



Universidad del Bío-Bío  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Guía: Ms. Juan Marcus Schwenk

ESTUDIO DEL ESTRÉS EN NIÑOS PREESCOLARES EN EDIFICACIÓN  
DE CROSS LAMINATED TIMBER – PASSIVHAUS VERSUS ALBAÑILERÍA

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos

para obtener el título de Ingeniero Civil

MARÍA FRANCISCA GAJARDO GAJARDO.

Concepción, diciembre 2015

## **DEDICATORIA**

A mi madre, quien me enseñó  
que con honestidad y esfuerzo  
se cumplen los objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Primero agradezco a Dios por poner en este camino a las personas indicadas. A mi profesor guía Don Juan Marcus por confiar en mí para el desarrollo de este proyecto.

A cada uno de los niños y sus papás por su cooperación, tiempo y confianza. Especialmente a Cristóbal, Emilia y Fabián. A la familia Escobar por abrir las puertas de su casa y apoyar este proyecto. A mi prima Paulina sin su respaldo no hubiese aceptado este desafío.

Mis agradecimientos al personal no docente. Jéssica, Angeline y Don Miguel Orellana. Sin su colaboración las cosas no resultarían de la misma manera.

También les doy las gracias a los amigos que han estado en los momentos alegres, en los difíciles y en las distintas etapas de mi vida, y que pese a los obstáculos han mantenido siempre su apoyo hacia mí.

Agradezco a toda mi familia por sus oraciones, su apoyo tanto en lo emocional como lo económico. Su incondicionalidad en esta etapa y en todo lo que me he propuesto. A mama Ema también por incluirme constantemente en sus oraciones y entregarme tanto cariño.

De forma especial le doy las gracias a la familia León-Vidal, por recibirme y hacer de su casa mi segundo hogar. De forma especial a Don Manuel por sus siempre sabios consejos y a la Señora Nilda por su cooperación en el desarrollo de esta tesis.

Me hubiese encantado que mis abuelos Pedro (tata Peyo) y María Santos (Pita), así también como el tata Gollo, estuvieran aquí hoy, pero sé que desde el cielo están disfrutando esta alegría y que cada día seguirán guiando mis pasos.

A Oscar, mil gracias. Son años apoyándonos mutuamente y en esta última etapa has sabido estar a la altura de mis malos ratos. Has sido mi pilar, mi compañía y también me has dado amor incondicional. Finalmente le doy infinitas gracias a mi mamá Juany Gajardo, por ser mi hinch número uno, por apoyarme, por descubrir en mí muchas fortalezas y capacidades. Por enorgullecerse día a día de lo que voy logrando. Mami, Oscar esto también es tuyo.

## INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 SISTEMA CONSTRUCTIVO MADERA SÓLIDA CONTRALAMINADA (CLT) Y ESTÁNDAR PASSIVHAUS. ....	4
2.1 Sistema Constructivo Madera Solida Contralaminada CLT.....	5
2.2 Características Generales de los Paneles de Madera Sólida Contralaminada.....	6
2.3 Características Particulares de Paneles CLT.....	7
2.3.1 Propiedades Mecánicas.....	7
2.3.2 Propiedades Térmicas y Protección contra la Humedad .....	8
2.3.3 Propiedades Acústicas.....	10
2.3.4 Resistencia al fuego.....	10
2.3.5 Propiedad Sismorresistente.....	11
2.4 Estándar Passivhaus.....	11
2.4.1 Principios básicos para lograr el estándar Passivhaus .....	12
2.4.2 Modificaciones para la utilización del estándar Passivhaus en la ciudad de Concepción.....	14
3 DESCRIPCIÓN VIVIENDAS UTILIZADAS .....	16
3.1 Características Generales Passivhaus .....	16
3.2 Detalles Constructivos Passivhaus.....	17
3.3 Características generales Viviendas Albañilería.....	18
4 IMPORTANCIA DEL CONFORT AMBIENTAL EN RECINTOS EDUCACIONALES .....	19
4.1 Estrés escolar.....	21
5 METODOLOGÍA.....	22
5.1 Selección de la muestra.....	23
5.2 Recolección de datos.....	23
6 ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	24
7 CONCLUSIONES.....	29

BIBLIOGRAFÍA .....	30
ANEXOS .....	33
Anexo A: Metodología sugerida para encontrar espesores de distintos materiales. ....	33
A.1 Resistencia, Conductividad y Transmitancia Térmica.....	33
A.2 Propiedad Sismorresistente.....	36
A.3 Detalle envolvente vivienda prototipo. ....	37
Anexo B Instrumentación y Recolección de datos. ....	38
B.1 Instrumentos de medición para las variables de confort interior en las viviendas .....	38
B.2 Instrumentos para la medición de los niños .....	40
B.3 Recolección de Datos .....	46
B.3.1 Procedimiento recolección datos de la vivienda.....	46
B.3.2 Recolección de datos procedentes de los niños .....	46
B.4 Ejemplos de sesiones en las viviendas. ....	48
Anexo C: Tablas y parámetros adicionales.....	51
C.1 Variables medidas por niño.....	51
C.2 Valores de r para correlación lineal entre dos variables.....	55
C.3 Comparación de las variables por tipo de vivienda respecto al tiempo. ....	56
C.3.1 Tendencia individual pulsaciones de los menores.....	58
C.4 Categorización calidad aire interior. ....	60
C.5 Clasificación orientación de las viviendas. ....	60

## **ESTUDIO DEL ESTRÉS EN NIÑOS PREESCOLARES EN EDIFICACIÓN DE CROSS LAMINATED TIMBER – PASSIVHAUS VERSUS ALBAÑILERÍA**

María Francisca Gajardo Gajardo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[margajar@alumnos.ubiobio.cl](mailto:margajar@alumnos.ubiobio.cl)

Juan Marcus Schwenk

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[jmarcus@jms.cl](mailto:jmarcus@jms.cl)

### **RESUMEN**

Esta investigación intenta demostrar que la incorporación del método constructivo Cross Laminated Timber (CLT) y la utilización del estándar de ahorro energético Passivhaus, logran un buen confort interior en las viviendas. Se utiliza para ello una edificación prototipo entregada el año 2014 con estas características y donde se realizaron experiencias con niños de cuatro y cinco años de educación preescolar. La finalidad es medir en los niños, su nivel de estrés, reflejado en la variación del ritmo cardiaco. Y que el confort interior, proporciona condiciones que favorecen la concentración, medible con algunos instrumentos de evaluación psicopedagógica. En la vivienda se toman datos de temperatura, humedad y dióxido de carbono y mediante análisis se ve como estos influyen en la reacción de los niños. Estos procedimientos son replicados en viviendas de albañilería, de manera de comparar los resultados.

Con éste estudio se prueba que la mayoría de los niños al realizar las actividades en la passivhaus disminuyeron su ritmo cardiaco, lo que es reflejo del confort interior que esta vivienda proporciona a sus ocupantes. Y a su vez los menores, al disponer de mayor confort interior aumentan el puntaje obtenido en los test relacionados a memoria – concentración aplicados, comparado con los resultados obtenidos en las viviendas de albañilería.

Palabras Claves: CLT, Passivhaus, Estrés.

7.124 Palabras Texto + 14 Figuras/Tablas\*250 + 2 Figuras/Tablas\*300 = 11.224 Palabras Totales

## **STUDY OF STRESS IN PRESCHOOL CHILDREN IN BUILDING CROSS LAMINATED TIMBER – PASSIVHAUS VERSUS MASONRY**

María Francisca Gajardo Gajardo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[margajar@alumnos.ubiobio.cl](mailto:margajar@alumnos.ubiobio.cl)

Juan Marcus Schwenk

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[jmarcus@jms.cl](mailto:jmarcus@jms.cl)

### **ABSTRACT**

This research tries to show that the incorporation of the Cross Laminated Timber (CLT) construction method and the use of Passivhaus energy-saving standard, gives a good indoor comfort in homes. To do this a prototype standards built that was released in 2014, with these features, is used. Experiments with four and five years old children from preschool, were made. The objective is to measure in children`s stress level, due to the variation of heart rate. A good interior comfort, provides conditions helps to improve concentration which is measured with some of psychoeducational assessment instruments. Inside the house information related to temperature, humidity and carbon dioxide and then through an analysis we can know how they affect the reaction of children. These same procedures are applied on masonry houses, in order to compare results.

This study shows heart rate of most children who do activities in the passivhaus decrease, which reflects how interior comfort in apartment helps to its occupants. At the same time, these children who have better conditions increase the score they get in tests related to memory – concentration in comparison with results got in masonry housing.

Keywords: CLT, Passivhaus, Stress

## 1 INTRODUCCIÓN.

Hoy en día hay una evidente y creciente necesidad de poseer una vivienda, si se habla de forma genérica se estima que dentro de 20 años son 3.000 millones de personas en el mundo que trabajarán para este fin, lo que será un gran desafío para el rubro de la construcción y más aún cuando se piensa que la mayoría de aquellas construcciones se harán especialmente con dos materiales, el acero y el concreto. Son buenos materiales, pero de alta demanda energética. En conjunto representan más del ocho por ciento de la emisión de gases de efecto invernadero en su producción. Por otro lado, existe como solución, la utilización de madera como material de construcción, que crece de forma natural gracias a la energía del sol. Tiene una capacidad importante de purificación del aire, nos referimos a que un metro cúbico de ella retiene una tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Fell (2014) de la Universidad British Columbia y FPInnovation estableció un vínculo entre la madera y la salud humana, el que concluyó que usar la madera es una forma de crear un ambiente más saludable. Los efectos de la reducción de estrés que encontramos al usar madera en ambientes de oficina, son en teoría aplicables a cualquier tipo de construcción ya que son reacciones innatas a los materiales naturales. Por extensión, podríamos esperar que el uso de la madera en establecimientos educacionales contribuya a reducir la activación del estrés tanto en estudiantes como en profesores.

Es este planteamiento el que conduce la presente investigación y se define como línea de estudio, verificar que sucede con los niveles de estrés de niños de educación preescolar, específicamente de 4 y 5 años. En edificaciones de albañilería y madera maciza, Cross Laminated Timber (CLT), complementando esta última con el estándar de origen alemán Passivhaus, que busca principalmente adoptar una serie de medidas en la construcción y/o reparación de edificaciones para lograr un ahorro energético de hasta el ochenta por ciento.

Se busca, con parámetros medidos en la vivienda, los cuales son temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>, identificar la influencia en los niveles de estrés de los niños. Un estrés moderado en condiciones de confort interior proporcionará una sensación más grata donde los niños son capaces de realizar actividades en las que aplican concentración y memoria. Esta información será medida con



instrumentos de evaluación psicopedagógicos estandarizados para el nivel de los menores, de manera que con las conclusiones obtenidas se logre a corto plazo unir los conceptos CLT y passivhaus no solo en construcción de viviendas sino como una solución a establecimientos educacionales y pensando en que la Junta Nacional de Jardines Infantiles (JUNJI) quiere, en el periodo 2015-2019 implementar 6700 jardines y salas cunas, de los cuales 4500 son construcciones nuevas y 1200 corresponden a mejoramientos. Todos con altos estándares de calidad.

El objetivo general es comparar los niveles de estrés de niños de educación preescolar en la passivhaus, frente a edificaciones de albañilería. Si los efectos en la vivienda pasiva son favorables además se puede avanzar en la utilización del CLT como material y método constructivo, llevándolo fundamentalmente a edificaciones de mediana altura destinadas a la educación y cuidado de niños para la zona de Concepción. Además ofrecer información del comportamiento de confort interior que se logra con la unión del CLT y el estándar passivhaus.

Como objetivo particular se pretende aclarar los siguientes puntos.

- a) Medir y comparar los niveles de los parámetros interiores, temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>.
- b) Comparar las pulsaciones de los niños en los dos escenarios.
- c) Evaluar los niveles de memoria-concentración de los menores.

## **2 SISTEMA CONSTRUCTIVO MADERA SÓLIDA CONTRALAMINADA (CLT) Y ESTÁNDAR PASSIVHAUS.**

La madera y sus derivados están viviendo un auge permanente como material de construcción, debido a su gran cantidad de ventajas, propiedades y formas de uso. En nuestra sociedad hay una creciente conciencia por ahorrar recursos naturales. Esto y los nuevos avances técnicos han devuelto la atención al material de construcción más antiguo de la humanidad. Sin embargo en nuestro país los niveles de construcción con este material siguen siendo bajos, considerando la abundancia de recursos madereros y especialmente de madera aserrada. Se puede señalar que de las 96.000 viviendas que se construyen en Chile, solo el 12,8% se compone de madera como

material predominante en muros (INE, 2010). En Canadá, Nueva Zelanda y Australia más del 80% de la producción de madera aserrada se destina a construcciones habitacionales, las que son además de alta calidad, gran durabilidad, cómodas y económicas. Esta cifra debería ser un incentivo para impulsar el uso de la madera en la construcción de edificios y viviendas, a un menor tiempo, de excelente calidad, más liviana, comparando con estructuras similares y considerando que este país está ubicado en una de las zonas de más alta sismicidad del mundo.

### **2.1 Sistema Constructivo Madera Solida Contralaminada CLT.**

Hace años se están realizando esfuerzos para que se utilice la madera como material estructural en proyectos de vivienda, tarea que ha resultado lenta porque a este se le considera peligroso, debido a que es combustible, la atacan insectos xilófagos y animales, se pudre entre otras razones. Profesionales ligados a la construcción y especialmente de países como Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Inglaterra y la Comunidad Europea han encontrado la forma de evitar o prevenir estos inconvenientes. Otras limitantes están asociadas a las disposiciones de diseño de edificios de mediana altura utilizando madera. La norma NCh 433 señala particularmente que el desplazamiento máximo admisible entre niveles ha sido calibrado para edificios de hormigón armado, pero debe emplearse para el cálculo de edificios, cualquiera sea el material a utilizar. Es por esto que se propone utilizar en Chile un nuevo material denominado CLT, producto derivado de la madera y uno de los más emblemáticos en la construcción de edificios de mediana altura en países desarrollados como los ya antes mencionados.

El CLT es un material de construcción de madera maciza o sólida, fabricado a partir de capas de madera aserrada pegada con adhesivo. Fue desarrollada en Austria, Alemania y Suiza con madera de abeto y pino europeo, para la construcción de edificios habitacionales, comerciales y construcciones especiales. Como se dijo, se trata de un tablero formado por paneles o láminas de madera maciza aserrada, cepillada y prensada contralaminada de 30 a 45 mm de espesor, superpuestos en sucesivas capas de números impares que van desde tres a siete y que se encolan y pegan en capas alternando sus direcciones en una prensa de gran tamaño, formando diafragmas verticales y horizontales que forman ángulos de 90° y soportan muros de hasta 500 mm de espesor (ver Figura 1.1). En Chile para la elaboración de estos paneles se utiliza madera de pino

radiata, cuya producción es bastante alta llegando a los 7.452 m<sup>3</sup> (INFOR, 2014). El material resultante es robusto, compacto y resistente, pero ligero a su vez. Es 100% natural y sustentable, ya que se utilizan adhesivos sin formaldehído. Con respecto a la sustentabilidad empresas como Maderas Arauco y CMPC, grandes productores de madera acerrada, cuentan con la certificación PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification – Programa de reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal) que garantiza que la madera proviene de silvicultura sostenible. No se extrae del bosque más de lo que se reforesta.



Figura 1.1. Panel terminado CLT  
Fuente Hybrid Build Solutions, 2013

## 2.2 Características Generales de los Paneles de Madera Sólida Contralaminada.

Dentro de las generalidades de los paneles de CLT se puede decir que este tiene gran flexibilidad ya que puede combinarse con otros materiales de construcción. Logra un mayor espacio habitable, pues los muros y paredes son más finos que por ejemplo una pared de ladrillo, aumentando en promedio el espacio disponible entre un 6 a 10%, en una casa hecha de CLT. Posee un alto grado de prefabricación, ya que a los paneles se le pueden hacer los huecos y vanos para ventanas, puertas e instalaciones eléctricas y sanitarias, en taller, reduciendo los tiempos y costos relacionados con el montaje en terreno, lo cual es llamado montaje en seco.

La elección de CLT como material y método de construcción es una ayuda en la lucha del cambio climático, ya que en su crecimiento los árboles absorben CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera, proceso que termina cuando el árbol llega a su madurez y al cortarlo y procesarlo para la construcción de estos paneles. Este gas queda almacenado por cientos de años, lo que contribuye directamente a

la disminución del efecto invernadero por emisión de gases debido a la actividad humana, dentro de los que se encuentra el CO<sub>2</sub>.

La Figura 1.2 muestra una comparación de la emisión de CO<sub>2</sub> en la producción de algunos materiales utilizados en la construcción. Claramente la madera capta gran parte de este de gas.

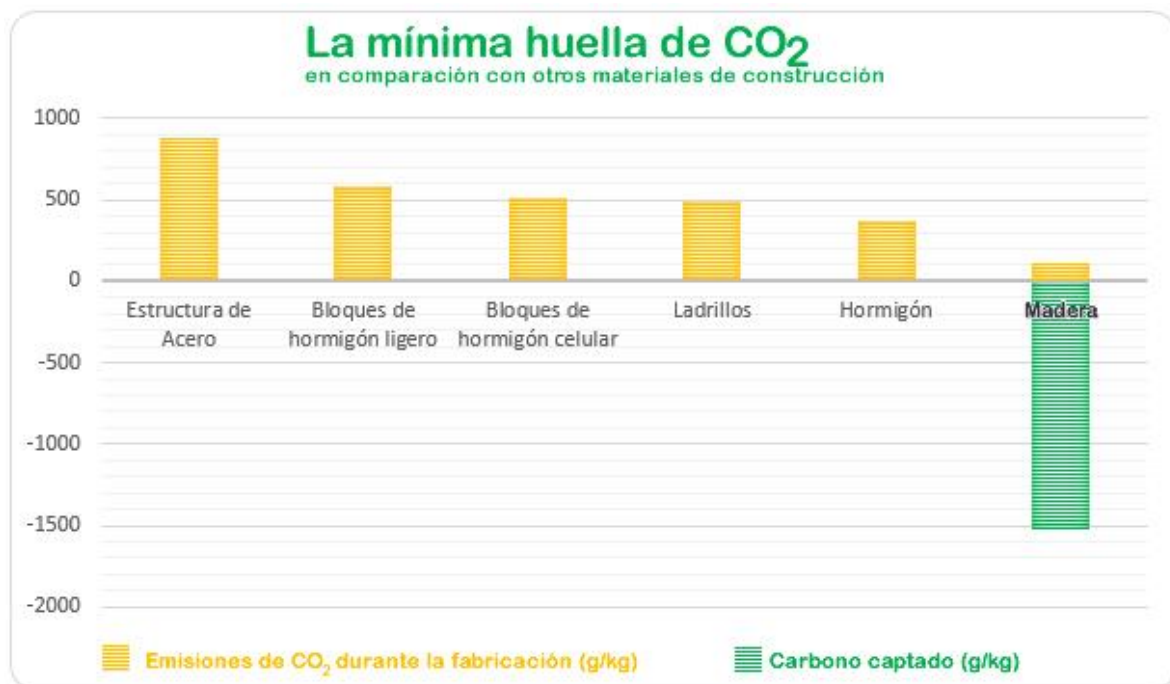


Figura 1.2. Comparación de la emisión de CO<sub>2</sub> de materiales de construcción durante su fabricación. Fuente: Stora Enso, 2014

### 2.3 Características Particulares de Paneles CLT.

Varias de las características de los paneles individualmente pueden ser mejor al comparar con otros materiales de construcción. Pero cuando dichas propiedades trabajan conjuntamente se logran edificaciones más confortables para los usuarios.

#### 2.3.1 Propiedades Mecánicas

Las principales propiedades de la madera son: resistencia, dureza, rigidez y densidad, esta última se correlaciona con la resistencia y dureza, también tiene una alta resistencia a la compresión, en

algunos casos superior en relación a su peso a la del acero. Tiene baja resistencia a la tracción y moderada resistencia al corte.

En cuanto a los tableros, varían según las calidades de las tablas utilizadas para producir los elementos de CLT. La Tabla 1-1 resume las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad para Pino Radiata en estado seco.

**Tabla 1.1 Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para Pino Radiata seco, MPa. (NCh 1198 of. 2006)**

Grado estructural	Tensiones admisibles de					Módulo de elasticidad en flexión $E_f$ <sup>2)</sup>	Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$ (MPa/mm)
	Flexión <sup>1)</sup> $F_f$	Compresión paralela $F_{cp}$	Tracción paralela <sup>1)</sup> $F_{tp}$	Compresión normal $F_{cn}$	Cizalle $F_{cz}$		
<b>a) Visuales</b>							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10 500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10 000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10 100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8 900	
<b>b) Mecánicos</b>							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10 200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7 900	
1) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal 90 mm. 2) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal $\geq 180$ mm. El módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%, $E_{f,k}$ , se puede estimar como $0,60 E_f$ .							

### 2.3.2 Propiedades Térmicas y Protección contra la Humedad

a) Transmitancia Térmica ( $U$  ( $W/m^2K$ )): Cuanto menor es el valor de la transmitancia, mejor aislada está la estructura (González et al. 2014a), traduciéndolo en ahorro en climatización tanto en verano como en invierno, para lograr temperaturas de confort. Sin duda es un beneficio en nuestro país dónde este mismo producto podría utilizarse sin muchas restricciones desde Santiago a Puerto Montt. Estas ciudades aún muestran condiciones climáticas menos severas que algunos países europeos de donde es originario. Convenientemente puede complementarse con el principio Passivhaus, que es muy riguroso con el diseño de la envolvente. Otro aspecto favorable se observa al realizar una comparación de los espesores de materiales de construcción para alcanzar un mismo valor de transmitancia térmica igual a  $1,012 W/m^2K$ , mostrado en la Figura 1.3, y que a su vez se relaciona con el aumento del espacio habitable o disponible.

La metodología sugerida para encontrar dichos espesores se encuentra en detalle en el Anexo A del presente informe, donde se toma como base un espesor de CLT de 9 cm.

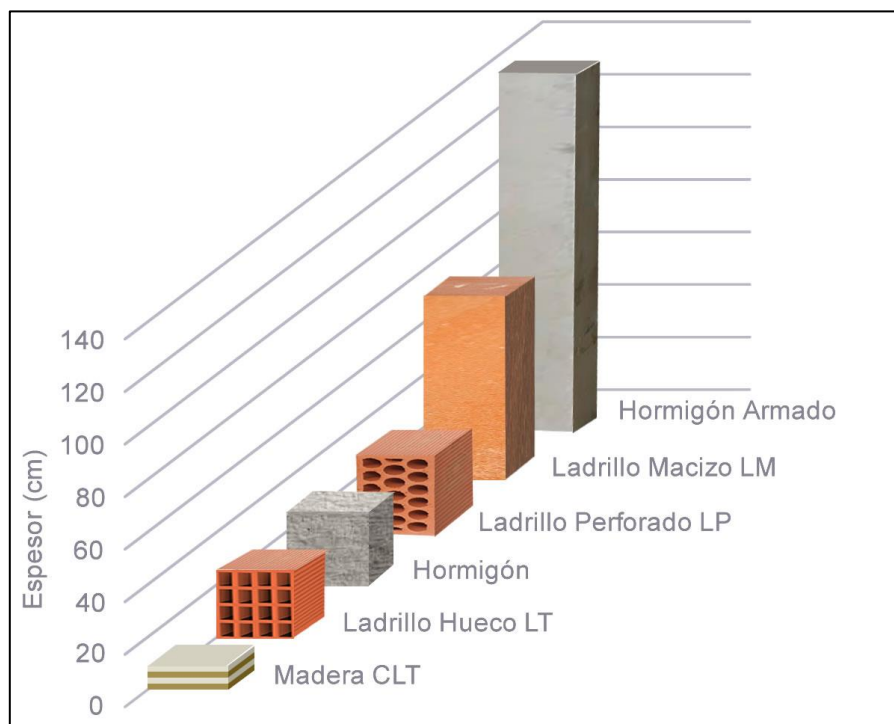


Figura 1.3 Comparación de espesores de materiales de construcción para alcanzar un mismo valor de U.  
Fuente: Elaboración Propia.

b) Resistencia a la Difusión del Vapor de Agua ( $\mu$ ): El vapor de agua circula siempre de un lugar donde existe mayor presión a otro donde la presión es menor y está en función de la humedad relativa y la temperatura. Por tal razón es preferible recurrir a materiales transpirables que permitan el paso a la humedad, impidiendo por diferencias de temperatura que se provoque una condensación superficial (en la superficie interior del recinto) ([www.ipc.org.es](http://www.ipc.org.es)). La condensación superficial debe evitarse, ya que la existencia de humedad favorece la aparición de hongos y microorganismos que generan daño a la salud de quienes habitan la edificación y al material, alterando su estructura y aspecto. Los valores fluctúan entre 30 y 40 (valor adimensional. Es una relación entre la permeabilidad del aire y material a ensayar) dependiendo del espesor y la empresa que los fabrique. (Amatex, 2014)

### *2.3.3 Propiedades Acústicas.*

El aislamiento acústico de un elemento constructivo destinado a separar recintos es la propiedad física que actúa de resistencia u oposición a la transmisión sonora a través de éste, al ruido aéreo que corresponde a todo lo que se propaga por el aire e incide sobre los elementos constructivos que limitan un recinto, transmitiéndose al aire del espacio adyacente. Proviene tanto desde el exterior como del interior, entre recintos adyacentes horizontales y/o verticales. También al ruido de impacto que se produce por una acción mecánica directa sobre la estructura del edificio, propagándose a través de esta y excitando los volúmenes de aire contenidos en los recintos.

La madera como materia prima de los paneles, permite buenas atenuaciones acústicas al ruido aéreo y de impacto gracias a su buena rigidez dinámica. También posee un alto coeficiente de absorción acústica al tener estructura porosa (Egoín, 2012). Otra ventaja del sistema es que los paneles no están sujetos a manipulación posterior a su fabricación, con lo que se consigue una gran homogeneidad en los resultados de aislamiento acústico, cuyos valores cumplen con normas internacionales como el Código Técnico de la Edificación de protección frente al ruido (España).

### *2.3.4 Resistencia al fuego.*

La resistencia al fuego de los paneles de CLT dependerá íntegramente de la cantidad de láminas que este posea considerando como mínimo tres capas. Una ventaja es que ya el material (madera) tiene una baja conductividad térmica generalmente en grandes secciones, se ve más que nada afectada por la carbonización superficial la que bordea los 12 mm de profundidad (Viotto, U. 2013).

El cuidado debe ponerse en el tipo de adhesivo, el cual debe ser estable a altas temperaturas y que las juntas sean lo suficientemente herméticas para evitar el paso de gases y humo.

De las pruebas realizadas en Chile, los paneles con tres capas generalmente tienen una resistencia al fuego de 30 minutos (REI-30/ F 30) y los de 5 capas del mismo o similar espesor generalmente tienen una resistencia al fuego de 60 minutos (REI-60 / F 60) dependiendo a la vez de la carga aplicada, resultados en conformidad a la norma NCh 935 of. 1977. (González et al. 2014b)

### 2.3.5 Propiedad Sismorresistente

Una estructura de CLT, se estima que es de un quinto de lo que pesa una de hormigón armado (DIN 1055-1, 2002). Reduce en gran medida la transmisión de las ondas sísmicas.

El caso más emblemático en la investigación para el desarrollo de los paneles, es el de un edificio de siete plantas probado por CNR-IVALSA Italia, en la mesa vibradora más grande del mundo en Japón. Se sometió al edificio a un sismo como el ocurrido en Kobe, Japón en 1995, de una magnitud de 7,2 grados en la escala Richter y aceleraciones de 0,8 a 1,2 g. Como resultado se obtuvo, un desplazamiento máximo de 287 mm (X) y 175 mm (Y). El edificio mostró un comportamiento dúctil y buena disipación de energía, que se complementa con el tipo de conexiones mecánicas utilizadas.

De los ensayos realizados en Chile en el marco del desarrollo del Anteproyecto de Norma de Fabricación de Paneles Contralaminados Utilizando Pino Radiata Crecido en Chile, se propone un valor de 2,0 para el factor de modificación de la respuesta estructural (análisis estático). Para ser usado en la aplicación de la Norma NCh 433, satisfaciendo las limitaciones a los desplazamientos máximos admisibles de esta y para proporcionar un diseño conservador considerando el comportamiento prácticamente elástico de la estructura. (González et al. 2014c)

## 2.4 Estándar Passivhaus.

Es un estándar de origen alemán desarrollado por Bo Adamson (Lund University) y Wolfgang Feist (Institut für Wohnen und Umwelt – Instituto de Vivienda y Medio Ambiente) en el año 1988 para la construcción y certificación de viviendas, que cuenten con un clima interior confortable todo el año, una máxima calidad de aire interior. Además aprovecha la energía del sol para una mejor climatización y una gran aislación térmica, reduciendo el consumo energético hasta un 80% en comparación a una construcción convencional (Passivhaus-Chile. 2014). Al mismo tiempo respeta el medio ambiente, ya que también hay menos aporte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La vida en una vivienda pasiva es más confortable ya que gracias a un sistema mecánico de ventilación, el aire es renovado permanentemente refrescando el interior, sin provocar incómodas



corrientes de aire. El calor de los gases según la temporada se reutiliza llevándolo por conductos a otras zonas de la edificación calefaccionando los espacios sin incurrir en mayores gastos.

Si bien hay técnicas que avalan que cualquier construcción con los debidos ajustes puede lograr el estándar Passivhaus, para las construcciones nuevas se ha estimado un sobrecosto de entre un 5 a 10%, respecto a edificios convencionales. Según el ciclo de vida de los edificios, estos valores son compensados debido a la drástica reducción de la demanda de energía. La Figura 1.4 muestra los costos de una vivienda de 100 m<sup>2</sup> en comparación a una Passivhaus durante su ciclo de vida en la ciudad de Concepción.

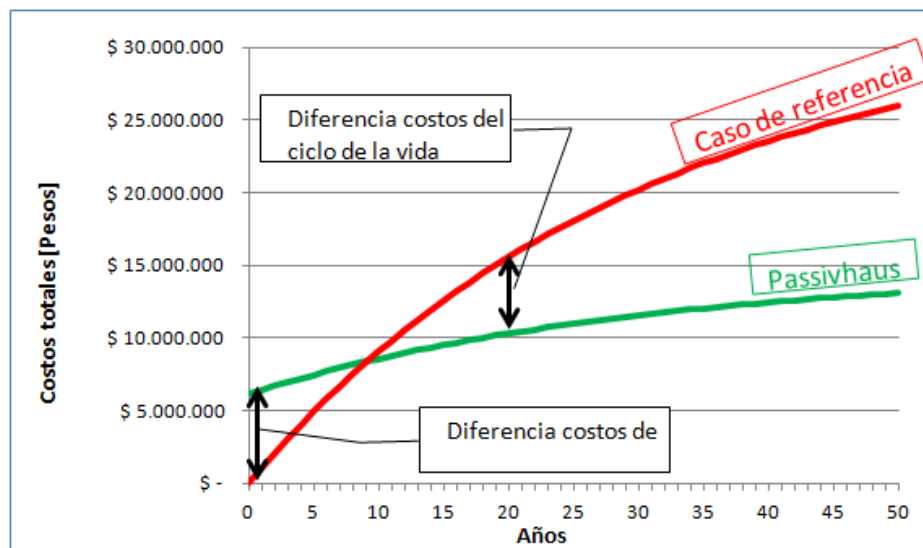


Figura 1.4 Costos de una vivienda de 100 m<sup>2</sup> comparada con una Passivhaus en la ciudad de Concepción. Fuente: Hatt T. 2012

#### 2.4.1 Principios básicos para lograr el estándar Passivhaus

Este estándar no impone el uso de algún tipo de material o estilo arquitectónico, sino la optimización de los recursos existentes a través de técnicas pasivas, como por ejemplo un buen factor de forma, que reduzca la superficie en contacto con el exterior disminuyendo las necesidades de climatización, una orientación correcta de las ventanas para aprovechar el calor del sol cuando estén cerradas y la ventilación natural al abrirlas, poner protecciones solares que impidan un sobrecalentamiento en verano, etc.

Los principios básicos que han logrado el éxito y eficiencia de las Passivhaus son los cinco siguientes.

- a) Excelente aislamiento térmico: Se busca obtener una baja transmitancia térmica en paredes exteriores, cubierta y solera, ya que de esta manera se impide que entre o salga calor según la estacionalidad. Durante el invierno en Chile se deben alcanzar temperaturas superficiales de la envolvente térmica iguales o superiores a 17°C.
- b) Ventanas: Estas son las zonas más débiles de la envolvente, por lo que se propone doble juntas de estanqueidad y vidrios con baja transmitancia térmica con capas (doble, triple y hasta cuádruple vidriado hermético) que conforman una, dos o tres cámaras herméticas, rellenas con aire o un gas noble. Las ganancias solares que se obtienen a través de las ventanas forman parte del balance energético de la edificación, pero debe evitarse un exceso de radiación en verano.
- c) Ventilación con recuperación de calor: La ventilación controlada con recuperación de calor es un sistema formado por dos circuitos; uno de entrada de aire fresco exterior y otro de salida de aire viciado interior y es la pieza clave en el funcionamiento de un edificio pasivo en climas dominados por la necesidad de calefacción, ya que aprovecha más del 80% de calor transportándolo por el interior de la construcción antes de ser expulsado. El aire fresco que es incorporado es filtrado previamente favoreciendo las condiciones de higiene de la vivienda.
- d) Estanqueidad o Control de las Infiltraciones: En una construcción convencional, las corrientes de aire que se pueden dar a través de ventanas, huecos o grietas provocan incomodidad en el usuario y hasta condensaciones interiores, particularmente en periodos fríos del año. En las viviendas pasivas esta entrada de aire se produce de forma controlada lo que permite que el aporte se realice en condiciones higiénicas, de temperatura y humedad.
- e) Diseño Libre de Puentes Térmicos: Un puente térmico se comporta en un edificio como un agujero en un cubo de agua; aumenta el flujo de calor entre el interior y el exterior del mismo modo en que el agua se derrama a través del agujero del cubo. La transmisión de energía se da en general en paredes y techos y particularmente en esquinas, ejes, juntas etc. Las temperaturas superficiales en esas zonas suelen ser inferiores a las del resto de la envolvente, provocando en ocasiones la aparición de moho.

Se puede construir sin puentes térmicos al no interrumpir la capa de aislamiento, al usar materiales con resistencia térmica mayor. Si se necesita interrumpir la capa de aislamiento se debe cuidar las juntas entre los elementos constructivos. La Figura 1.5 resume los cinco principios de las Passivhaus.

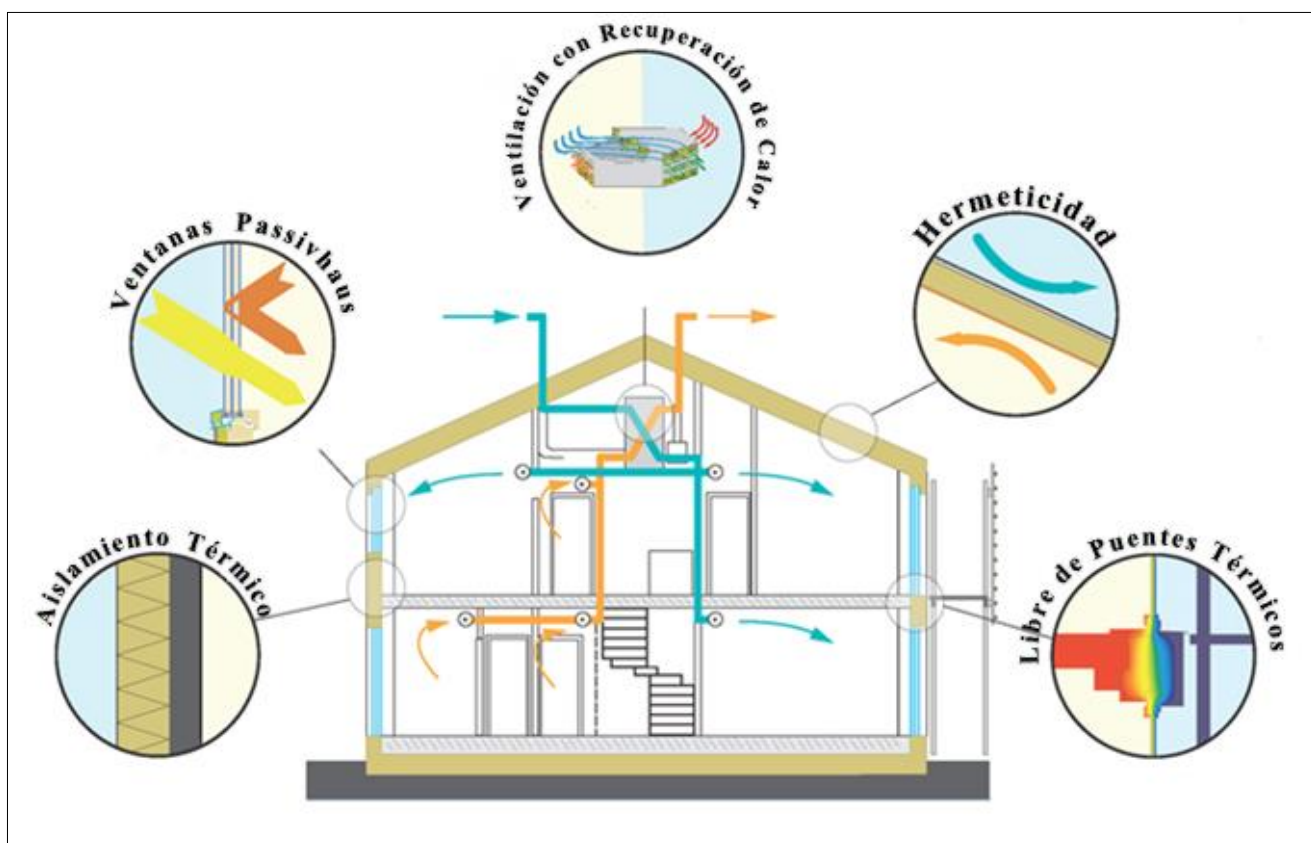


Figura 1.5 Los cinco principios de las Passivhaus.  
Fuente: PHI, 2015

#### 2.4.2 Modificaciones para la utilización del estándar Passivhaus en la ciudad de Concepción.

Chile posee una diversidad de condiciones climáticas por lo que es debido adaptar también el estándar que poco a poco se ha ido introduciendo, para también desarrollarlo de forma más eficiente de acuerdo a nuestras necesidades. Se detallará, por la orientación de esta investigación las soluciones o modificaciones a realizar en la ciudad de Concepción, no obstante ya se cuenta con información para las ciudades de Santiago y Puerto Montt.

Es necesario primero saber cuáles son los requisitos internacionales que se plantean para obtener la certificación de vivienda pasiva.

- a) Clima interior confortable. Se puede lograr sin un sistema de calefacción independiente y sin aire acondicionado, donde la demanda de calefacción o refrigeración no exceda los 15 kWh/(m<sup>2</sup>año).
- b) Los criterios de confort deben cumplirse en cada habitación tanto en invierno como en verano, considerando valores transmitancia térmica U, menores a 0,15 W/m<sup>2</sup>K, para la envolvente y U menor a 0,8 W/m<sup>2</sup>K para ventanas y otros componentes traslucidos.
- La temperatura del aire de alimentación en las habitaciones no debe ser menor a 17°C, siendo importante también la exposición del sonido de este a través del sistema de ventilación y no superior a 25 dBA (susurro del viento en los árboles).
- Las viviendas deben contar por lo menos con una abertura de aire exterior.
- c) El consumo de energía primaria específica para todas las aplicaciones de uso doméstico (calefacción, agua caliente, electricidad etc., juntos no pueden exceder de 120 kWh/m<sup>2</sup>año. (PHI, 2015)

Los requisitos para la ciudad de Concepción han de sufrir ciertas modificaciones, pero en general el concepto Passivhaus, acerca de maximizar las ganancias y minimizar las pérdidas para bajar la demanda energética en calefacción, como estrategia en esta ciudad, se considera factible. La solución pasa por un buen diseño del edificio en general, procurando tamaños adecuados de las ventanas hacia las distintas orientaciones, las cuales disminuyen la demanda energética para calefacción y mediante la incorporación de elementos de sombra se evita un sobre calentamiento en el verano. La desventajas es que no puede lograrse una demanda energética en calefacción bajo los 15 kWh/ (m<sup>2</sup>a), sin contar con un sistema de recuperación de calor. Se recomienda para la zona de Concepción.

- i. Transmitancia térmica diferenciada: Muros  $U \leq 0,35 \text{ W/ (m}^2\text{K)}$ , Techumbre  $U \leq 0,28 \text{ W/ (m}^2\text{K)}$ , Radier  $\leq 0,65 \text{ W/ (m}^2\text{K)}$ .
- ii. Ventanas termo paneles mejoradas con valor de  $U < 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  y un factor solar  $g > 0,6$
- iii. Incorporar elementos de sombreado en el verano. (Hempel et al, 2013)

### **3 DESCRIPCIÓN VIVIENDAS UTILIZADAS**

Para realizar este estudio, se utilizan dos tipos de viviendas. Se denominarán Passivhaus y vivienda de albañilería. Del tipo albañilería se utilizan seis ya que la idea es reflejar las condiciones de estudio de los niños que han cooperado en esta experiencia.

#### **3.1 Características Generales Passivhaus**

En el proyecto denominado: Desarrollo e Introducción del Sistema de Edificación Pasiva en Chile, se propuso diseñar un sistema de edificación que garantice un confort ambiental interior. Reduzca el consumo de energía y que sea un mecanismo sin emisión de CO<sub>2</sub> y material particulado. La edificación no debe superar un 10% los costos de una vivienda tradicional de calidad y el valor deberá ser recuperado con el ahorro de energía en un plazo no mayor a los 10 años. La vivienda fue construida en CLT y se cuenta con el aporte de diversas empresas.

Esta es una vivienda multifamiliar, ubicada en la comuna de San Pedro de la Paz específicamente en Cumbres de Andalué, calle Nahuel número 625, Región del Bío-Bío e inmersa en una zona climática definida como Sur Litoral (SL). Lo interesante de este prototipo es que une los conceptos de vivienda pasiva y la construcción con CLT para también introducirlo como material, sistema constructivo y para verificar las ventajas de estos elementos. Generando un nuevo mercado en el rubro de la construcción y no depender de la importación de recursos.

Esta moderna estructura corresponde a dos viviendas pareadas de 220 m<sup>2</sup> y que por trabajar con tableros es posible armar un piso en un día y en una semana la obra gruesa de la vivienda. Lo que en albañilería demoraría unos dos meses. (Hempel, 2013).

El proyecto tenía una duración de 36 meses, comenzando en Marzo 2011 a Febrero de 2014. Al comienzo de esta investigación (Marzo 2015), el prototipo tenía un porcentaje de avance del 50%, es decir una de las viviendas, con funcionamiento completo. Habitada desde Febrero 2014. La Figura 2.1 es la representación del prototipo FONDEF D09I1081: Vivienda pareada en madera sólida CLT y la Figura 2.2 el estado de la passivhaus a marzo del 2015.



Figura 2.1 Prototipo FONDEF D09I1081: Vivienda pareada en madera sólida CLT  
Fuente: Hempel et al. 2013



Figura 2.2 Estado passivhaus a marzo del 2015.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Detalles Constructivos Passivhaus

Esta vivienda es un prototipo y la utilización de CLT es una herramienta que está recién entrando al rubro de la construcción en Chile. Por la escasa tecnología para construir dichos paneles y la aun inexistente normativa Tiene algunas modificaciones con respecto a los elementos que en conjunto conforman la envolvente, en comparación con edificios construidos por ejemplo en Austria donde es ciento por ciento de CLT, pero el espesor de los paneles es mayor.

Las modificaciones realizadas considera la incorporación de revestimiento exterior, barrera de humedad, capa de aislación de lana de vidrio y lámina de yeso cartón entre las más importantes. Se puede destacar que al realizar una inspección visual de la vivienda, pisos de primer y segundo nivel, escaleras, con un año de uso y lugares que son de alto tráfico donde el CLT queda expuesto, no presentan ningún tipo de daño.

Se debe mencionar que aquellas edificaciones nuevas que quieren contar con la certificación passivhaus deben ocupar un software llamado Passive House Planning Package (PHPP), creado por el PHI, con el cual se estima los balances energéticos, demanda de energía primaria, entre otros, garantizando el resultado de los cálculos. En la Tabla 2.1 se muestran los valores obtenidos con PHPP.

**Tabla 2.1 Valores Obtenidos con PHPP**

Ítem	Valor Obtenido	Valor Estándar Passivhaus
<b>Demanda de Calefacción</b>	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	<15kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Demanda de Refrigeración</b>	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	<15kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Carga de Calefacción</b>	7 W/m <sup>2</sup>	<10 W/m <sup>2</sup>
<b>Carga de Refrigeración</b>	0 W/m <sup>2</sup>	<10 W/m <sup>2</sup>
<b>Consumo Total de Energía Primaria</b>	88 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Fuente: passivhaus-chile

Si se comparan los valores obtenidos con PHPP y los que exige el estándar Passivhaus, se verifica que los resultados logrados para la vivienda en estudio cumplen con los requeridos para la certificación.

### 3.3 Características generales Viviendas Albañilería.

Las seis viviendas utilizadas en las experiencias tienen una superficie útil, mínima de 50 m<sup>2</sup> y máxima de 100 m<sup>2</sup>.

Las viviendas pueden clasificarse, según materialidad y estructura predominante identificadas con letras que van de la A a la I. Categorizarse por la cantidad de atributos positivos que posee con números del 1 al 5 según la Resolución exenta N° 0062 del MINVU. Ver Tabla 2.2

**Tabla 2.2 Resumen Clasificación y Categoría Viviendas**

Vivienda	Clasificación	Categoría	Localización	Orientación
Albañilería I	D	4	Coronel	87,45 NO
Albañilería II	D	3	San Pedro de la Paz	9,12 NO
Albañilería III	C	3	San Pedro de la Paz	79,67 NO
Albañilería IV	C	3	Coronel	0,14 NE
Albañilería V	C	3	Coronel	20,19 SE
Albañilería VI	D	3	Concepción	26,8 NO
Passivhaus	H	3	San Pedro de la Paz	4,42 NO

La clasificación queda definida como:

C. Construcciones con muro soportante de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.

D. Construcción de albañilería armada y construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados metálicos o de madera.

H. Construcción prefabricada de madera. Paneles de madera, yeso cartón, fibrocemento o similares.

El valor de 3 y 4 de las categorías corresponde a media y media inferior obtenidos con la guía técnica para determinar la categoría de las construcciones. Contendida en la misma Resolución.

El sector utilizado dentro de las viviendas de albañilería y passivhaus fue el living-comedor. Donde el mobiliario fue muy similar, encontrando juego de living, juego de comedor, estante o mueble modular y televisor.

#### **4 IMPORTANCIA DEL CONFORT AMBIENTAL EN RECINTOS EDUCACIONALES**

Este estudio, si bien reúne información desde una vivienda, la proyección es que este tipo de estructuras, modernas, amigables con el ambiente y con un alto confort interior puedan utilizarse



también para la construcción de edificios educacionales, jardines y salas cunas proveyendo de una sensación de bienestar a quienes las ocupan.

Se estima que entre los 4 y 17 años, las personas pasan al menos un 70% de su tiempo en un aula escolar. Partiendo de esta base, otorgar un espacio sano y confortable es esencial, más aún cuando una alta calidad medioambiental en estos edificios pueden mejorar considerablemente la capacidad de atención, la concentración, el aprendizaje, la audición y el comportamiento de los estudiantes (Freitag et al., 2002 citado en GEEEduc, 2012a).

El confort térmico se define como; la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es determinada mediante evaluación subjetiva. (ASHRAE, 2010). Por lo tanto el confort térmico depende de la percepción subjetiva del individuo y es relativa a parámetros ambientales y personales.

En ambientes escolares es frecuente encontrar investigaciones de factores ambientales que generan estrés y el impacto que tienen en los estudiantes. Estos factores son:

- a) Temperatura. Se ha observado el efecto de la U invertida, que indica que a mayores niveles de calor, las conductas agresivas y de hostilidad aumentan a la par de la temperatura, pero esta relación comienza a revertirse a cierto punto en que la temperatura continúa elevándose (Halpern, 1995, citado en Mejía, 2010a). Conviene agregar que algunas investigaciones, consideran este ítem (temperatura) como confort térmico, lo que incluye factores como, la humedad relativa, el movimiento del aire y la temperatura radiante. La temperatura o temperatura del aire, determina la disipación del calor por convección, además tiene directa relación con la humedad relativa, si esta se encuentra en rangos de entre 30 y 65%, no tiene mayor incidencia en el confort, pero si estas son más altas, restringen la evaporación desde la piel y la respiración, mientras que humedades relativas muy bajas tienden a secar las membranas mucosas de la piel.
- b) Ruido. Se afirma que el ruido influye de manera negativa en el reconocimiento del habla en los estudiantes y que existe una mayor afectación en los niños más pequeños (Estrada, 2007, citado en Mejía 2010b)

- c) Iluminación natural. Niños situados en una clase sin luz natural tiene alteraciones en el patrón básico hormonal, y esto a su vez influye en la capacidad de los niños para concentrarse y cooperar. Además, con el tiempo, la falta de la luz natural puede afectar el crecimiento y un marcado retraso cronobiológico, (la hora de dormir se retrasa y se tarda más en estar alerta por las mañanas) y a contraer enfermedades escolares. (Carbelo, García, Mateo. 2012)
- d) Calidad del aire. En general en salas escolares el CO<sub>2</sub>, proveniente de la respiración de los alumnos, es el principal contaminante presente en el ambiente. Altas concentraciones de CO<sub>2</sub> causan dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición. Estos efectos alteran, tanto la salud física como mental de los estudiantes, provocando estrés y una disminución del rendimiento escolar. Otro factor que puede asociarse a la mala calidad del aire y a problemas respiratorios en los ocupantes, es la humedad provocada por condensación interior, lo que aumenta la presencia de contaminantes microbianos. Estas patologías frecuentes en edificios con un mal nivel de confort ambiental, se denomina Síndrome del Edificio Enfermo. (EPA, 2002 citado en GEEEduc 2012b). Finalmente una mala calidad del aire está asociada a un mayor ausentismo tanto de estudiantes como profesores.

#### **4.1 Estrés escolar.**

El estrés escolar puede ser entendido como la respuesta del organismo a los estresores que se dan dentro del espacio educativo y que afectan directamente el rendimiento de los alumnos (Dávila y Guarino, 2001 citado en Maturana y Vargas, 2015). Si un estudiante evalúa que los requerimientos o exigencias que se le plantean en una situación escolar determinada exceden sus competencias, se siente estresado. Esto sucede tanto en niños como adolescentes.

Las personas sometidas a estrés presentan variados síntomas. De los físicos involuntarios se puede mencionar, el aumento de la frecuencia cardiaca, la presión arterial, la respiración, la sudoración. Estado de excitación general.

Las emociones relacionadas con el estrés y que pueden ser observadas fácilmente por profesores o quienes rodean a los estudiantes, son las reacciones de desagrado que los alumnos son capaces de verbalizar. Entre estas se puede mencionar la rabia, la ansiedad, la frustración, el insomnio, el cansancio y diversos dolores. A nivel cognitivo y conductual aparecen dificultades en memoria a

corto y largo plazo, falta de atención y concentración, dificultades para mantenerse en su puesto, comerse las uñas y morderse los labios continuamente.

## **5 METODOLOGÍA**

Para lograr los objetivos de esta investigación se realizarán mediciones en dos ambientes la *passivhaus* y las viviendas de albañilería, con la finalidad de observar el comportamiento interior de las viviendas comparando tres parámetros, temperatura ( $T^{\circ}$ ), humedad (H) y  $CO_2$ .

En relación a los menores, a estos se les medirán las pulsaciones, el que será el indicador si los niños se sienten momentáneamente estresados y se les aplicará cuatro actividades dos de ellas recreativas para ambientarlos en la *passivhaus*. Cuando las actividades se realicen en sus hogares, servirá para que los niños compartan su espacio con el evaluador. Las dos actividades restantes son de tiempo controlado y medirán los niveles de concentración y memoria que los niños desarrollan en los distintos ambientes antes descritos. La evaluación debe tener un mínimo de 5 días de diferencia para repetir la aplicación. Todas las experiencias se realizaron en la *passivhaus* y luego en las viviendas de albañilería.

Se trabaja con niños de educación preescolar de cuatro y cinco años, pues estos mantienen la espontaneidad, en sus respuestas, forma de actuar y expresar sensaciones de comodidad o incomodidad.

Las mediciones se desarrollan en periodo otoñal, entre el día 28 de abril al 30 de junio, procurando días sin lluvia, con temperatura exterior promedio de  $15^{\circ}C$  En las viviendas de albañilería la calefacción no debía estar en funcionamiento (en caso de existir), ya que esta podía alterar los parámetros en estudio.

De modo complementario se entregará antecedentes del tipo de calefacción utilizado en las viviendas de albañilería y la clasificación según la orientación espacial. La mejor decisión es ubicar la mayor cantidad de superficie vidriada hacia el norte para obtener ganancias solares

### **5.1 Selección de la muestra**

Esta es una muestra de tipo dirigida y consta de un total de 10 niños, que asisten a establecimientos reconocidos oficialmente por el Estado por dependencia administrativa. Son seis colegios del tipo, particular subvencionado y dos jardines pertenecientes a JUNJI. De las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Concepción. Las experiencias se realizan en las viviendas en grupos de 2 a 3 niños para controlar la realización de manera individual.

### **5.2 Recolección de datos.**

Esta investigación posee dos fuentes desde donde provienen los datos a recolectar, las viviendas, (passivhaus, y albañilería) y los niños. Los datos que se recolectan de las viviendas son obtenidos mediante instrumentos, registrador de datos Hobo y sensor de CO<sub>2</sub>, proporcionados por el CITECUBB, y previamente calibrados. En tanto los niños son medidos en ambas viviendas con oxímetro de pulso pediátrico y se les aplica pruebas estandarizadas llamada Memoria-Atención y Organización Perceptiva del Instituto de Evaluación Psicopedagógica EOS, indicadas por la profesional, psicopedagoga, señora Nilda Vidal. Toda esta información se obtiene de cada sesión realizada en periodos de una hora, específicamente entre las 16:30 a las 17:30 horas.

Las pulsaciones en los niños se obtienen según procedimiento indicado en la guía para la realización de oximetría de pulso en la práctica clínica.

Una vez recolectados los datos estos se ordenarán en tablas y graficarán. En el caso de los parámetros medidos en las viviendas se realiza análisis del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), es una prueba estadística que busca la relación lineal entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Las hipótesis a probar son del tipo; a mayor X, mayor Y, a mayor X, menor Y, altos valores de X están asociados a altos valores de Y, etc.

La medida de estabilidad en el caso de la variable memoria-concentración es proporcionado por lo que se llama test-retest. En este procedimiento un mismo instrumento de medición se aplica dos o más veces a un mismo grupo de personas, después de cierto periodo. Desde luego el periodo entre las mediciones es un factor a considerar. Si el periodo es largo y la variable susceptible de cambios, ello suele confundir la interpretación de la fiabilidad obtenido por este procedimiento. Y si el periodo es corto las personas pueden recordar cómo respondieron en la

primera aplicación del instrumento, para aparecer como más consistentes de lo que en realidad son. (Bohrstedt, 1976 citado en Hernández, Fernández y Baptista. 2010.)

Para los test, se calcularán puntajes directos según el manual evalúa 1. Los procedimientos de recolección de datos, e instrumentación utilizada es detallado en el Anexo B. También se incorporan imágenes de los niños en las sesiones.

## 6 ANÁLISIS Y RESULTADOS.

Calculando la correlación para los pares de variables, se identifican dos pares que son consistentes en ambos tipos de vivienda. Esto se resume en la tabla 3.1

**Tabla 3.1 Variables Correlacionadas.**

Par de variables	Vivienda	Valores de r	Tipo y grado de correlación
T° - H	Pasiva	-0,7	Negativa moderada
T° - H	Albañilería	-0,8	Negativa Fuerte
T° - Pul	Pasiva	0,5	Positiva Moderada
T° - Pul	Albañilería	0,4	Positiva débil.

Fuente: Elaboración propia.

Es sabido que existe una relación entre la temperatura y la humedad, pero con la correlación se verifica que en la vivienda pasiva utilizando el sistema de ventilación esto se mantiene.

Continuando con el análisis de la confortabilidad se comparan los valores obtenidos de los parámetros en estudio, en la passivhaus y en las viviendas de albañilería. Para que los resultados sean compatibles los cálculos se realizan basados en el número de niños.

Es de esperarse que a una temperatura mayor que es el caso de la vivienda pasiva hubiese un índice mayor de pulsaciones; esto no sucede y se explica con lo que se llama sensación térmica. Cuando se acerca a los 25°C, la sensación es neutral, el confort se clasifica como cómodo y hay una normal regulación vascular, que es la respuesta física a esa temperatura, mientras que cuando se bordea los 20°C, la sensación térmica es de frescor, la condición de confort es ligeramente incomoda y hay aumento de pérdidas de calor por radiación y convección.

Con respecto a la humedad en las viviendas de albañilería, el aumento de ella, asociada a una baja temperatura provoca una condensación interior, favoreciendo la aparición de moho. El aumento de los niveles de CO<sub>2</sub>, por falta de una buena ventilación, (no necesariamente por algún sistema mecánico), desarrollan en las personas algunos síntomas; el más observado en esta experiencia es la somnolencia en los menores. Los resultados se entregan en la Figura 3.1

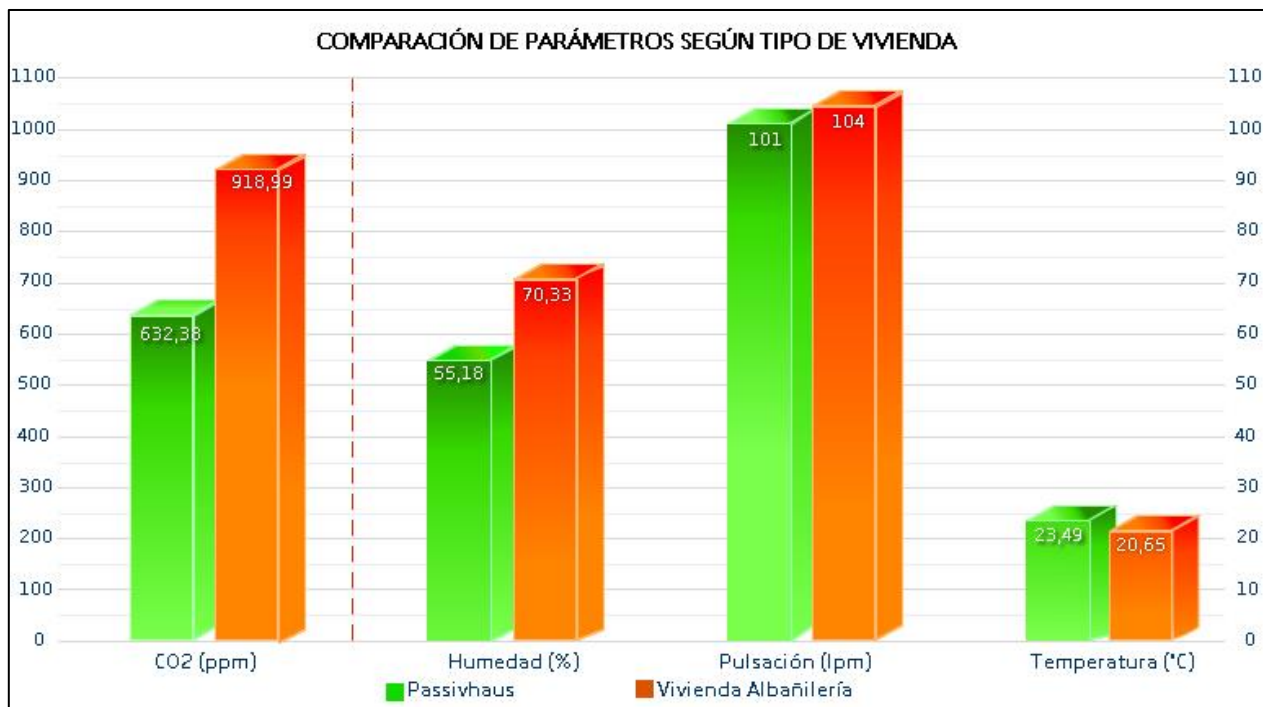


Figura 3.1 Resumen comparación de variables. (Elaboración propia)

En la figura 3.2 se muestra la categoría de la calidad del aire interior observada, según norma UNE-EN 13779/2007. Lo que en parte explica la conducta de los menores.

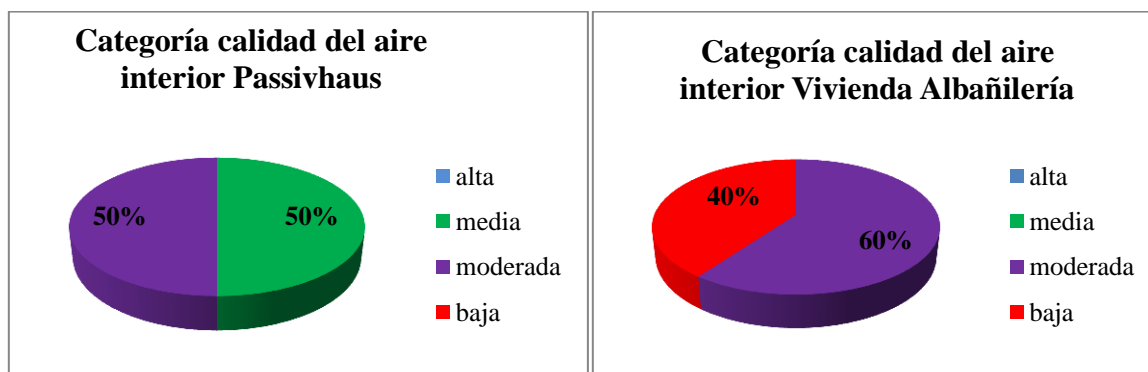


Figura 3.2 Categorización de la calidad del aire interior, por caso.

La media de las pulsaciones de los niños sometidos a este experimento presenta, la mayoría una disminución en la passivhaus y un aumento en la vivienda de albañilería, mostrado en la Figura 3.1. Pero son rangos normales ya que en niños de entre 4 a 5 años varía de los 75 a 120 latidos por minuto (MedlinePlus. 2015) lo interesante son las alzas o disminuciones que los niños experimentan en el transcurso de las actividades lo que es reflejo de sensación de estrés o relaxo, frente a un estímulo. Las tendencias individuales muestran en un 70% la ausencia de estrés, en la vivienda pasiva, porque medición tras medición, estas descienden. Un ejemplo de esta condición es la Figura 3.3. El total de las tendencias se encuentra en el Anexo C

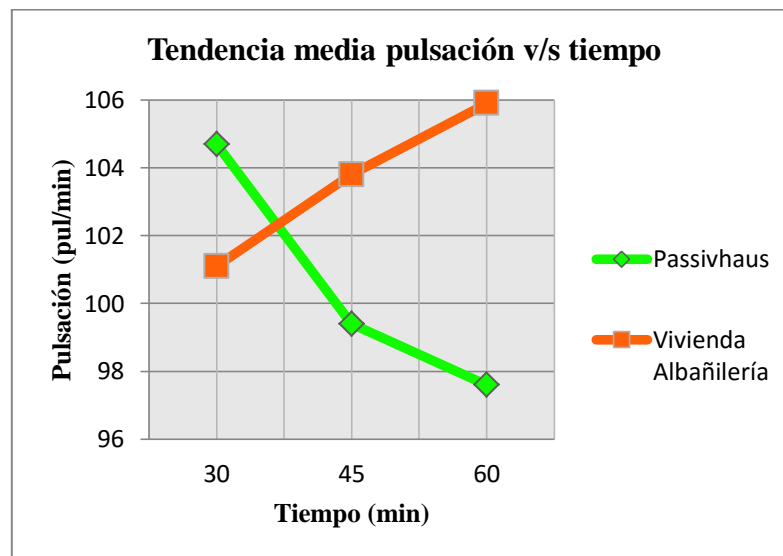


Figura 3.3. Tendencia pulsación

Se comentó que adicionalmente se revisaría la orientación y el tipo de calefacción que tuvieran las viviendas de albañilería estudiadas. La orientación se define observando el diagrama de recomendación, en el que se muestran tres categorías aceptable, buena y desaconsejable. Resultados de orientación, calefacción y diagrama se encuentran en el Anexo C

La clasificación por orientación es a modo informativo, ya que al medir una hora específica del día, no se refleja si existen las ganancias solares deseadas. Pero considerando el periodo de invierno, una vivienda con orientación pobre debería necesitar más horas de calefacción, por las pocas ganancias solares, comparada con una de buena orientación. Lo que implica, mayor emanación de CO<sub>2</sub> al ambiente, aportando a la disminución de la calidad del aire.

Es necesario precisar que la orientación de las viviendas por sí sola no garantiza ganancias de energía. Hay que observar posibles factores externos que afectan la entrada del Sol, como cerros, edificios, entre otros.

En la aplicación del test memoria concentración los resultados se han dividido en tres grupos, los niños que disminuyeron su puntuación, los que la aumentaron y quienes la mantuvieron, desde la primera aplicación. Para apreciar de mejor forma lo que sucede con los test se muestra la Figura 3.4.

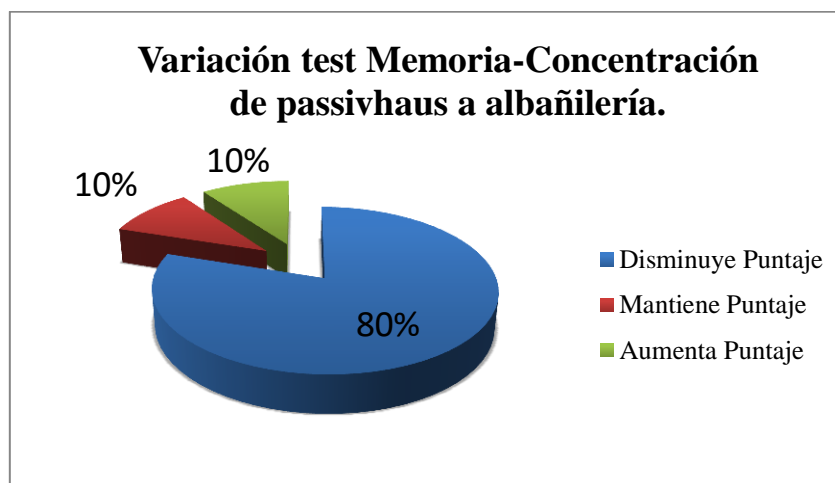


Figura 3.4 Variación test memoria – concentración.

En gran parte de los menores se observó principalmente en tareas de pintado, una forma más errática de hacerlo y no tan prolijo como se vio en la vivienda pasiva. Considerando el nivel de los niños con los que se trabaja. Ejemplos de estas figuras se muestran en el Anexo C. Otra observación importante es que en las viviendas de albañilería aparecieron conductas que en el control anterior no fueron demostradas por los niños, como la frustración, expresada en frases como; no puedo hacerlo, no me resulta, y la dificultad para mantenerse sentados.

La influencia del estrés en la variación de los puntajes de los menores se aprecia en la Figura 3.5



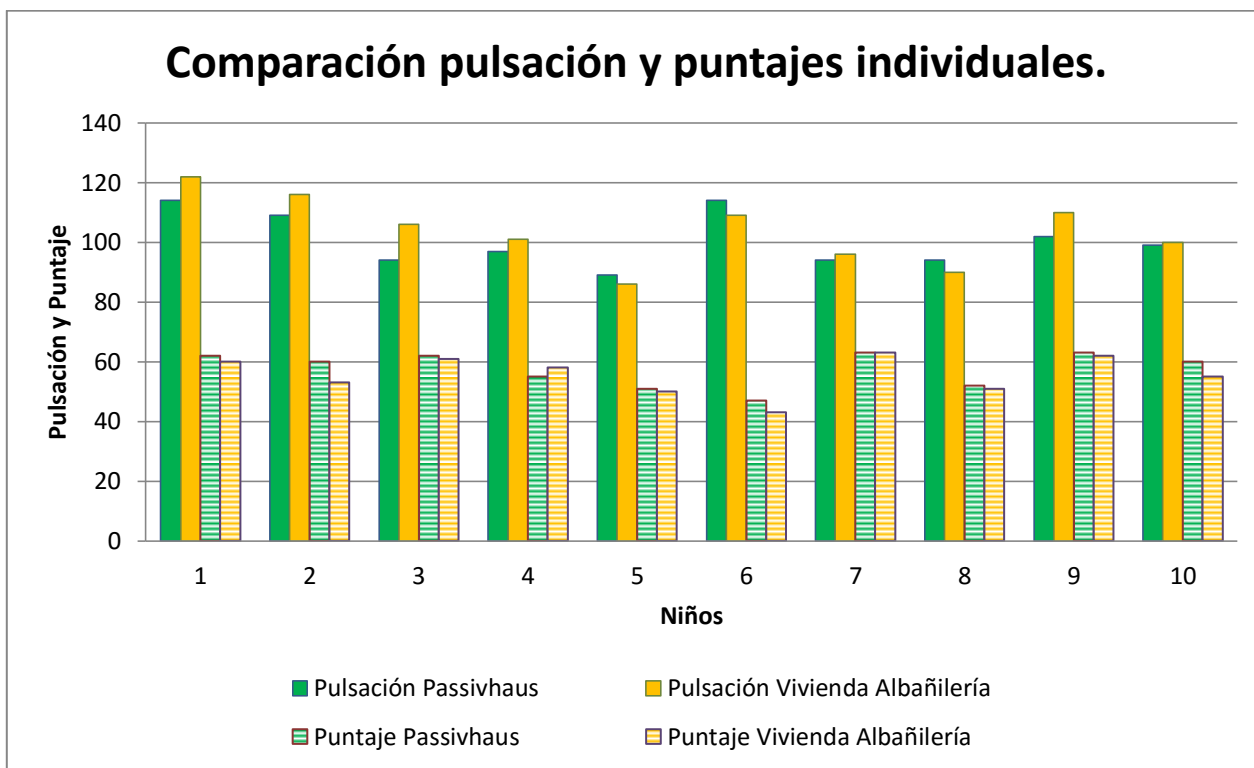


Figura 3.5 Influencia del estrés en los test memoria-concentración.

Se puede estimar que según las medias de las pulsaciones el confort interior de la passivhaus ayuda a la no activación del estrés en los menores. A su vez favorece el desarrollo de los test memoria-concentración registrándose en esta vivienda los puntajes individuales.

Es necesario observar las tendencias individuales de la pulsación ya que aunque en tres casos la media en las viviendas de albañilería es más alta comparada con la passivhaus la tendencia sigue siendo a la baja.

## 7 CONCLUSIONES

La calidad interior de las viviendas de albañilería asociadas a los parámetros en estudio, temperatura, humedad y CO<sub>2</sub> son cuantitativamente menores comparados con los de la passivhaus. Se descubrió menor calidad del aire por aumento de CO<sub>2</sub>. La relación, alta humedad-baja temperatura favorece la aparición de moho y condensación interior, contribuyendo al rápido deterioro de la vivienda y atentando a la salud física y mental de los ocupantes.

El promedio de pulsaciones en ambos tipos de viviendas corresponden a parámetros normales a la edad de los niños que participaron en este estudio. La diferencia se refleja en la tendencia individual a la baja que pudo observarse en la passivhaus. Lo que se traduce en menor estrés a causa de un ambiente confortable.

Con respecto a la evaluación de los test memoria-concentración. La mayoría de los puntajes que obtienen los niños disminuyen en la segunda aplicación, realizada en las viviendas de albañilería. Lo que demuestra que una baja calidad ambiental influye negativamente en el rendimiento de los menores. Además aparecen con mayor frecuencia el sentimiento de frustración y la dificultad de permanecer sentados.

Finalmente, con los resultados obtenidos de los parámetros ambientales en estudio, se puede decir que, puede utilizarse CLT como material y modelo constructivo en establecimientos educacionales para la zona de Concepción y ciudades aledañas ya que tiene ventajas con respecto al confort de espacios interiores y la salud de los ocupantes. Se potencia la rapidez de construcción y el diseño arquitectónico. Y la incorporación del estándar Passivhaus mejora los resultados considerando ahorros energéticos y económicos en conceptos de calefacción y refrigeración.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aprovechamientos madereros y tratamientos para exteriores (Amatex) 2014. <[www.amatex.es](http://www.amatex.es)> Acceso el 18.03.2015.

Carbelo, B. García, M. Mateo, P. Estudio sobre la influencia de la iluminación en el rendimiento escolar. Universidad de Nebrija. España. Revista Luces CEI. Febrero 2012. No 45. pp. 14-17.

Egoín 2012. Construcción en madera. Catálogo materiales y productos EGO-CLT. 2012

Fell, D. 2014. Wood Human Health.

<[www.solutionsforwood.com/docs/reports/Wood\\_Human\\_Health\\_final-single.pdf](http://www.solutionsforwood.com/docs/reports/Wood_Human_Health_final-single.pdf)> Acceso el 25.02.2015

García, J. González, D. García, B. 2006. Batería psicopedagógica. Evalúa 1. Versión 2.0. Edición adaptada para Chile. Instituto de evaluación psicopedagógica EOS.

García, J. González, D. García, B. 2006. Manual. Batería psicopedagógica. Evalúa 1. Versión 2.0. Edición adaptada para Chile. Instituto de evaluación psicopedagógica EOS.

González, P. Saavedra, E. Pérez, E. Burgos, C. Piña, F. Wagner, M. 2014. Sistema constructivo en madera contralaminada para edificios.

Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. (GEEEduc) 2012. Agencia Chilena de Eficiencia Energética.

Hatt, T. 2012 El estándar passivhaus en el centro-Sur de Chile. Un estudio paramétrico multifactorial. Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño. Universidad del Bío-Bío.

Hempel, R. 2013. UBB crea prototipo de vivienda pasiva en madera sólida [26.04.2013] <<http://passivhause-chile.cl/#Publicaciones>> Acceso el 25.02.2015

Hempel, R. Hatt, T. Saelzer, G. Schmidt, D. Wegertseder, P. 2013. El estándar passivhaus en Chile. Universidad del Bío-Bío.

Hernández, R. Fernández, C. Baptista, M. 2010. Metodología de la investigación. Quinta Edición. McGraw-Hill.

Hybrid Build Solutions. 2013 <[http://hybrid\\_build.co/solutions/cht](http://hybrid_build.co/solutions/cht)> Acceso el 16.03.2015

Instituto Forestal (INFOR) 2014. El sector forestal Chileno 2014.

< [http://wef.infor.cl/sector\\_forestal/sectorforestal.php#0](http://wef.infor.cl/sector_forestal/sectorforestal.php#0) > Acceso el 27.06.2015.

Instituto Nacional de Estadística (INE) 2010. Edificación, Informe Anual 2010. Santiago de Chile 2011.

Instituto Promoción Cerámica (IPC). Difusión vapor <[www.ipc.es/home.html](http://www.ipc.es/home.html)> Acceso el 20.03.2015.

Maturana, A. Vargas, A. 2015. El estrés escolar. Revista Médica. Clínica las Condes. Vol. 26. No 1. pp. 34-41.

Medlineplus, 2015. Pulso. [www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003399.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003399.htm). Acceso el 27.06.2015

Mejía, A. Estrés ambiental e impacto de los factores ambientales en la escuela. Revista Pampedia Número 7. Julio 2010-junio 2011. pp. 3-18.

NCh 433 of 1996. Diseño sísmico de edificios.

NCh 853 of 1991. Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

NCh 935 of 1997. Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego. Instituto Nacional de Normalización.

NCh 1198 of 2006. Madera – Construcciones en madera – Cálculo. Instituto Nacional de Normalización.

Nieves, A. Domínguez, F. 2009. Probabilidades y estadística para ingeniería. Un enfoque moderno. McGraw-Hill.

Onset. Hobo data loggers. <[www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com)>. Acceso el 13.07.2015.

Palacios, S. Álvarez, C. Schönffeldt, P. Céspedes, J. Gutiérrez, M. Oyarzún, M. 2010. Guía para la realización de oximetría de pulso en la práctica clínica. Revista chilena de enfermedades respiratorias. Vol. 26. No 1. pp. 49-51.

Passive Hause Institute (PHI) 2015. Requisitos de calidad para casas pasivas <http://passiv.de/en/index.php>. Acceso el 23.07.2015

Passivhaus-Chile 2014. < <http://pasivhaus-chile.cl> > Acceso el 25.02.2015

Stora Enso 2014. CLT de Estora Enso. La madera: el material de construcción más antiguo del mundo es también el más moderno. 2014.

UNE-EN 13779/2007. Ventilación de los edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Unisource Ingeniería. Soluciones de ingeniería e instrumentación para el medio ambiente. <[www.unisource.cl](http://www.unisource.cl)> Acceso el 22.08.2015.

Viotto, U. 2013. El tablero contralaminado. Actualidad de una alternativa para la mediana altura. Master oficial universitario “Tecnología en la arquitectura”, línea de construcción y nuevas tecnologías. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España.

## ANEXOS

### Anexo A: Metodología sugerida para encontrar espesores de distintos materiales.

#### A.1 Resistencia, Conductividad y Transmitancia Térmica.

La Resistencia térmica (R) y la Transmitancia térmica (U) de los materiales son recíprocas una con otra y pueden derivarse de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) y el espesor de los materiales (e).

El valor  $\lambda$  representa el tiempo que emplea el flujo de calor en estado estable al atravesar una unidad de área de un material homogéneo inducido por una unidad de gradiente de temperatura en una dirección perpendicular a esa unidad de área, W/m·K, lo que se resume en la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{q \cdot e}{\Delta T}$$

Ec 1

$\lambda$  conductividad térmica (W/ (m\*K))

e espesor del material (m)

T temperatura (K)

q velocidad del flujo de calor (W/m<sup>2</sup>)

La Resistencia térmica es la diferencia de temperatura, en estado estable, entre dos superficies definidas de un material o construcción que induce una unidad de velocidad de flujo de calor al atravesar una unidad de área, K·m<sup>2</sup>/W. De acuerdo a esta definición y a la Ecuación 1, se puede obtener, por lo tanto, la Ecuación 2

$$R = \frac{\Delta T}{q} = \frac{e}{\lambda}$$

Ec 2

Según lo indicado en la Ecuación 2, el valor de la resistencia térmica puede determinarse dividiendo el espesor por la conductividad térmica del material.

La Transmitancia térmica es el tiempo que emplea el flujo de calor en estado estable al atravesar una unidad de área de un material o construcción inducido por una unidad de diferencia de temperatura entre las superficies del cuerpo, en  $W/m^2 \cdot K$ . El valor  $U$ , por lo tanto, es el recíproco del valor  $R$  y puede ser expresado como Ecuación (3).

$$U = \frac{q}{\Delta T} = \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{e}$$

Ec 3

Consecuentemente, el valor de la transmitancia térmica puede calcularse dividiendo la conductividad térmica con el espesor del material.

Para un cálculo más preciso de transmitancia, se debe obtener el valor de resistencia térmica agregando un gradiente de temperatura  $<1$ , cuyo valor representa una resistencia térmica superficial interior y exterior, de 0,13 y 0,04 respectivamente, así la Ecuación 4 queda:

$$R_T = R_{Si} + R_{material} + R_{Se}$$

Ec 4

Considerando el diseño de un panel de CLT estándar con espesor de 0,09 (m) y una conductividad térmica  $\lambda = 0,11$  se obtiene

$$R_{T(CL T)} = R_{Si} + R_{CL T} + R_{Se}$$

$$R_{T(CL T)} = R_{Si} + \frac{e_{CL T}}{\lambda_{CL T}} + R_{Se}$$

$$R_{T(CL T)} = 0,13 + \frac{0,09}{0,11} + 0,04$$

$$R_{T(CL T)} = 0,988$$

Finalmente, la transmitancia térmica para un CLT de 0,09 m de espesor es:

$$U_{(CLT)} = \frac{1}{R} = 1,012 \left( \frac{W}{m^2K} \right)$$

Cuanto menor sea el valor-U, menor será el paso de energía entre ambas caras, y por tanto mejor la capacidad aislante del elemento constructivo.

Se puede utilizar este valor de Transmitancia para compararlo con las capacidades aislantes de otros materiales constructivos, como por ejemplo, con un bloque de hormigón, hormigón armado, ladrillo hueco (LH), ladrillo perforado (LP) y ladrillo macizo (LM). Los valores de conductividad térmica de estos materiales se obtienen de la NCh 853 y del CTE

**Tabla A.1 Valores conductividad térmica**

Material	Conductividad Térmica (W/m*K)	Fuente
Madera CLT	0,11	Stora Enso
Hormigón	0,34	NCh 853
Hormigón Armado	1,63	NCh 853
Ladrillo Hueco LH	0,32	CTE
Ladrillo Perforado LP	0,35	CTE
Ladrillo Macizo LM	0,85	CTE

Considerando los cálculos anteriores donde un panel de CLT de medida 0,09 (m) tiene una transmitancia de  $1,012 \left( \frac{W}{m^2K} \right)$  y para comparar su eficiencia energética con respecto a los otros materiales ya mencionados se debe utilizar la siguiente relación, mostrada en la Ecuación 5

$$U = \frac{1}{R}$$



Desarrollando la ecuación

$$U_{CLT} = \frac{1}{\left(R_{Si} + \frac{e_{material}}{\lambda_{material}} + R_{Se}\right)} = 1,012$$

$$\frac{1}{\left(0,13 + \frac{e_{material}}{\lambda_{material}} + 0,04\right)} = 1,012$$

$$e_{material} = \lambda_{material} * \left(\frac{1}{1,012} - 0,17\right)$$

$$e_{material} = \lambda_{material} * (0,818)$$

Considerando esta última relación, se obtienen los resultados siguientes:

Material	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/m*K)	$e_{material}$ (m)
Madera CLT	0,11	0,090
Hormigón	0,34	0,278
Hormigón Armado	1,63	1,333
Ladrillo Hueco LH	0,32	0,262
Ladrillo Perforado LP	0,35	0,286
Ladrillo Macizo LM	0,85	0,695

Una diferencia considerable es que para obtener los mismos resultados de aislación de un panel de CLT de 0,09 (m), se debe utilizar 1,3 (m) de hormigón armado, esto es por su alto valor de conductividad térmica cuyo valor es de 1,63 en comparación con los 0,11 del panel de CLT.

## A.2 Propiedad Sismorresistente.

Las imágenes que se muestran a continuación, son el resultado de la aplicación del sismo de Kobe de 1995 de magnitud 7,2 grados en la escala Richter

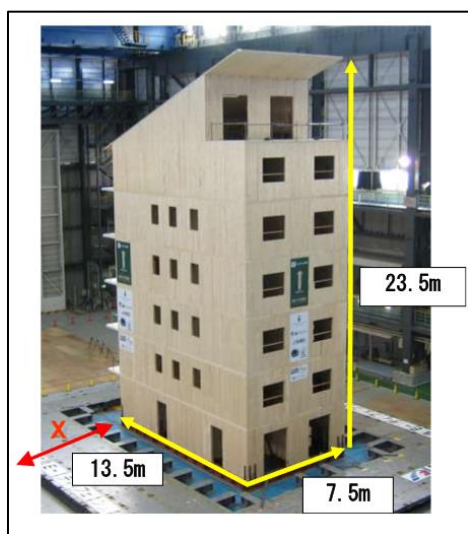


Figura A.2.1 Estructura ensayada sobre mesa vibratoria

Fuente: FPInnovations

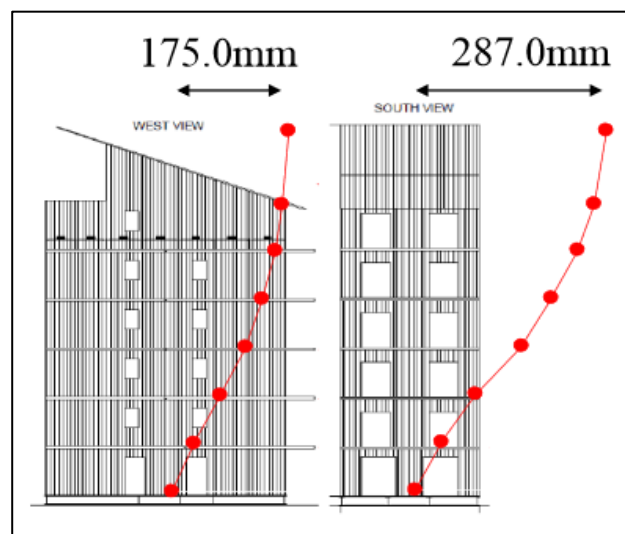


Figura A.2.2 Esquema de resultados obtenidos aplicado el sismo

Fuente: FPInnovations

### A.3 Detalle envoltente vivienda prototipo.

La Figura A.3.1 es el detalle de la envoltente con CLT, donde se puede ver cada uno de los elementos o materiales utilizados y los espesores considerados, para garantizar el confort térmico interior de la vivienda, es de esta manera que finalmente se logran valores de reducción de transmitancia térmica importantes, en pared de  $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  y en cubierta de  $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , cumpliendo con los requisitos señalados para la ciudad de Concepción.

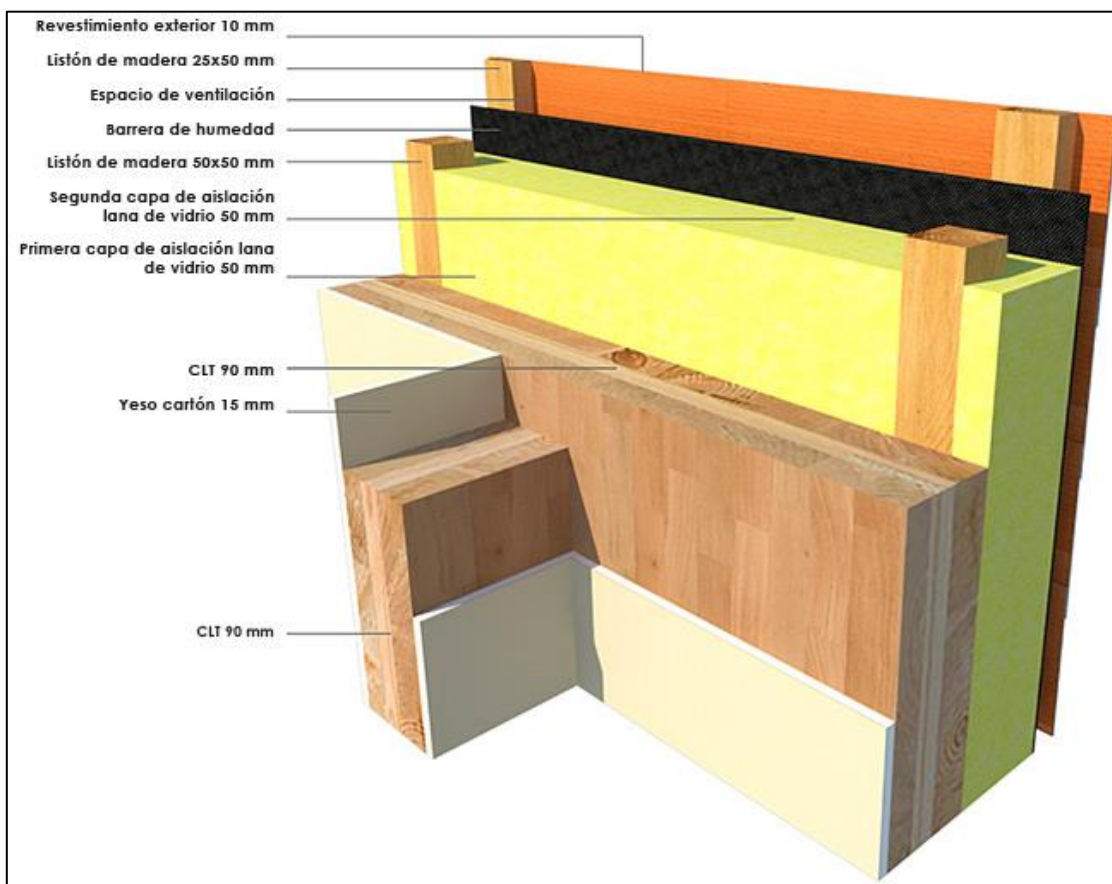


Figura A.3.1 Detalle de la envolvente con CLT  
Fuente; Prototipo FONDEF, Passivhaus Chile.

## **B Anexo B Instrumentación y Recolección de datos.**

### **B.1 Instrumentos de medición para las variables de confort interior en las viviendas**

Los equipos utilizados en esta experiencia para la medición de las variables de confort interior son dos, el primero, un registrador de datos HOBO, marca Onset el cual mide la temperatura y humedad relativa.

La tabla B.1.1 muestra los rangos de medición y precisión del equipo y La Figura B.1.1 muestra el equipo.

**Tabla B.1.1 Rangos de medición y precisión del HOBO**

	Rango de medición	Precisión
Temperatura	-20° a 70° C	± 0,35° C de 0° a 50°C
Humedad Relativa	5% a 95% RH	±2,5% de 10% a 90% RH

Fuente: [www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com)



**Figura B.1.1 Registrador de datos HOBO, Onset**

El segundo equipo es un sensor CO<sub>2</sub>, marca Unisource el cual necesita estar conectado simultáneamente a la corriente de 220 Volt y al HOBO por el canal externo superior, su rango de medición es de 0 a 5000 ppm con una precisión de ±30 ppm ([www.unisource.cl](http://www.unisource.cl)). La Figura B.1.2 es la representación del equipo utilizado.



**Figura B.1.2 Sensor CO<sub>2</sub> Unisource**

## **B.2 Instrumentos para la medición de los niños**

El primer instrumento es un Oxímetro de pulso, marca Heal Force, rango de medición 30 a 240 lpm (latidos por minutos), con una precisión de  $\pm 2$  lpm. La Figura B.2.1 muestra el oxímetro de pulso utilizado.



**Figura B.2.1 Oxímetro de pulso. Heal Force**

El segundo instrumento son las pruebas estandarizadas adaptadas para Chile de la batería psicopedagógica evalúa 1, del Instituto de Orientación Psicopedagógica EOS. Las Figuras B.2.3 y B.2.4 constituyen la primera parte del test, que tienen un puntaje máximo de 45 puntos, la segunda parte consiste en replicar un rompecabezas, con una muestra dispuesta para ello, lo que

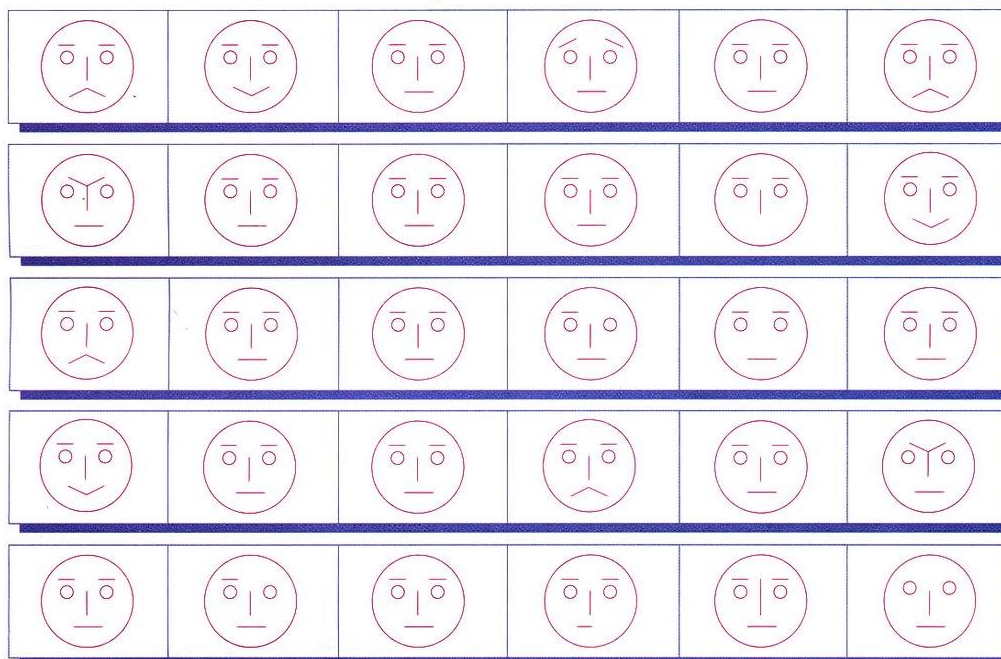
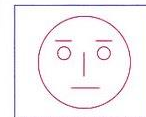
tiene una valoración de 23 puntos, si logran completarlo. La Figura B.2.5 muestra los rompecabezas a elegir por los menores.

# MEMORIA-ATENCIÓN

NIVEL		PRUEBA	
0	1	0	2

**INSTRUCCIONES:** En esta prueba debes estar muy atento/a y realizar las tareas que yo te vaya diciendo. En cada caso explico la tarea, luego diré: **COMENZAR** y trascurrido el tiempo diré: **TIEMPO**. En ese momento ya no se escribe más en esa tarea y pasaremos a la siguiente.

**1.ª TAREA:** Durante **DOS MINUTOS** debes marcar con una cruz (X) los dibujos que sean **DIFERENTES** a este **MODELO**.



✓ Ahora observa con atención el dibujo que viene a continuación, que como puedes ver se trata de un dibujo en el que hay objetos, animales y personas. Pinta con un color las cosas, con otro las personas y con otro los animales. Tienes **CINCO MINUTOS** para pintar. Cuando termine el tiempo yo diré **TIEMPO** y pasaremos a la página siguiente.



Figura B.2.3 Tarea 1 primera parte

**Recuerda que mientras realices la 2ª tarea, no debes dar vuelta la hoja.**

**2.ª TAREA:** Ahora, durante DOS MINUTOS, deberás marcar los números de los dibujos de los objetos, animales y personas que estaban en el dibujo anterior.

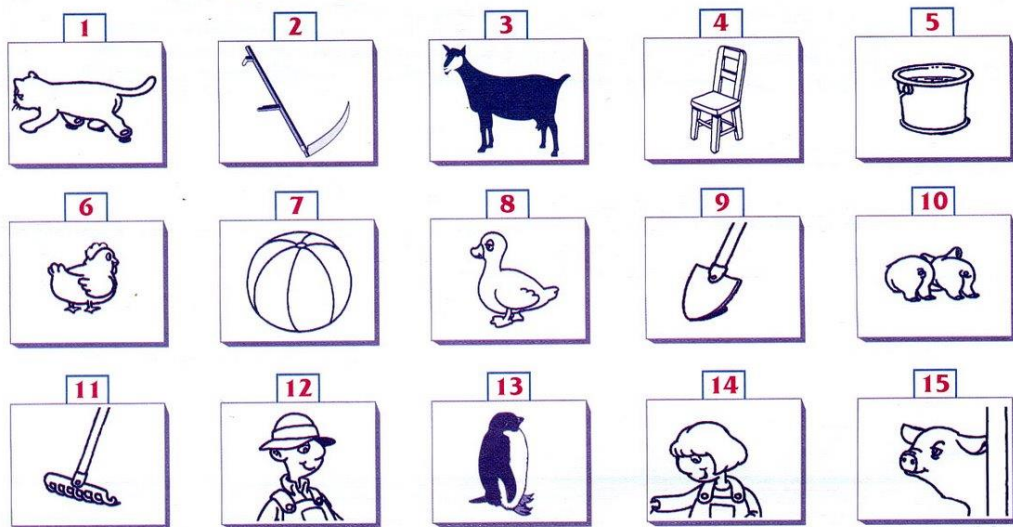


Figura B.2.4 Tarea 2 primera parte





Figura B.2.5 Rompecabezas segunda parte.

La corrección de los test es obtenida del Manual de la Batería Psicopedagógica Evalúa 1.

La tarea uno y dos que conforman la primera parte se evalúan mediante la Ecuación 1, donde se concede un punto por acierto, restándole los errores y omisiones, no pudiendo ser el sumatorio menor de cero.

$$PD_{MA} = \sum A - (E + O)$$

Ec 1

A: acierto

E: errores

O: omisiones

Se suman las puntuaciones parciales obtenidas en las distintas tareas, pudiendo obtenerse una puntuación directa total entre 0 y 68 según la Ecuación 2.

$$PD_{MA} = PD_1 + PD_2 + PD_3$$

Ec 2

La corrección de los diferentes ítems se realizará teniendo en cuenta las siguientes repuestas válidas. Según lo señalado en la figura B.2.4

Tarea 1 parte 1

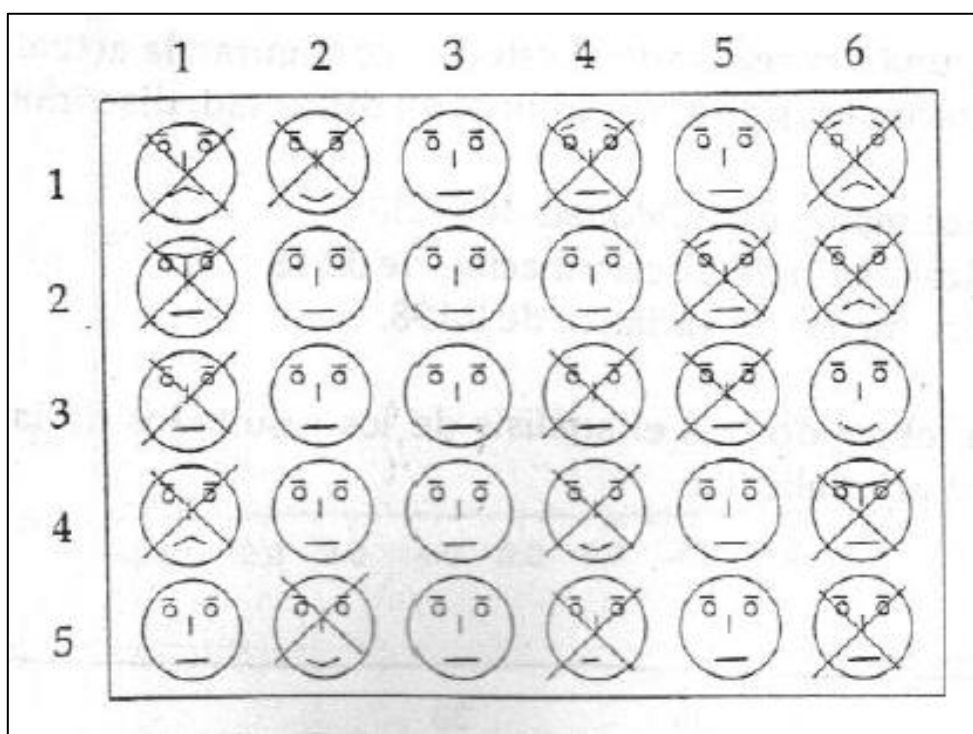


Figura B.2.4 Respuestas válidas tarea 1

La Tabla B.2.1 muestra las respuestas válidas para la tarea 2 de la primera parte.

Tabla B.2.1. Respuestas válidas tarea 2.

Ejercicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resp/Ítem	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1

### **B.3 Recolección de Datos**

#### *B.3.1 Procedimiento recolección datos de la vivienda.*

Con los equipos descritos en el punto B.1 para la recolección de datos en las viviendas hay que efectuar el siguiente procedimiento

- a) Conectar con un máximo de 30 minutos en algún toma corriente el equipo para la estabilización de este.
- b) Ubicar los equipos en una zona protegida a la radiación directa del sol, a una altura promedio de 60 cm. que es la altura de la cabeza de los niños, trabajando sentados desde el nivel del piso, y a una distancia aproximada de 1 m. de la zona de trabajo.

Los equipos fueron previamente programados para tomar datos cada 15 minutos

Los datos son recuperados por el especialista del CITECUBB y entregados en una plantilla Excel para su posterior análisis

#### *B.3.2 Recolección de datos procedentes de los niños*

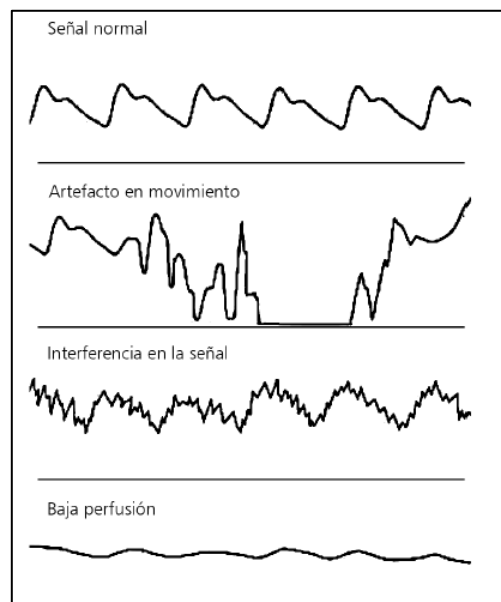
El procedimiento para obtener los datos de los niños, no es complejo, pero sí cuidadoso por el hecho de tratarse de personas y más aún de menores. Se realiza el siguiente trabajo previo.

- a) Se solicita a los menores que se dirijan al baño, si es que tienen necesidad de orinar o defecar, de esta forma se evitan interrupciones posteriores en el desarrollo de las actividades.
- b) Se les explica las cuatro actividades que se desarrollarán en la sesión de trabajo, pero no se les informa cuáles son las que finalmente se evaluarán.
- c) Se les explica el procedimiento de toma de pulso de acuerdo a su edad y principalmente que no es doloroso.

Para tomar el pulso de los menores se debe seguir los siguientes pasos

- a) Probar el funcionamiento del equipo, realizando una medición en uno mismo
- b) Colocar el sensor en un dedo de la mano, habitualmente en el índice, no debe utilizarse el pulgar, pues este tiene pulsación propia.

- c) Se debe asegurar que no exista esmalte de uñas, ni otro elemento que pueda interferir como cremas, pinturas tinturas, etc.
- d) Siempre colocar el fotodiodo (luz roja) hacia el lecho ungueal.
- e) Evitar artefactos de movimientos tratando que la persona esté lo más tranquila posible durante la medición, ya sea en posición sentada o decúbito.
- f) Una vez colocado el sensor, se debe evaluar en la pantalla del equipo la estabilidad de la curva pletismográfica o de la señal luminosa verificando que ésta sea constante en intensidad y en ritmo. Ver Figura 3.1



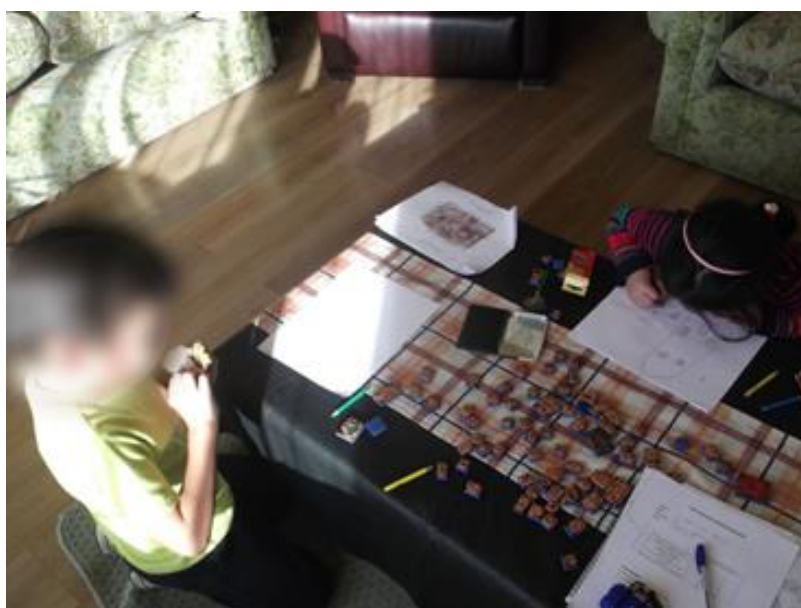
**Figura 3.1. Patrones de curva pletismográfica de la señal de oximetría.**

Este procedimiento se repite al inicio y termino de las actividades evaluadas.

Finalmente las actividades que se desarrollan son cuatro dos de entretenimiento en la primera media hora que básicamente es realizar transferencias en papel con la ayuda de moldes y crayones e impresión de figuras con tampones y tintas. Y las otras dos son las actividades evaluadas que se presentaron en el punto B.2

#### **B.4 Ejemplos de sesiones en las viviendas.**

Las imágenes que se presentan a continuación representan las actividades realizadas en las viviendas las Figuras B.4.1 y B.4.2 en la vivienda pasiva y las Figuras B.4.3 y B.4.4 en las viviendas de albañilería respectivamente.



**Figura B.4.1 Actividad en vivienda pasiva**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B.4.2 Actividad en vivienda pasiva**  
Fuente: Elaboración propia

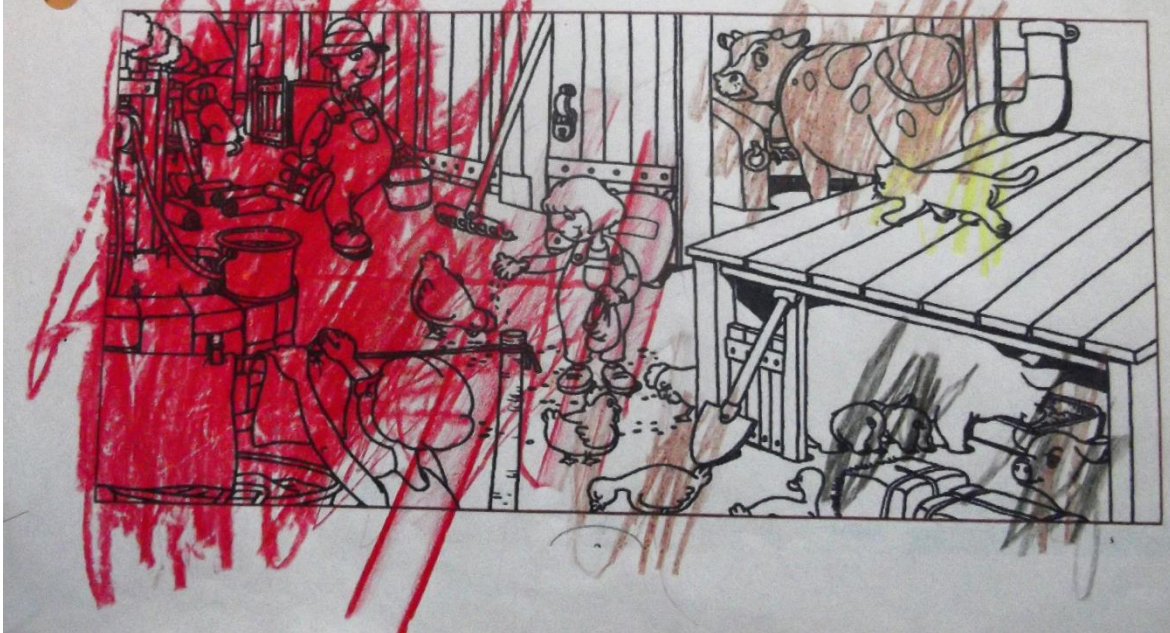


**Figura B.4.3** Actividad en vivienda albañilería  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura B.4.1** Actividad en vivienda albañilería  
**Fuente:** Elaboración propia

✓ Ahora observa con atención el dibujo que viene a continuación, que como puedes ver se trata de un dibujo en el que hay objetos, animales y personas. Pinta con un color las cosas, con otro las personas y con otro los animales. Tienes CINCO MINUTOS para pintar. Cuando termine el tiempo yo diré TIEMPO y pasaremos a la página siguiente.



**Anexo C: Tablas y parámetros adicionales.**

**C.1 Variables medidas por niño.**

Los datos que se presentan a continuación son los resultados de las observaciones de las cuatro variables en estudio separadas por tipo de vivienda y ordenadas en las Tablas C.1.1 a la C.1.10 para cada niño que realizó la experiencia

**Tabla C.1.1 Datos niño 1**

Niño N° 1	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	24,61	50,48	593,40		20,02	73,29	976,34	
2	24,65	50,32	589,74		22	66,46	726,12	
3	24,73	50,05	593,40	120	22,12	66,53	730,86	118
4	24,77	49,58	589,74	112	22,41	64,92	774,22	122
5	24,73	49,44	611,72	111	22,35	65,60	862,56	126
<b>Media</b>	<b>24,70</b>	<b>49,97</b>	<b>595,60</b>	<b>114</b>	<b>21,78</b>	<b>67,36</b>	<b>814,02</b>	<b>122</b>

**Tabla C.1.2 Datos niño 2**

Niño N° 2	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	24,61	50,48	593,40		20,39	67,59	608,06	
2	24,65	50,32	589,74		20,70	67,54	620,26	
3	24,73	50,05	593,40	111	20,91	67,46	631,26	115
4	24,77	49,58	589,74	109	21,01	67,35	643,46	115
5	24,73	49,44	611,72	107	21,06	67,27	654,46	117
<b>Media</b>	<b>24,70</b>	<b>49,97</b>	<b>595,60</b>	<b>109</b>	<b>20,81</b>	<b>67,44</b>	<b>631,5</b>	<b>116</b>



**Tabla C.1.3 Datos niño 3**

Niño N° 3	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	23,50	47,85	472,52		19,98	73,24	1063,5	
2	23,57	48,27	570,20		19,94	73,03	1063,5	
3	23,64	48,63	630,04	98	19,96	72,77	1083,02	105
4	23,62	48,50	630,04	93	20,03	72,21	1043,96	106
5	23,59	48,53	630,04	90	20,15	71,70	1024,42	108
<b>Media</b>	<b>23,58</b>	<b>48,36</b>	<b>586,57</b>	<b>94</b>	<b>20,01</b>	<b>72,59</b>	<b>1055,68</b>	<b>106</b>

**Tabla C.1.4. Datos niño 4**

Niño N° 4	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	23,50	47,85	472,52		19,98	73,24	1063,50	
2	23,57	48,27	570,20		19,94	73,03	1063,50	
3	23,64	48,63	630,04	101	19,96	72,77	1083,02	100
4	23,62	48,50	630,04	97	20,03	72,21	1043,96	98
5	23,59	48,53	630,04	93	20,15	71,70	1024,42	106
<b>Media</b>	<b>23,58</b>	<b>48,36</b>	<b>586,57</b>	<b>97</b>	<b>20,01</b>	<b>72,59</b>	<b>1055,68</b>	<b>101</b>

**Tabla C.1.5 Datos niño 5**

Niño N° 5	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	23,50	47,85	472,52		19,98	73,24	1063,5	
2	23,57	48,27	570,20		19,94	73,03	1063,5	
3	23,64	48,63	630,04	97	19,96	72,77	1083,02	81
4	23,62	48,50	630,04	90	20,03	72,21	1043,96	94
5	23,59	48,53	630,04	80	20,15	71,70	1024,42	84
<b>Media</b>	<b>23,58</b>	<b>48,36</b>	<b>586,57</b>	<b>89</b>	<b>20,01</b>	<b>72,59</b>	<b>1055,68</b>	<b>86</b>

**Tabla C.1.6. Datos niño 6**

Niño N° 6	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	23,06	62,07	727,72		21,75	67,68	1395,60	
2	22,94	62,63	747,26		21,99	66,80	1434,68	
3	22,99	62,75	766,78	118	22,15	66,41	1473,74	107
4	23,09	62,56	787,54	107	22,30	65,92	1493,28	106
5	23,09	62,47	805,86	116	22,42	65,58	1532,36	114
<b>Media</b>	<b>23,04</b>	<b>62,49</b>	<b>767,03</b>	<b>114</b>	<b>22,12</b>	<b>66,48</b>	<b>1465,93</b>	<b>109</b>

**Tabla C.1.7 Datos niño 7**

Niño N° 7	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	23,06	62,07	727,72		20,02	73,29	976,34	
2	22,94	62,63	747,26		22,00	66,46	726,12	
3	22,99	62,75	766,78	99	22,12	66,53	730,86	93
4	23,09	62,56	787,54	92	22,41	64,92	774,22	96
5	23,09	62,47	805,86	92	22,35	65,60	862,56	98
<b>Media</b>	<b>23,04</b>	<b>62,49</b>	<b>767,03</b>	<b>94</b>	<b>21,78</b>	<b>67,36</b>	<b>814,02</b>	<b>96</b>

**Tabla C.1.8 Datos niño 8**

Niño N° 8	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	22,68	60,39	609,28		20,06	74,41	753,36	
2	22,80	60,74	727,72		20,20	73,72	755,8	
3	22,85	60,87	786,32	96	20,27	73,15	758,24	85
4	22,87	61,03	826,62	94	20,32	72,58	759,46	89
5	23,21	60,04	114,78	91	20,29	72,05	760,68	95
<b>Media</b>	<b>22,88</b>	<b>60,62</b>	<b>612,94</b>	<b>94</b>	<b>20,23</b>	<b>73,18</b>	<b>757,51</b>	<b>90</b>

**Tabla C.1.9 Datos niño 9**

Niño N° 9	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	22,68	60,39	609,28		20,06	74,41	753,36	
2	22,80	60,74	727,72		20,20	73,72	755,80	
3	22,85	60,87	786,32	106	20,27	73,15	758,24	109
4	22,87	61,03	826,62	101	20,32	72,58	759,46	109
5	23,21	60,04	114,78	100	20,29	72,05	760,68	111
<b>Media</b>	<b>22,88</b>	<b>60,62</b>	<b>612,94</b>	<b>102</b>	<b>20,23</b>	<b>73,18</b>	<b>757,51</b>	<b>110</b>

**Tabla C.1.10 Datos niño 10**

Niño N° 10	Passivhaus				Vivienda Albañilería			
Numero de datos efectivos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Pulsaciones (lpm)
1	22,68	60,39	609,28		19,63	70,18	711,84	
2	22,80	60,74	727,72		19,58	70,37	750,92	
3	22,85	60,87	786,32	101	19,48	70,62	789,98	98
4	22,87	61,03	826,62	99	19,39	70,72	810,74	103
5	23,21	60,04	114,78	96	19,32	70,70	848,60	100
<b>Media</b>	<b>22,88</b>	<b>60,62</b>	<b>612,94</b>	<b>99</b>	<b>19,48</b>	<b>70,52</b>	<b>782,42</b>	<b>100</b>

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el test memoria concentración para cada niño, en los dos tipos de vivienda. Tabla C.1.11

**Tabla C.1.11 Resultados test memoria concentración.**

Niños	Vivienda Pasiva	Vivienda Albañilería
1	62	60
2	60	53
3	62	61
4	55	58
5	51	50
6	47	43
7	63	63
8	52	51
9	63	62
10	60	55

**C.2 Valores de r para correlación lineal entre dos variables.**

La tabla C.2.1 muestra los valores de r, para poder clasificar los obtenidos de pares de variables tanto de la vivienda pasiva como de la de albañilería.

**Tabla C.2.1 Correlación lineal entre dos variables**

Valores de r	Tipo y grado de correlación
-1	Negativa perfecta
$-1 < r \leq -0,8$	Negativa fuerte
$-0,8 < r \leq -0,5$	Negativa moderada
$-0,5 \leq r < 0$	Negativa débil
0	No existe
$0 < r \leq 0,5$	Positiva débil
$0,5 < r < 0,8$	Positiva moderada
$0,8 < r < 1$	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

**Fuente: McGraw Hill Interamericana, 2009.**

Las posibles combinaciones de variables con sus respectivas correlaciones se ordenan en la tabla C.2.2. Hablamos de consistencia en los pares temperatura – humedad y temperatura – pulsación, porque ambos tienen el mismo tipo de correlación en los dos tipos de vivienda.

**Tabla C.2.2 Correlación entre pares de variables**

Par de variables	Vivienda Pasiva	Vivienda Albañilería
	Correlación	Correlación
<b>T – H</b>	<b>-0,7447892</b>	<b>-0,8389763</b>
T - CO2	-0,4145542	0,274978424
<b>T – Pul</b>	<b>0,456864</b>	<b>0,425019718</b>
H - CO2	0,6994477	-0,10851055
H – Pul	0,0882544	-0,51674114
CO2 - Pul	0,2170599	-0,08965512

**C.3 Comparación de las variables por tipo de vivienda respecto al tiempo.**

En este anexo se comparan las variables, según el tiempo de registro de los datos, tomando los valores medios por cada sesión.

Cuando se revisó la pulsación media de los niños, comparándola por tipo de vivienda, se notó un pequeño descenso de ellas, en la vivienda pasiva pero si se realiza esta comparación, según los tiempos de registro es posible notar que al cambiar la actividad la tendencia es más notoria. Esta situación queda graficada en la Figura C.3.1

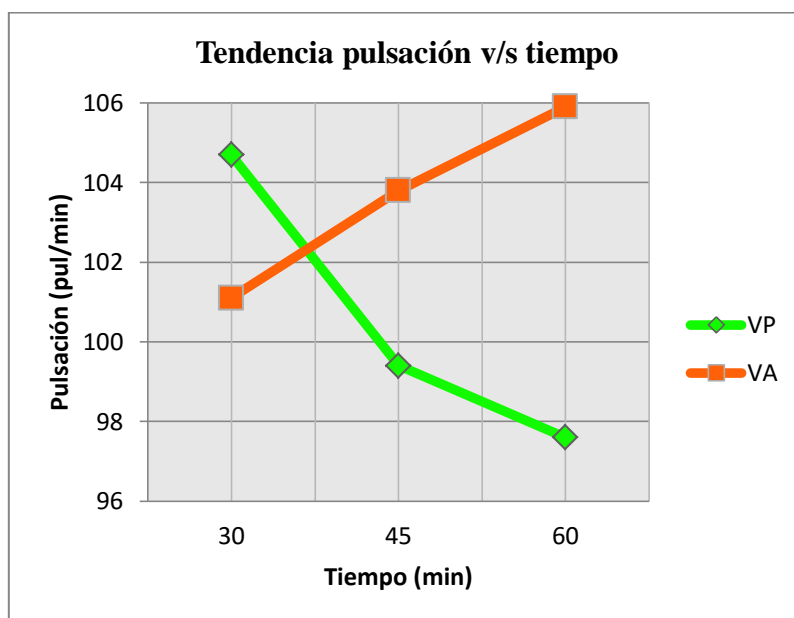


Figura C.3.1 Tendencia Pulsación

En el caso de la temperatura la Figura C.3.2 muestra el comportamiento constante que se logra en la vivienda pasiva, mientras que en las viviendas de albañilería en el transcurso del tiempo esta sufre pequeños aumentos.

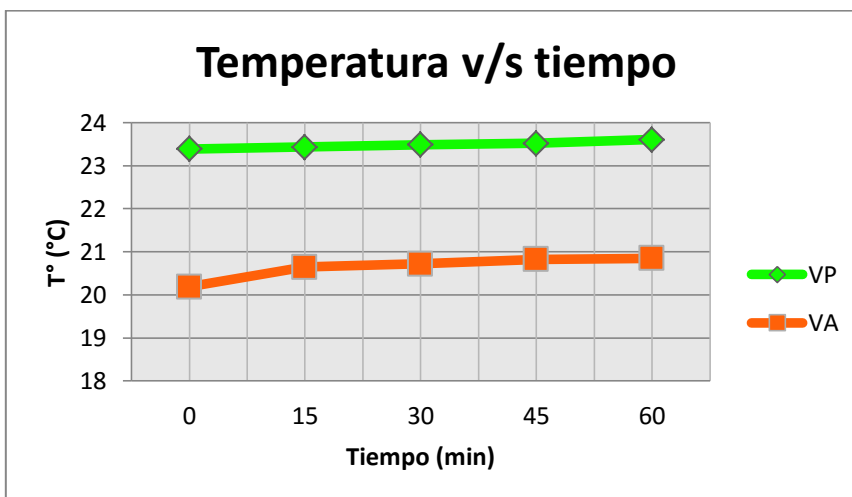


Figura C.3.2 Tendencia temperatura

Al realizar el mismo análisis con la variable humedad se aprecia que en la vivienda pasiva esta también se mantiene en un nivel constante, bordeando el 54%, mientras que en las viviendas de albañilería sufre un descenso, fenómeno lógico si la relación temperatura humedad es inversa.

Figura C.3.3 Tendencia humedad

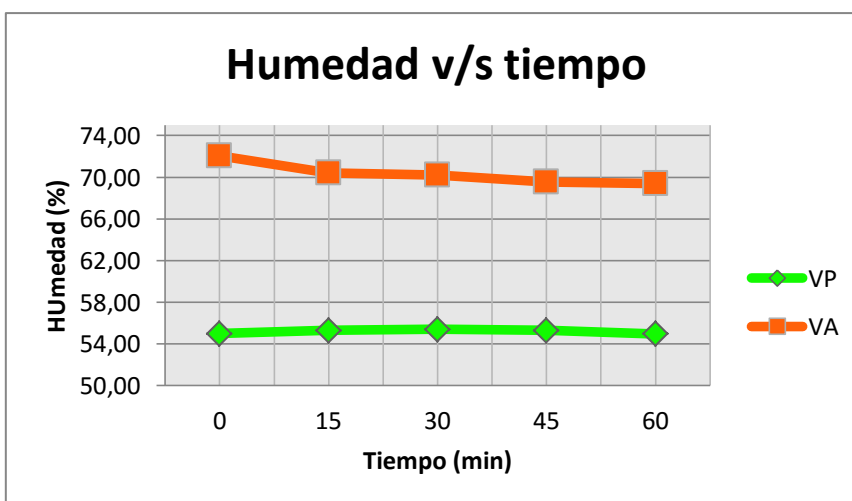


Figura C.3.3 Tendencia humedad

Por último el registro de CO<sub>2</sub> es bastante alto en las viviendas de albañilería, pero se observa un brusco descenso en la pasiva, esto es producto a un recambio inesperado en el último cuarto, por posible manipulación del sistema de aire. Figura C.3.4

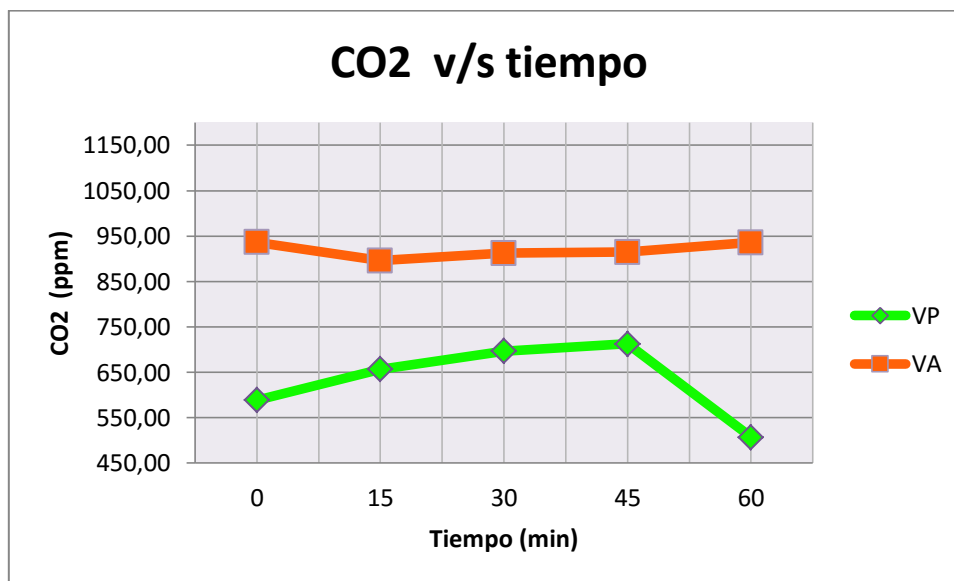
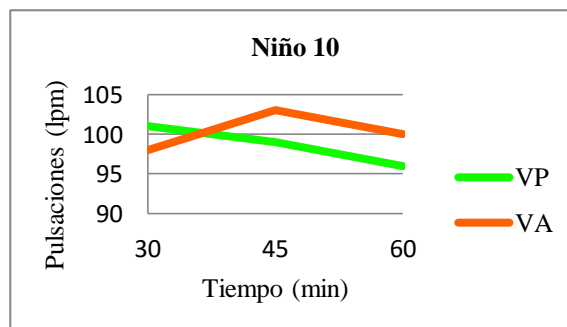
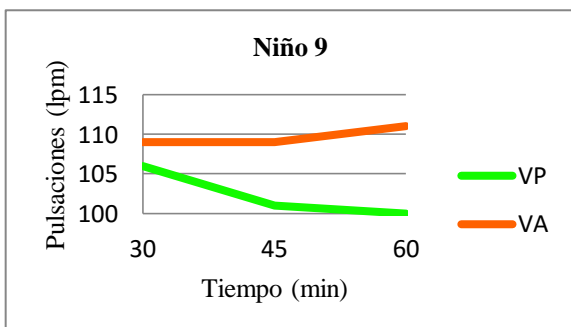
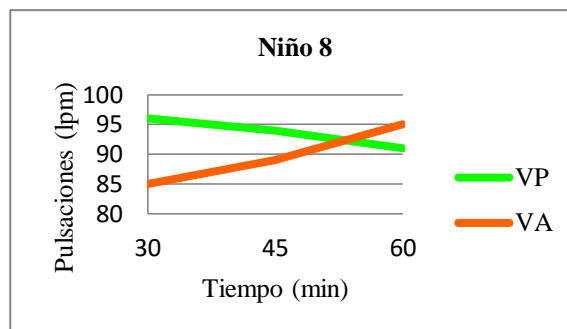
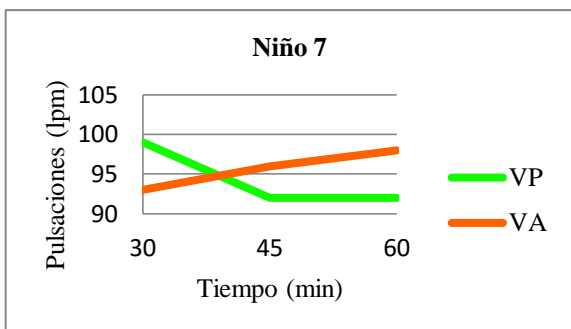
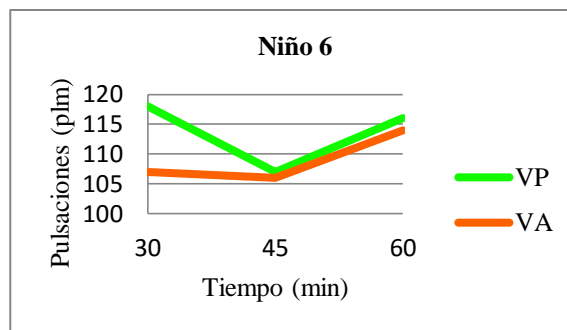
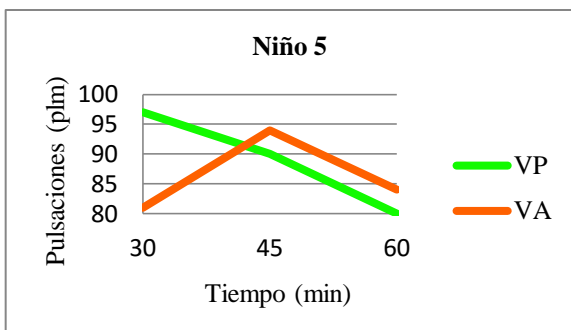
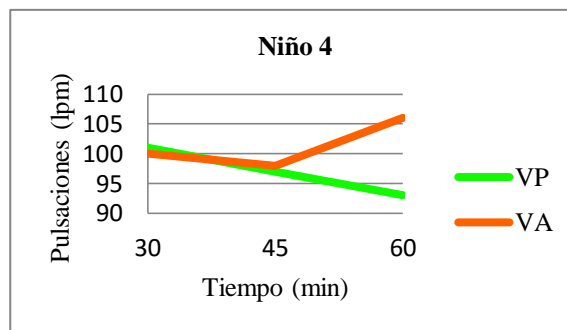
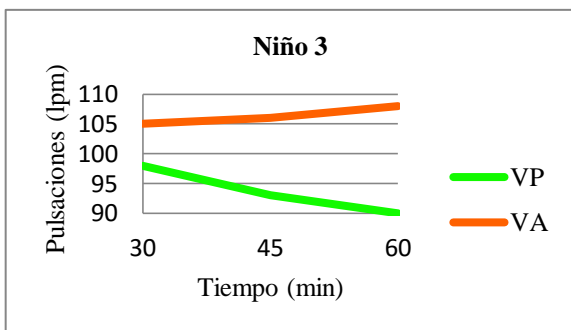
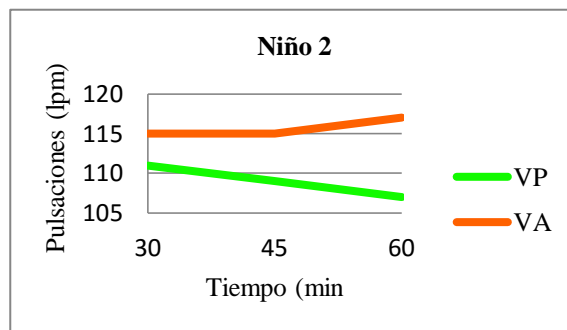
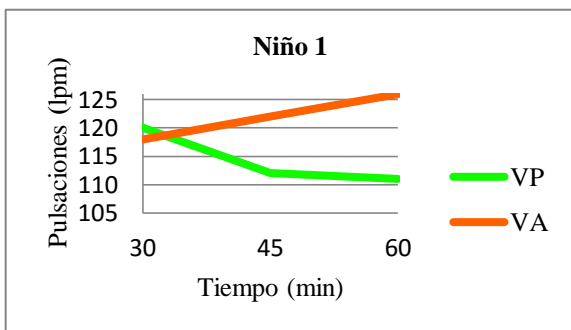


Figura C.3.4 Tendencia dióxido de carbono.

### C.3.1 Tendencia individual pulsaciones de los menores

Al analizar las gráficas de las tendencias de las pulsaciones individuales de los niños estas tienen un patrón característico; (altas pulsaciones al comienzo de las mediciones, disminuyendo en el transcurso del tiempo para la vivienda pasiva y altas pulsaciones en las viviendas de albañilería aumentando en los siguientes registros), a excepción de algunas que constituyen un 30% de la muestra, las que pueden apreciarse en las gráficas siguientes.





#### C.4 Categorización calidad aire interior.

La clasificación del CO<sub>2</sub> está establecida para los recintos ocupados, donde no está permitido fumar y la concentración está causada principalmente por el metabolismo humano según la norma UNE-EN 13779/2007 y definidos en la tabla C.4.1

**Tabla C.4.1 Categoría calidad interior.**

Categoría calidad del aire interior	Niveles de CO <sub>2</sub> sobre el nivel del aire interior en ppm	
	Intervalo típico	Valor por defecto
alta	≤ 400	350
media	400 - 600	5000
moderada	600 - 1000	800
baja	> 1000	1200

#### C.5 Clasificación orientación de las viviendas.

La orientación de los edificios se considera, para aprovechar al máximo la energía solar y disminuir la demanda energética.

Por la ubicación geográfica de Chile, la mejor ubicación es orientar hacia el norte una mayor cantidad de superficie vidriada, en relación a la superficie ubicada al sur. Esta estrategia puede aplicarse en todo el país, siendo más flexible hacia el norte de la Zona Norte Litoral y la región austral, donde la orientación de las ventanas se prefiere oeste – este.

El diagrama de recomendación de orientación se muestra en la Figura C.5.1 y la orientación de las viviendas se obtuvo mediante la visualización aérea de cada una de ellas con el programa Google Earth. La tabla C.5.1 resume cada una de las orientaciones y su clasificación mediante la utilización del diagrama dispuesto para ello.

**Tabla C.5.1 Orientación y clasificación de las viviendas**

Vivienda	Orientación	Calificación
1	87,45 NO	Pobre
2	9,12 NO	Buena
3	79,67 NO	Pobre
4	0,14 NE	Buena
5	20,19 SE	Buena
6	26,8 NO	Aceptable
Passivhaus	4,42 NO	Buena

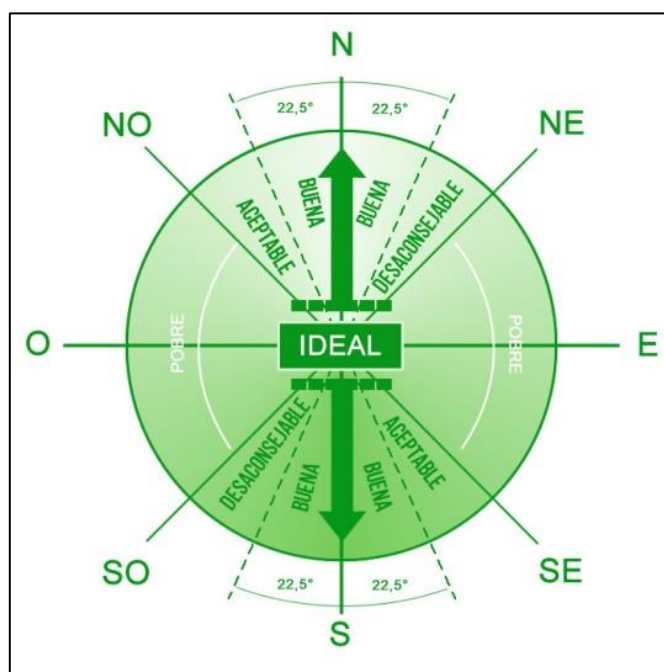


Figura C.5.1 Diagrama de recomendación de orientación.  
Fuente: El estándar passivhaus en Chile.

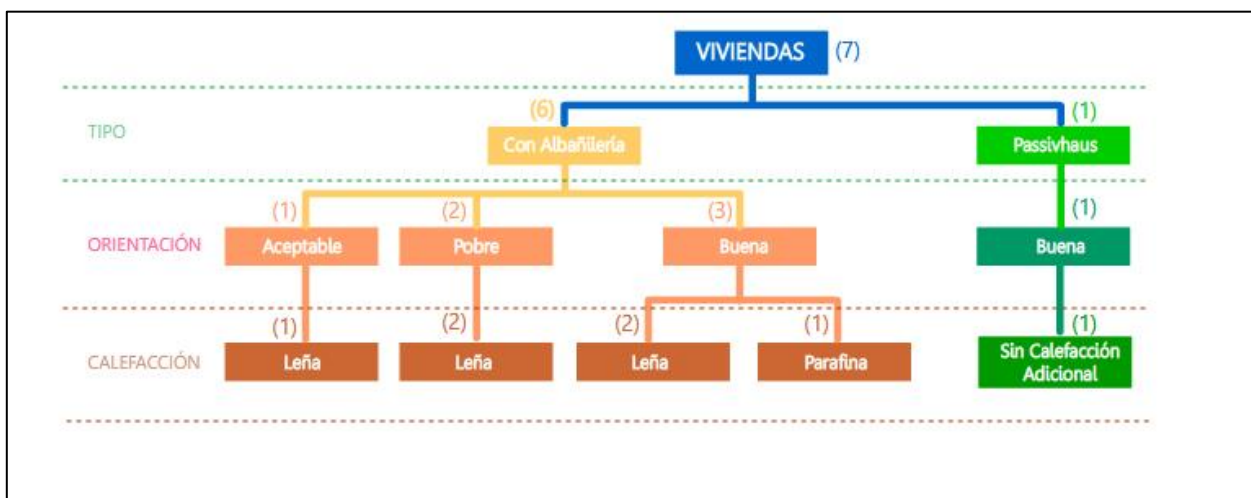


Figura C.5.2 Resumen Información orientación y tipo de calefacción  
 Fuente: Elaboración propia.