | R\$1.546,00            | R\$1.914,00                         |

Fuente: Autor (2018).

Del análisis realizado se puede afirmar que las construcciones en CLT son viables para los padrones bajos de construcción, los cuales deben de tener las siguientes características:

- Distancia mínima entre viviendas vecinas de 1,5 m;
- Contar con aberturas de ventilación entre 15% y 25% del valor del área del piso;
- Para paredes externas, sin revestimientos, usar paneles mayores a 12 cm de espesura;
- Para coberturas, se puede utilizar todas las espesuras de paneles;
- Cuanto menor sea la cantidad de paneles en el proyecto, mayor es la eficiencia del montaje.

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo se orientó a realizar un análisis exploratorio de la viabilidad técnico-económica del sistema constructivo CLT en el mercado inmobiliario de Foz de Iguazú, cabe resaltar que para ello se trabajó en base a muestras que no representan una totalidad. A continuación, se exponen las principales conclusiones:

- Foz de Iguazú es un municipio que, según las rentas domiciliarias del IBGE (2010), concentra viviendas que en su mayoría se ubican dentro de las clases sociales baja, media baja y media, que corresponden a un 31%, 28% y 30% respectivamente. Por lo que podemos deducir que la mayor cantidad de demanda de construcción se encuentra en los padrones de construcción bajo y medio.
- El mercado inmobiliario de Foz de Iguazú presenta mayor número de ofertas para construcciones en el padrón alto y menor número de ofertas para construcciones en el padrón bajo. Contrastando con lo presentado en el anterior punto, respecto a las demandas de construcción, deberían ser ofrecidas mayor cantidad de viviendas para el padrón bajo. Sin embargo, se encontró una menor cantidad de ofertas para dicho padrón, ello puede deberse a la existencia de informalidad de construcción en el padrón bajo.
- Los precios de venta medios, informados por las inmobiliarias para los diversos padrones de construcción, fueron valores representativos. Sin embargo, en el análisis de las demandas no se encontró convergencia con los precios informados, razón por la cual es difícil conocer las demandas reales por padrones de construcción. Así, se torna evidente que para conocer dichas demandas se necesitaría un profundo levantamiento de datos que representen una muestra mayor para un análisis efectivo.
- El análisis de viabilidad técnica muestra que las paredes de CLT (mayores a 12 cm) y paneles para coberturas (a partir de 6 cm) cumplen con la NBR 15575 para su implementación como sistema constructivo en Foz de Iguazú. Así, para los proyectos de construcción de casas residenciales en CLT se tienen que tener en cuenta parámetros como: la ventilación cruzada, para permitir la entrada y salida del aire caliente en los veranos; la incidencia de la luz solar, que permita el ingreso de luz solar durante el invierno y que en el verano sea contrarrestado con paredes externas reflectoras; y las masas térmicas pesadas, para que el calor de día sea absorbido y liberado en las noches, lapso en el que la temperatura suele descender.



- El análisis de viabilidad económica muestra que los valores de precio de venta de construcciones con CLT, en los padrones bajos, son 30% mayores que los precios de venta de las inmobiliarias, mientras que para los otros padrones son 60% mayores. Esto se debe a que, en el padrón bajo, las áreas de construcción son menores y demandan menos cantidad de cómodos. Por ello, se puede afirmar que es viable la construcción con CLT en los padrones bajos, ya que por las características mencionadas se puede economizar la cantidad de paneles a ser montados, disminuir el tiempo de construcción y economizar en la mano de obra. Sin embargo, una limitante para la implementación de CLT en el mercado inmobiliario puede ser el alto costo de los paneles, ello debido a la existencia de pocas proveedoras de CLT. Razón por la cual, el presente trabajo pretende llamar la atención de más proveedoras para que oferten este producto.
- Del análisis de viabilidad técnico-económica se concluye que las construcciones con CLT en Foz de Iguazú podrían ingresar como una opción más al mercado inmobiliario de construcciones residenciales para casas de padrón bajo.
- Finalmente, con el análisis realizado en este trabajo, se busca que las empresas constructoras e inmobiliarias ofrezcan el sistema constructivo con CLT, para residencias, como una opción más en Foz de Iguazú.

## 7. FUTUROS ESTUDIOS

Para futuros estudios se recomienda:

- Realizar un análisis teniendo en cuenta los costos y los tiempos de construcción, esa relación puede ser atractiva para los otros padrones de construcción.
- Realizar estudios de viabilidad técnico-económica con empresas madereras para ver la posibilidad de producir el CLT en Foz de Iguazú o ciudades alrededor de ésta.
- Profundizar los costos de producción del CLT, construcción combinados con otros acabados.
- Realizar un análisis social sobre la aceptación del CLT en los diferentes padrones de construcción.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSEN R. 14 Story TREET Project under construction in Norway. In: National Symposium: Toward Taller Wood Buildings, 2014, Chicago. **Anais...** Chicago: WoodWorks, 2014. Disponible en: <<https://www.dezeen.com/2017/11/01/worlds-largest-cross-laminated-timber-tower-dalston-works-waugh-thistleton-regal-developments-sustainable-london>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

ACTON OSTRY ARCHITECTS INC. **Brock Commons Tallwood House**. Disponible en: <<http://www.actonstry.ca/project/brock-commons-tallwood-house/>>. Acceso en: 24 may. 2018.

ADAMS, D.; HU L. Sound insulation of cross-laminated timber assemblies. In: KARACABEYLI, E.; DOUGLAS, B. **CLT Handbook**. Quebec: FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013.

AGOPYAN, V.; ANDRADE, A.; SOUZA, U.; PALIARI, J. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. 1998. Relatório de projeto de pesquisa, FINEP, São Paulo.

AITIM. **Guía para la construcción de la madera**. Madrid: AITIM, 1994.

ALVES, W. Estrutura Convencional x Alvenaria Estrutural. Estudo de Caso - Habitação em Três Pavimentos. **Revista Especialize On-line**, Goiânia, v. 1, n. 11, jul. 2016. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n11-2016/estrutura-convencional-x-alvenaria-estrutural-estudo-de-caso-habitacao-em-tres-pavimentos/>>. Acesso em: 02 Out. 2017.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI/APA). Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber. **PGR 320-2018**: Tacoma, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Classification of Impact Insulation Class (IIC). **ASTM E989 - 06**: Pensilvania, 2012.

ARCHDALLY. Casa Maria & José/Sergio Sampaio Arquitetura. **ArchDaily Brasil**, 03, may. 2017. Disponible en: <<https://www.archdaily.com.br/br/870364/casa-maria-and-jose-sergio-sampaio-arquitetura>>. Acceso en: 24 may. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: Revisão do Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2011.

BARATTO R. Triptyque divulga projeto de edifício escalonado de madeira certificada na Vila Madalena. **ArchDaily Brasil**, 20, set. 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/879936/triptyque-divulga-projeto-de-edificio-escalonado-de-madeira-certificada-na-vila-madalena>>. Acesso em: 24 may. 2018.

BARBARESI, L.; BELLA, A.; GRANZOTTO, N. Analysis of acoustic behavior of bare CLT floors for the evaluation of impact sound insulation improvement. In: 22nd International Congress on Acoustics Acoustics for the 21<sup>st</sup> Century, 2016, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Acoustical Society of America, 2016. Disponível em: <<https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/2.0000420> >. Acesso em: 12 feb. 2018.

BARBOSA L. Triptyque Architecture apresentará edifício de madeira na Bienal de Veneza. **Galeria da Arquitetura**, 23, may. 2018. Disponível em: <<https://www.galeriadaarquitetura.com.br/Blog/post/triptyque-architecture-apresentara-edificio-de-madeira-na-bienal-de-veneza>>. Acesso em: 24 may. 2018.

BILEK, E.; CREPELL, P.; GAGNON, S.; PODESTO, P. Introduction to cross-laminated timber. In: KARACABEYLI, E.; DOUGLAS, B. **CLT Handbook**. Quebec: FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013.

BINDERHOLZ. Dalston Lane, London; edifício de apartamentos de 10 pisos hecho de madera laminada cruzada (CLT). Disponível em: <<https://www.binderholz.com>>

com/en/construction-solutions/residential-buildings/dalston-lane-london-great-britain/>.

Acceso en: 12 Feb. 2018.

BLOCK I. Forte Living; edificio de apartamentos de 10 pisos hecho de madera laminada cruzada (CLT). **Dezzen**, 1, nov. 2017. Disponible en: <<http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/TTWB-2014-Abrahamson-14-story-TREET.pdf>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

BOSREDON M. Bordeaux: Hyperion et Silva, deux tours qui envoient du bois. **20 Minutes**, 04, jul. 2017. Disponible en: <<https://www.20minutes.fr/bordeaux/2098887-20170704-bordeaux-hyperion-silva-deux-tours-envoient-bois>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

BRENEMAN S. Cross-Laminated Timber Structural Floor and Roof Design. **STRUCTURE Magazine**, Estados Unidos, p. 12-15, Jun. 2016. Disponible en: <<http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2016/05/C-StrucDesign-Breneman-Jun161.pdf>>. Acceso en: 24 may. 2018.

C.F. MOLLER. **HSB 2023 - Västerbroplan**, 2018. Disponible en: <[www.cfmoller.com/p/HSB-2023-Vasterbroplan-i3048.html](http://www.cfmoller.com/p/HSB-2023-Vasterbroplan-i3048.html)>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações Habitacionais**: Guia Orientado para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Brasília: CBIC, 2013. Disponible en: <[www.cbic.org.br/arquivos/guia\\_livro/Guia\\_CBIC\\_Norma\\_Desempenho\\_2\\_edicao.pdf](http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf)>. Acceso en: 20 Feb. 2018.

COSTA, A. **Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, 2013.

CROSSIN, E.; DURLINGER, B; WONG, J. **Life cycle assessment of a cross laminated timber building**. Melbourne: Forest and Wood Products, 2013. Disponible en: <<http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:38146/n2006040144.pdf>>. Acceso en: 12 feb. 2018.

CROSSLAM. **Casa Tiradentes**, 2016. Disponible en: <<http://www.crosslam.com.br/home/?q=content/casa-tiradentes>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

DELGADO, J.; SACTH, H.; VETORAZZI, E. Estratégias bioclimáticas para projetos urbanos em Foz do Iguaçu: estudo de caso do marco das Três Fronteiras In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrada e Sustentável, 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: Pluris, 2016.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **DIN 18203**: Tolerances in building constructions. Berlín, 2008. Disponible en: <<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/forte-living-edificio-apartamentos-10-pisos-hecho-madera-laminada-cruzada-clt.html>>. Acceso en: 12 feb. 2018.

DIRECTORIO FORESTAL MADERERO (DFM). Forte Living; edificio de apartamentos de 10 pisos hecho de madera laminada cruzada (CLT). **Forestal Maderero**, 18, dic. 2017a. Disponible en: <<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/forte-living-edificio-apartamentos-10-pisos-hecho-madera-laminada-cruzada-clt.html>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

\_\_\_\_\_. Treet. **Forestal Maderero**, 26, ene. 2017b. Disponible en: <<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/treet.html>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

DOUGLAS, B.; MOHAMMAD, M.; PRYOR S.; RAMMER, D. Connections in cross-laminated timber. In: KARACABEYLI, E.; DOUGLAS, B. **CLT Handbook**. Quebec: FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). **ETA-06/0138**: Solid wood slab elements to be used as structural elements in buildings. Viena, 2017.

FAUSTINO R. Edifícios de madeira laminada cruzada (CLT): sustentáveis e cada vez mais populares. **GOING GREEN BRASIL**, 26, feb. 2018. Disponible en: <<http://goinggreen.com.br/2018/02/26/edificios-de-madeira-laminada-cruzada-clt-sustentaveis-e-cada-vez-mais-populares/>>. Acceso en: 20 may. 2018.

FPIINNOVATIONS. Introduction to cross-laminated timber. In: GAGNON, S.; PIRVU, C. **CLT Handbook**. Quebec: FPIInnovations, 2011.

GALLEGO, V; GONZÁLEZ, B., LLINARES, M., VEGA, L., VILLAGRÁ, C. Comportamiento frente al fuego. In: \_\_\_\_\_ **Guía de Construir con Madera**. Madrid: CcM, 2010.

GONZÁLEZ, P., SAAVEDRA, E., PEREZ, E., BURGOS, C., PIÑA, F., WAGNER, M. **Sistema Constructivo en Madera Contralaminada para Edificios**. Santiago de Chile: CLT Chile, 2014.

HADEN B. Brock Commons Tallwood House, University of British Columbia, Vancouver, B.C. **Canadian Architect**, feb. 2017. Disponible en: <<http://vancouver.housing.ubc.ca/wp-content/uploads/2017/02/Brock-Commons.pdf>>. Acceso en: 12 Feb. 2018.

HAUT. **Brochure HAUT**. Ámsterdam: HAUT, 2018. Disponible en: <[https://hautamsterdam.nl/wp-content/uploads/Brochure\\_HAUT\\_EN\\_18\\_may\\_2018.pdf](https://hautamsterdam.nl/wp-content/uploads/Brochure_HAUT_EN_18_may_2018.pdf)>. Acceso en: 24 may. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico: Famílias e Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 out. 2017.

\_\_\_\_\_ (IBGE). **Estimativas da população residente no brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2017**. 2017. Disponible en: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2017/estimativa\\_dou\\_2017.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_dou_2017.pdf)>. Acceso en: 02 may. 2018.

JULIEN, F. Manufacturing. Cross-Laminated Timber (CLT): Technological and Economic Analysis. **Report to Quebec Wood Export Bureau**. Québec, 2010.

KLH MASSIVHOLZ GMBH. **Cross-Laminated Timber**. Teufenbach-Katsch: KLH, 2016. Disponível em: <<http://www.klh.at>> Acesso em: 02 out. 2017.

KRETSCMANN, D.; WANG, B.; YEH, B. Cross-laminated timber manufacturing. In: KARACABEYLI, E.; DOUGLAS, B. **CLT Handbook**. Quebec: FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013.

LEND LEASE. Forté – Building australias First timber Highrise. In: Wood Solutions Presentation Atlanta Conference, 2013, Atlanta. **Anais...** Atlanta: WoodWorks, 2013. Disponible en: <<http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/2013-WSF-ATL-Collins.pdf>>. Acceso en: 12 feb. 2018.

LEND LEASE. **Forté – Creating the world’s tallest CLT apartment building**, 2013. Disponível em: <[http://www.timberqueensland.com.au/Docs/News%20and%20Events/Events/Andrew-Nieland\\_web.pdf](http://www.timberqueensland.com.au/Docs/News%20and%20Events/Events/Andrew-Nieland_web.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2018.

MADERA 21. Culmina la construcción de la torre residencial de madera más alta del mundo. **MADERA 21 DE CORMA**, 19, sep. 2016. Disponível em: <<http://www.madera21.cl/?p=1214>>. Acesso em: 12 Feb. 2018.

MARSCH J. Tokyo to build world's tallest timber tower. **CNN STYLE**, 20, fev. 2018. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/style/article/wooden-skyscrapers-timber-trend-catching-fire-duplicate-2/index.html>>. Acesso em: 24 may. 2018.

MEDINA R. **Manual de Construcción**. Lima: ACEROS AREQUIPA, 2017. Disponível em: <[http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/PDF/manual\\_MAE\\_STRO\\_OBRA.pdf](http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/PDF/manual_MAE_STRO_OBRA.pdf)>. Acesso em: 24 May. 2018.

MELO M. **Execução de Alvenaria Estrutural**. Brasil: MELO SOLUÇÕES, 2014.

MEYER R. **Mãos a Obra**. São Paulo: ABCP, 2010. Disponível em: <[http://cimento.org/wp-content/uploads/2010/06/M\\_OBRA.pdf](http://cimento.org/wp-content/uploads/2010/06/M_OBRA.pdf)>. Acesso em: 20 Feb. 2018.

MORAES, M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

NATURALLY WOOD. Brock Commons Tallwood House. **NATURALLY WOOD**, nov. 2017. Disponível em: <[https://www.naturallywood.com/sites/default/files/documents/resources/brockcommons\\_constructionoverview\\_web.pdf](https://www.naturallywood.com/sites/default/files/documents/resources/brockcommons_constructionoverview_web.pdf)>. Acesso em: 12 Feb. 2018.

PINI. **TCPO**: tabela de composição de preços para orçamentos. São Paulo: PINI, 2010.

PREFEITURA DE FOZ DE IGUAÇU (PMFI). **Lei Complementar Nº 03**. 2015. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-foz-do-iguacu-pr>>. Acesso em: 02 may. 2018.



PREFEITURA DE FOZ DE IGUAÇU (PMFI). **Lei Complementar Nº 276**. 2017. Disponible en: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/f/foz-do-iguacu/lei-complementar/2017/27/276/lei-complementar-n-276-2017-dispoe-sobre-o-zoneamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-foz-do-iguacu>>. Acceso en: 02 may. 2018.

PREFEITURA SUZANO. Tecnologia inovadora garante rapidez na ampliação do número de salas de aula. **PREFEITURA SUZANO**, 18, abr. 2018. Disponible en: <<http://www.suzano.sp.gov.br/web/tecnologia-inovadora-garante-rapidez-na-ampliacao-do-numero-de-salas-de-aula/>>. Acceso en: 24 may. 2018.

SALGADO, J. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. São Paulo: Érica, 2014.

SANTOS, J. Treet - a wooden high-rise building with excellent energy performance. **BUILD UP**, 04, ene. 2017. Disponible en: <<http://www.buildup.eu/en/practices/cases/treet-wooden-high-rise-building-excellent-energy-performance>>. Acceso en: 24 may. 2018.

SILVA, M. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, T. Explorar a Potencialidade de um Edifício Construído com Madeira Lamelada **Colada Cruzada (MLCC)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura: Construção e Tecnologia) – Escola de Arquitetura, Universidade do Minho, Braga, 2014.

SOARES, H. **Avaliação dos índices de desperdícios de materiais: estudo de caso em uma obra de edificação na cidade de feira de Santana-BA**. 2010. Monografía (Bacharel em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira Santana, 2010.

TIMBER. **Treet: the tallest timber-framed building in the world**. Disponible en: <<http://www.timberdesignandtechnology.com/treet-the-tallest-timber-framed-building-in-the-world/>>. Acceso en: 24 may. 2018.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Acórdão Nº 2622/2013**. Brasília, 2013.

TRIPTYQUE. **FLORESTA URBANA**. Disponible en: <<https://triptyque.com/work/>>. Acceso en: 24 may. 2018.

VIOTTO, U. **El tablero contralaminado: Actualidad de una alternativa para media altura.** Disertación (Maestría en Tecnología en la arquitectura: Construcción y nuevas tecnologías) – Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2013.

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS (WTA). **Dalston Works: The world's largest CLT building.** 2017. Disponible en: <<http://waughthistleton.com/dalston-works/>>. Acceso en: 02 out. 2017.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Guidelines for Emissions Monitoring and Reporting in the Cement Industry.** Washington: WBCSD, 2012. Disponible en: <<https://www.wbcscement.org>>. Acceso en: 02 out. 2017.

## **APÉNDICES**

## APÉNDICE 1 – ENTREVISTA PARA LAS INMOBILIARIAS

1. Qual preço de venda das casas em Foz do Iguaçu? A que padrões correspondem?

| Padrón            | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 1            | 2            | 3            | 4            |
|                   | 1000 R\$     |              |              |              |
| <b>bajo</b>       | 150 - 200    | 150 - 200    | 150 - 200    | 150 - 200    |
| <b>medio bajo</b> | 200 - 300    | 200 - 300    | 200 - 300    | 200 - 250    |
| <b>medio</b>      | 300 - 400    | 300 - 400    | 350 - 400    | 350 - 400    |
| <b>medio alto</b> | 400 - 500    | 400 - 600    | 400 - 500    | 400 - 550    |
| <b>alto</b>       | >500         | >600         | >500         | >550         |

2. Qual preço de custo de construção por m<sup>2</sup>, sem incluir o terreno? A que padrões correspondem?

| Padrón       | INMOBILIARIA       | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
|              | 1                  | 2            | 3            | 4            |
|              | R\$/m <sup>2</sup> |              |              |              |
| <b>bajo</b>  | 1.100              | 1.200        | 1.100        | 1.200        |
| <b>medio</b> | 1.600              | 1.700        | 1.600        | 1.800        |
| <b>alto</b>  | 2.300              | 2.200        | 2.300        | 2.300        |

3. Qual preço de venda de casas por m<sup>2</sup>, sem incluir o preço do terreno? A que padrões correspondem?

| Padrón       | INMOBILIARIA 1 | INMOBILIARIA 2     | INMOBILIARIA 3 | INMOBILIARIA 4 |
|--------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|              |                | R\$/m <sup>2</sup> |                |                |
| <b>bajo</b>  | 1.500          | 1.400 a 1.600      | 1.500          | 1.500          |
| <b>medio</b> | 2.000          | 2.000              | 2.000          | 2.000          |
| <b>alto</b>  | 3.000          | 3.000              | 3.000          | 3.000          |

4. Maiores demandas?

| Demandas | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA | INMOBILIARIA |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          | 1            | 2            | 3            | 4            |
| <b>1</b> | 150 - 200    | 400 - 500    | 200-300      | 150 - 350    |
| <b>2</b> | 300-400      | 150 -200     | >500         | -            |
| <b>3</b> | >500         | >600         | -            | -            |

## APÉNDICE 2 – ENTREVISTA PARA LA PROVEEDORA

1. No seu histórico, qual o custo de construção por m<sup>2</sup> do CLT para cada padrão de construção?

O custo de construção varia entre R\$1.500,00 e R\$5.000,00 sendo:

- Padrão baixo em média é R\$1.500,00;
- Padrão médio em média é R\$3.000,00;
- Padrão alto em média é R\$5.000,00;

2. Qual é a porcentagem de mão de obra no CLT?

Entre 10 y 15%.

3. Qual é a porcentagem de equipamentos no CLT?

Não temos essa porcentagem.

4. Qual é a porcentagem de fundações no CLT no custo de construção?

Depende de cada projeto, mas pelo peso de CLT ser mais leve que alvenaria, se economiza.

5. Qual é o tempo de construção aproximadamente?

No caso da montagem é aproximadamente entre 25 a 50m<sup>2</sup> em um dia, que é a união de 10 painéis de CLT. Pode-se alcançar até 200 m<sup>2</sup> se a equipe for muito treinada.

6. Quantidade de mão de obra necessária para montagem dos painéis?

Para montagem de 10 painéis em um dia é necessários 5 carpinteiros.

7. Que cidades que vocês construíram com CLT?

São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina

8. Até quantos pavimentos já construíram com CLT?

Até 2 andares.

## ANEXOS

## ANEXO 1 – PLANILLA PARA CÁLCULO DEL BDI



SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA  
PARANÁ EDIFICAÇÕES  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PROJETOS  
GERÊNCIA DE CUSTOS E ORÇAMENTOS



COMPOSIÇÃO DE BDI PARA EDIFICAÇÕES

Vigência: 01/12/201

| CUSTO TOTAL DO SERVIÇO (R\$): |  |             |          |            |                                  | R\$ -                                       |        |           |        |
|-------------------------------|--|-------------|----------|------------|----------------------------------|---|--------|-----------|--------|
| ITEM                          | DISCRIMINAÇÃO                          | VALOR (R\$) | TAXA (%) | OBSERVAÇÃO | SITUAÇÃO DO INTERVALO ADMISSÍVEL | PARCELAS DO BDI (%)                         |        |           |        |
|                               |  |             |          |            |                                  | 1 Quartil                                   | Médio  | 3 Quartil |        |
| 1                             | AC - ADMINISTRAÇÃO CENTRAL             | R\$ -       | 4,00%    |            | OK                               | 3,00%                                       | 4,00%  | 5,50%     |        |
| 2                             | SG - SEGUROS + GARANTIA                | R\$ -       | 0,80%    |            | OK                               | 0,80%                                       | 0,80%  | 1,00%     |        |
| 3                             | R - RISCOS                             | R\$ -       | 1,27%    |            | OK                               | 0,97%                                       | 1,27%  | 1,27%     |        |
| 4                             | DF - DESPESAS FINANCEIRAS              | R\$ -       | 1,23%    |            | OK                               | 0,59%                                       | 1,23%  | 1,39%     |        |
| 5                             | L - LUCRO BRUTO                        | R\$ -       | 7,40%    |            | OK                               | 6,16%                                       | 7,40%  | 8,96%     |        |
| 6                             | I - IMPOSTOS                           | R\$ -       | 10,15%   |            |                                  |   |        |           |        |
| 6.1                           | PIS                                    |             | 0,85%    |            |                                  |   |        |           |        |
| 6.2                           | COFINS                                 |             | 3,00%    |            |                                  |   |        |           |        |
| 6.3                           | ISS (CONFORME LEGISLAÇÃO MUNICIPAL)    |             | 2,00%    |            |                                  |   |        |           |        |
| 6.4                           | CONTRIB. PREV. SOBRE REC. BRUTA - CPRB |             | 4,50%    |            |                                  |   |        |           |        |
| TOTAL DO BDI (R\$)            |  | R\$ -       |          |            |                                  | Parâmetros do Acórdão 2.622/2013 - Plenário |        |           |        |
| PREÇO DE VENDA (R\$)          |  | R\$ -       |          |            |                                  |   |        |           |        |
| BDI (%)                       |  |             | 28,35%   | OK         |                                  | Sem CPRB                                    | 20,34% | 22,12%    | 25,00% |
|                               |  |             |          |            |                                  | Com CPRB                                    | 26,01% | 27,87%    | 30,89% |