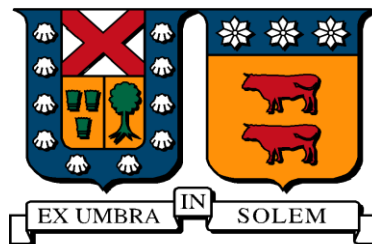


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Mecánica

VALPARAÍSO - CHILE



## Análisis Comparativo entre la Modelación y Medición de la Calidad Térmica de Viviendas Sociales

Francisco Antonio Carrasco Serrano

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN ENERGÍA

Profesor Guía: Mg. Ing. Jaime Espinoza Silva  
Profesor Correferente: Dra. Arq. Nina Hormazábal Poblete

Noviembre 2016

# Resumen

En el presente trabajo se evaluó el confort térmico en viviendas de interés social en Valparaíso. Para esto se eligieron cuatro casos a estudiar, uno con buena aislación, dos frecuentes según catálogo MINVU y uno con mala aislación. Para evaluar el confort térmico se utilizó el software Designbuilder y se calibró con un caso de estudio. Este fue la Casa FENIX en Valparaíso, donde se compararon las mediciones de temperatura realizadas en su interior con los datos modelados por el software y así corregir, obteniéndose un valor máximo de error del 7% para los promedios mensuales de temperatura interior.

Posteriormente se modelaron los casos seleccionados y se analizaron los datos obtenidos tanto sin como con calefacción interior. También se analizó la mejora propuesta de agregar planchas de poliestireno de 5 [cm] de espesor expandido como aislante en techo, pared y suelo. Las mejoras se evaluaron relacionando la inversión realizada en la aislación con la disminución del costo en calefacción, concluyéndose que generalmente (pero no solo) con mejor aislación, se tienen menores costos en calefacción, por lo que a largo plazo es más conveniente invertir en aislación, además de aportar al confort térmico, ayuda a reducir la contaminación atmosférica y reducir riesgos de incendio.

# Abstract

In this paper was studied thermal comfort in social housing in Valparaíso, for this four representative cases were chosen, a good one, two average following a MINVU catalog, and a bad one. To evaluate this, the software Designbuilder was used, which was calibrated with a study case. This study case was FENIX House in Valparaíso, where inner temperature measurements were used to compare with modelled data, obtaining a maximal error of 7% for monthly average of inner temperatures.

Following this, the selected cases were modelled and analyzed with and without interior heating. It was also analyzed the improvement proposal of adding standard expanded polystyrene plate 5 [cm] thick as insulation for the roof, walls and floor. This improvements were evaluated comparing the investment made with the reduction of heating costs, concluding that generally (but not only) with better insulation, heating costs are reduced, thus been more convenient on long term and contributing to thermal comfort, helping reduce atmospheric pollution and reducing burning risks.

# Índice

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen.....                                                       | 1  |
| Abstract.....                                                      | 2  |
| Índice.....                                                        | 3  |
| Índice de Figuras.....                                             | 4  |
| 1.- Introducción.....                                              | 5  |
| 2.- Objetivos.....                                                 | 7  |
| 3.- Marco teórico.....                                             | 8  |
| 3.1 Clima en Chile.....                                            | 8  |
| 3.2 Vivienda de interés social.....                                | 9  |
| 3.3 Conceptos físicos.....                                         | 12 |
| 3.4 Confort térmico.....                                           | 13 |
| 4.- Metodología.....                                               | 15 |
| 5.- Validación del modelo.....                                     | 16 |
| 5.1 Descripción del software.....                                  | 16 |
| 5.2 Descripción de caso de estudio Casa FENIX Huerta Carvajal..... | 21 |
| 5.3 Sistema de medición Casa FENIX.....                            | 23 |
| 5.4 Resultados de modelación.....                                  | 25 |
| 5.5 Conclusiones de la modelación con software.....                | 30 |
| 6.- Simulaciones.....                                              | 31 |
| 6.1 Definición de modelo base.....                                 | 31 |
| 6.2 Resultados de modelación original.....                         | 34 |
| 6.3 Resultado de modelación con mejoras.....                       | 41 |
| 7.- Análisis.....                                                  | 44 |
| 7.1 Norma.....                                                     | 44 |
| 7.2 Confort Térmico.....                                           | 46 |
| 8.- Conclusiones.....                                              | 51 |
| 9.- Bibliografía.....                                              | 54 |
| 10.- Anexos.....                                                   | 55 |
| 10.1 Corte FENIX.....                                              | 55 |
| 10.2 Distribución sensores casa FENIX.....                         | 56 |
| 10.3 Tabla valores medidos FENIX.....                              | 58 |
| 10.4 Tabla valores modelados FENIX.....                            | 60 |

# Índice de Figuras

|                   |    |
|-------------------|----|
| Figura 3.2.1..... | 9  |
| Figura 3.2.2..... | 10 |
| Figura 3.2.3..... | 10 |
| Figura 3.2.4..... | 11 |
| Figura 3.3.1..... | 14 |
| Figura 5.1.1..... | 16 |
| Figura 5.1.2..... | 17 |
| Figura 5.1.3..... | 18 |
| Figura 5.1.4..... | 19 |
| Figura 5.2.1..... | 22 |
| Figura 5.3.1..... | 23 |
| Figura 5.3.2..... | 24 |
| Figura 5.3.3..... | 34 |
| Figura 5.4.1..... | 25 |
| Figura 5.4.2..... | 26 |
| Figura 5.4.3..... | 28 |
| Figura 5.4.4..... | 28 |
| Figura 5.4.5..... | 29 |
| Figura 5.4.6..... | 29 |
| Figura 6.1.1..... | 31 |
| Figura 6.1.2..... | 32 |
| Figura 6.1.3..... | 33 |
| Figura 6.2.1..... | 34 |
| Figura 6.2.2..... | 35 |
| Figura 6.2.3..... | 36 |
| Figura 6.2.4..... | 37 |
| Figura 6.2.5..... | 38 |
| Figura 6.2.6..... | 39 |
| Figura 6.2.7..... | 40 |
| Figura 6.2.8..... | 40 |
| Figura 6.3.1..... | 41 |
| Figura 6.3.2..... | 42 |
| Figura 6.3.3..... | 42 |
| Figura 7.1.1..... | 44 |
| Figura 7.1.2..... | 45 |
| Figura 7.1.3..... | 45 |
| Figura 7.2.1..... | 48 |
| Figura 7.2.2..... | 48 |
| Figura 7.2.3..... | 49 |
| Figura 7.2.3..... | 50 |

# 1.- Introducción

Al identificar las problemáticas ambientales que sufren algunas ciudades del país, principalmente durante los periodos de invierno en las ciudades del valle central del centro-sur, destaca que estas son causadas por variados factores, pero sin duda uno de los mayores es el uso de leña para calefacción (La Tercera, 12/05/2016)[1]. Esto se debe principalmente a la mala planificación y falta de regulación, que da paso al uso excesivo de leña húmeda y sistemas de combustión poco eficientes.

En relación a lo anterior es que destacan altos niveles de “smog” en los valles centrales debido a la poca ventilación en las ciudades y la alta producción de material particulado, lo que provoca episodios de emergencia ambiental, los cuales son especialmente peligrosos para los adultos mayores y niños pequeños, manifestándose como dificultades respiratorias. Existen variadas medidas implementables para disminuir este problema, yendo desde calefacción central por barrios, subsidios a otros tipos de combustible, mejoras en los sistemas de calefacción a leña, entre otros, pero una de las medidas más elementales que ayuda a mejorar el confort y disminuir el uso de calefacción es la buena implementación de aislación.

En años recientes este tema ha ido tomado cada vez fuerza, sin embargo gran parte de las viviendas en Chile, sobre todo las construidas antes del año 2000, cuando se agrega el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.), tienen deficiente o nula aislación térmica en la envolvente, siendo aún más crítico en viviendas de interés social, por lo que analizar cómo mejorar el diseño de la envolvente y la mejora de hogares ya construidos puede ayudar en gran medida a mejorar la calidad de vida de muchas personas, después de recuperar una inversión inicial, disminuirán los costos en calefacción y se contribuirá a mejorar el confort térmico de los habitantes, además de contribuir en la disminución de la contaminación y los consecuentes problemas de salud.

Este estudio se concentra en viviendas de interés social en la ciudad de Valparaíso, caracterizado por tener un clima templado, sin embargo, en los meses de invierno se tiene la necesidad de calefacción, pero como se tiene buena ventilación dentro del valle los efectos de la contaminación no son los más críticos como sucede en otras ciudades de Chile, no obstante los altos niveles de desconfort térmico, altamente influenciados por la humedad marina son muy perceptibles por los habitantes. También el uso de calefacción, sin mayor control ni regulaciones en el tipo de combustible, implica un potencial riesgo de incendio, por lo que el análisis de mejoras en los sistemas de calefacción y aislación se vuelve interesante en este caso también.

Para mejorar la calidad de vida, reducir los costos operativos y riesgos de incendio, se ha propuesto analizar, evaluar y elaborar recomendaciones de mejoras en la aislación de viviendas ubicadas en la ciudad de Valparaíso, para lo cual trabajó con programas computacionales, pudiendo primero modelar casos de viviendas existentes con características actuales, y proponer las mejoras según el caso lo requiera, para el caso de viviendas no construidas, el software puede llegar a ser buena herramienta para mejorar el diseño constructivo antes de ejecutar la obra. Sin embargo, el programa debe aprender a utilizarse y adaptarse a cada realidad y caso de estudio, por lo que para obtener un resultado robusto y riguroso debe existir un uso crítico y calibración de esta herramienta.

De esta forma el presente trabajo pretende evaluar un software, contrastándolo y calibrándolo críticamente con mediciones reales del clima local y del clima interior del caso base, para así poder obtener modelaciones más certeras para las viviendas de interés social con distintas tipologías constructivas, en su estado actual tanto como en sus potenciales mejoras, y así evaluar su rendimiento en términos económicos.

## 2.- Objetivos

Con lo descrito anteriormente se plantea el siguiente objetivo principal:

- Evaluar críticamente el confort térmico en viviendas sociales en Valparaíso

Para lograr esto se plantean objetivos secundarios, los cuales son los pasos previos para conseguir el objetivo principal que se plantea el estudio, estos son:

- Distinguir características de viviendas sociales
- Validar un modelo de análisis con caso de estudio
- Modelar confort en viviendas sociales
- Evaluar desempeño con mejoras propuestas

Estos objetivos se desarrollarán en los siguientes capítulos, y en su conjunto persiguen contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, disminuyendo costos y disminuyendo la contaminación.

### 3.- Marco teórico

Para reconocer qué y cómo se quiere modelar, es necesario acotar el caso de estudio así definiendo el alcance y los indicadores que se utilizarán para evaluar el desempeño de este.

Tratándose de confort térmico en viviendas de interés social es necesario, aclarar que se entiende por “Confort” y por “Vivienda Social”, delimitando claramente cuál será el rango aceptable de confort y qué tipologías constructivas de vivienda de interés social se consideran, además es necesario identificar los fenómenos físicos que afectan al confort térmico, dependiendo de la latitud, zona climática donde se encuentra la vivienda.

#### 3.1 Clima en Chile

Chile continental abarca desde latitud 18°S hasta 55°S y desde 0 hasta 6891 m.s.n.m, dándole variada gama de climas, sin embargo, se puede clasificar en 3 macrozonas, desértica al norte, templada al centro y lluviosa en el sur, con diferentes subzonas dependiendo de la altura y cercanía al mar, siendo las zonas cercanas al mar más húmedas y templadas, mientras que las interiores más secas y con mayor rango de valores extremos. La mayoría de la población vive en la zona centro templada. Para la ciudad de Valparaíso se tiene un clima clasificado nacionalmente (NCh 1079, 2008) como “Central litoral” o zona 2, mientras que para Santiago se tiene “Central Interior” o zona 3 y para Concepción se tiene “Litoral sur” o zona 4.

En el caso de Valparaíso (Sarmiento, 2007)[2], se caracteriza por alta influencia marina con baja oscilación térmica, alta humedad relativa y nubosidad matutina, con un promedio anual aproximado de 14,7[°C], mientras que para Enero 18,0[°C] y para Julio 11,8[°C], vientos predominantes del S-O. Los veranos son secos y los inviernos húmedos con aproximadamente 400 [mm] de lluvia anuales, de los cuales aproximadamente 100 [mm] suceden en el mes de Julio.

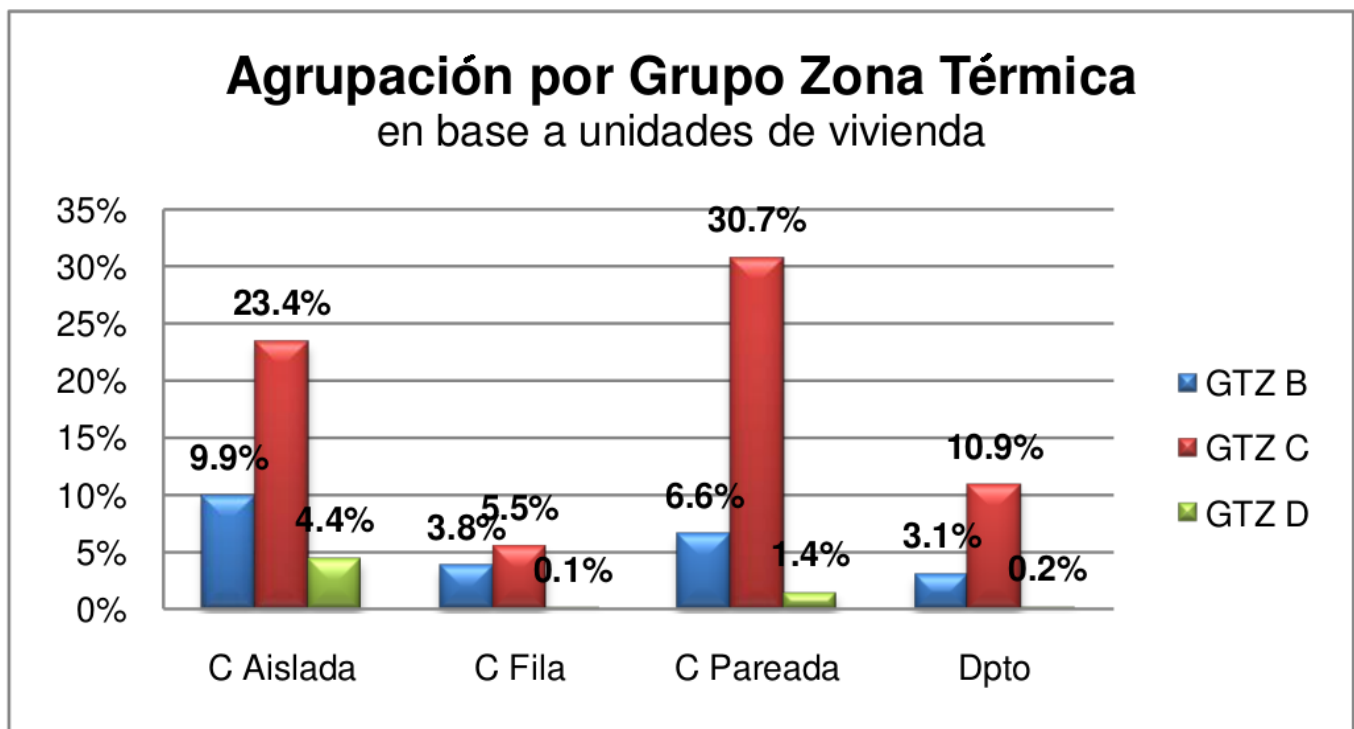
Cabe destacar que se entiende por Clima “año estándar” a las características meteorológicas de cierta zona para un periodo de datos acumulados y promediados por 30 años, donde se consideran los promedios y rangos comunes para temperatura (mínima, máxima y media), humedad relativa, pluviosidad, radiación, viento, entre otros. Por lo que a pesar de tener un clima definido, debido a cambios climáticos o años anormales como sequía los efectos meteorológicos El Niño/ La Niña, se pueden tener en los últimos periodos mediciones diferentes a las de clima estándar. No confundir con “tiempo”, el cual se entiende como las características meteorológicas para un momento dado.

## 3.2 Vivienda de interés social

La Vivienda de Interés Social, que se solía denominar como “Vivienda social” y que en los últimos años ha sido reemplazado su nombre para ampliar el significado y definir a la modalidad actual por la cual el estado ayuda a paliar el déficit habitacional, apoyando a los ciudadanos con diferentes modalidades para obtener una vivienda definitiva. Según el Ministerio de Vivienda, las ayudas pueden ir desde subsidios para comprar, construir, mejorar, arrendar, entre otras. A la vez, para cada una de estas modalidades existen diferentes categorías según zona, ingreso, uso, etc.

Según bibliografía (CChC, 2010)[3], se conocen las tipologías constructivas más comunes por zona térmica como muestra la figura 3.2.1 a continuación:

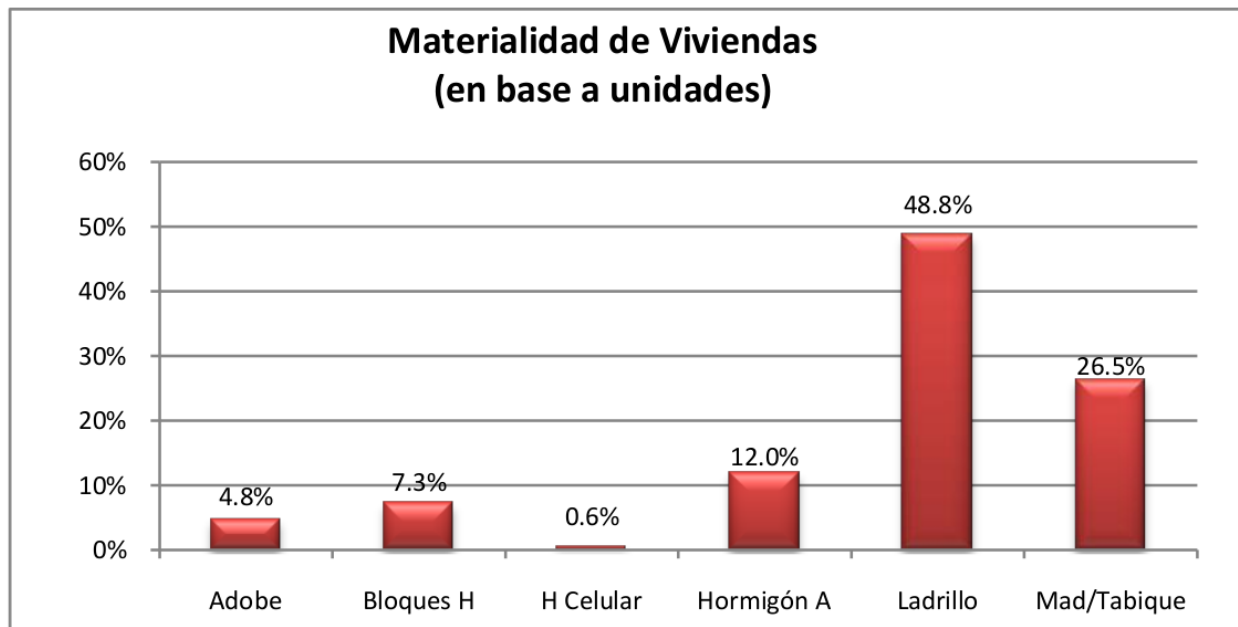
Figura 3.2.1: Gráfico de distribución de tipología de construcción según zona térmica.



Para las tipologías más comunes, donde destaca “Casa Aislada”, la cual, para análisis de confort, y de entre las tipologías expuestas es de interés ya que, en comparación con casas “Pareada” o en “Fila” (Fachada Continua), tiene mayores pérdidas por área expuesta y en comparación con “Departamento”, tiene mayores facilidades para ser mejorada.

Además, es la segunda tipología más común en el país, pero para la Zona Térmica a la cual pertenece Valparaíso (GTZ B), es la tipología más frecuente.

Figura 3.2.2: Gráfico de distribución de materialidad de construcción.



En la figura 3.2.2 destaca cómo afecta la materialidad, siendo las más frecuentes “Ladrillo” también conocida como “albañilería confinada” y “Madera/Tabiquería”, entre ambas equivaliendo al 75% del total del país.

La distribución espacial, se muestra en la figura 3.2.3,

Figura 3.2.3: Tabla de distribución de área según tipología de construcción.

| Tipología | Agrupación   | Pisos   | % real       | Tipo de Piso     | Sup. útil interior | Rango Represent       | % real       | GTZ-A         |
|-----------|--------------|---------|--------------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------|
| Tip 1     | Casa Aislada | 1 piso  | 29,4%        | Contacto Terreno | 57                 | <= 100 m <sup>2</sup> | 23,7%        | 25,1%         |
| Tip 2     | Casa Aislada | 1 piso  |              | Contacto Terreno | 221                | > 100 m <sup>2</sup>  | 5,7%         | 6,1%          |
| Tip 3     | Casa Aislada | 2 piso  | 8,3%         | Contacto Terreno | 102                |                       | 8,3%         | 8,8%          |
| Tip 4     | Casa Fila    | 2 pisos | 3,8%         | Contacto Terreno | 52                 |                       | 3,8%         | 4,0%          |
| Tip 5     | Casa Pareda  | 1 piso  | 23,9%        | Contacto Terreno | 68                 |                       | 23,9%        | 25,3%         |
| Tip 6     | Casa Pareda  | 2 pisos | 14,8%        | Contacto Terreno | 85                 |                       | 14,8%        | 15,7%         |
| Tip 7     | Departamento | 1 piso  | 14,1%        | Intermedio       | 64                 | <= 70 m <sup>2</sup>  | 8,1%         | 8,6%          |
| Tip 8     | Departamento | 1 piso  |              | Intermedio       | 110                | > 70 m <sup>2</sup>   | 6,0%         | 6,4%          |
|           |              |         | <b>94,3%</b> |                  |                    |                       | <b>94,3%</b> | <b>100,0%</b> |

Para las casas aisladas se tiene una prevalencia de un piso con un área cercana a los 50 [m<sup>2</sup>], representando a un 25% de la construcción nacional.

Para llevar a cabo el estudio comparativo, como se explica en metodología, con el objetivo de validar y calibrar el software se tomó como caso de control, “casa modelo” la casa FENIX que se describe en el capítulo 5.

Entonces, a partir de las características expuestas anteriormente y según tipo de subsidio “Sitio propio, casa modelo”, se buscó dimensionar una vivienda de interés social representativa, para lo cual se utiliza el catálogo del MINVU [4], donde se especifican algunos planos, dimensiones y materiales. También se consideró una mediagua como se define por “Un techo para Chile”, hoy “Techo” en sus planos, como caso de vivienda en el extremo inferior, que a pesar de ser definida como vivienda de emergencia temporal, sigue siendo utilizada como vivienda “definitiva” en muchas tomas. Con las definiciones anteriormente hechas, se dimensionan las variables más importantes en la figura 3.2.4:

*Figura 3.2.4: Tabla de aproximación de características de vivienda social promedio por tipología mas caso bueno y malo.*

| Original                           |             |             |                 |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|
|                                    | FENIX       | Tabiquería  | Ladrillo        | Mediagua    |
| Área Suelo m <sup>2</sup>          | 93          | 50          | 49              | 18          |
| Área Pared m <sup>2</sup>          | 165         | 81          | 75              | 38          |
| Aislación Techo                    | 100 mm EPH  | 100 mm EPS  | 100 mm EPS      | Zinc 0,4 mm |
| Aislación Pared                    | 100 mm Lana | 50 mm EPS   | 140 mm Ladrillo | Pino 0,5 in |
| Aislación Suelo                    | 94 mm EPH   | 50 mm EPS   | Radier 70 mm    | Pino 1 in   |
| Ventana                            | Simple 4 mm | Simple 4 mm | Simple 4 mm     | Simple 4 mm |
| Inversión [\$]                     | 38000       | 15000       | 15000           | 900         |
| Precio metro [\$ /m <sup>2</sup> ] | 409         | 300         | 306             | 50          |

La aislación EPS significa Poliestireno Expandido Estándar según sus siglas en inglés, más conocido en Chile como “Plumavit”, EPH Poliestireno Expandido Alta densidad y vidrio monolítico simple para las ventanas.

### 3.3 Conceptos físicos

Para entender el balance energético en una vivienda, es necesario aclarar algunos fenómenos físico que afectan en la interacción de la construcción con su ambiente, para esto se definen los siguientes conceptos:

#### **Temperatura**

La temperatura es una manifestación de la energía interna que tiene un cuerpo (Calor). La temperatura se mide generalmente en grados Celsius [ $^{\circ}\text{C}$ ] o Kelvin [K].

#### **Humedad relativa del aire (HR)**

El aire, al igual que una esponja tiene la capacidad de absorber agua, cuando el aire no tiene agua se dice que tiene humedad del 0%, mientras que cuando tiene toda el agua que puede soportar en forma de vapor, se dice que tiene 100% de humedad. De existir más agua en el ambiente esta se manifestará como gotas. La cantidad de agua que puede soportar el aire depende de la temperatura, presión y otros factores a los cuales está sometido por el ambiente, midiéndose en [gr de agua/gr de aire].

#### **Conducción**

Todos los cuerpos tienen calor interno, por lo que también tienen temperatura, sin embargo, cuando dos cuerpos en contacto tienen diferentes temperaturas, el calor se mueve desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el cuerpo con menor temperatura, hasta que estas se igualan, este tipo de transferencia de calor se le llama conducción. La “velocidad” con la que el calor se mueve entre cuerpos o dentro de un mismo cuerpo varía inversamente proporcional a la distancia entre los puntos tanto como de sus propiedades físicas, llamándose “conductividad térmica” con unidad [ $\text{W/mK}$ ] a la “facilidad” de moverse el calor dentro del cuerpo.

#### **Convección**

Cuando uno de los cuerpos es un fluido con capacidad de movimiento, se le denomina a este tipo de transferencia de calor convección y se diferencia de la conducción debido a que las partículas dentro del fluido se mueven llevándose el calor consigo. El índice por el cual se mide qué tan rápido puede el fluido transportar el calor se llama “coeficiente de convección” y se mide en [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ].

#### **Radiación**

Cuando los cuerpos no se tocan pero tienen diferentes temperaturas, la transferencia de calor se lleva a cabo a través de ondas electromagnéticas, las cuales no necesitan medio para moverse por lo que pueden moverse por el vacío, pero si se ven afectadas por sólidos, líquidos o gases dependiendo de sus características físicas. La “velocidad” con que se transfiere calor en radiación depende de la capacidad de los elementos de absorber, transmitir o reflejar. La radiación térmica se puede medir según sea el caso en [ $\text{W/m}^2$ ].

### **Aislante térmico**

Se denomina aislante térmico a un material con baja conductividad térmica, y se utiliza para reducir las pérdidas de calor. Algunos aislantes típicos son la lana mineral, poliestireno expandido o algodón.

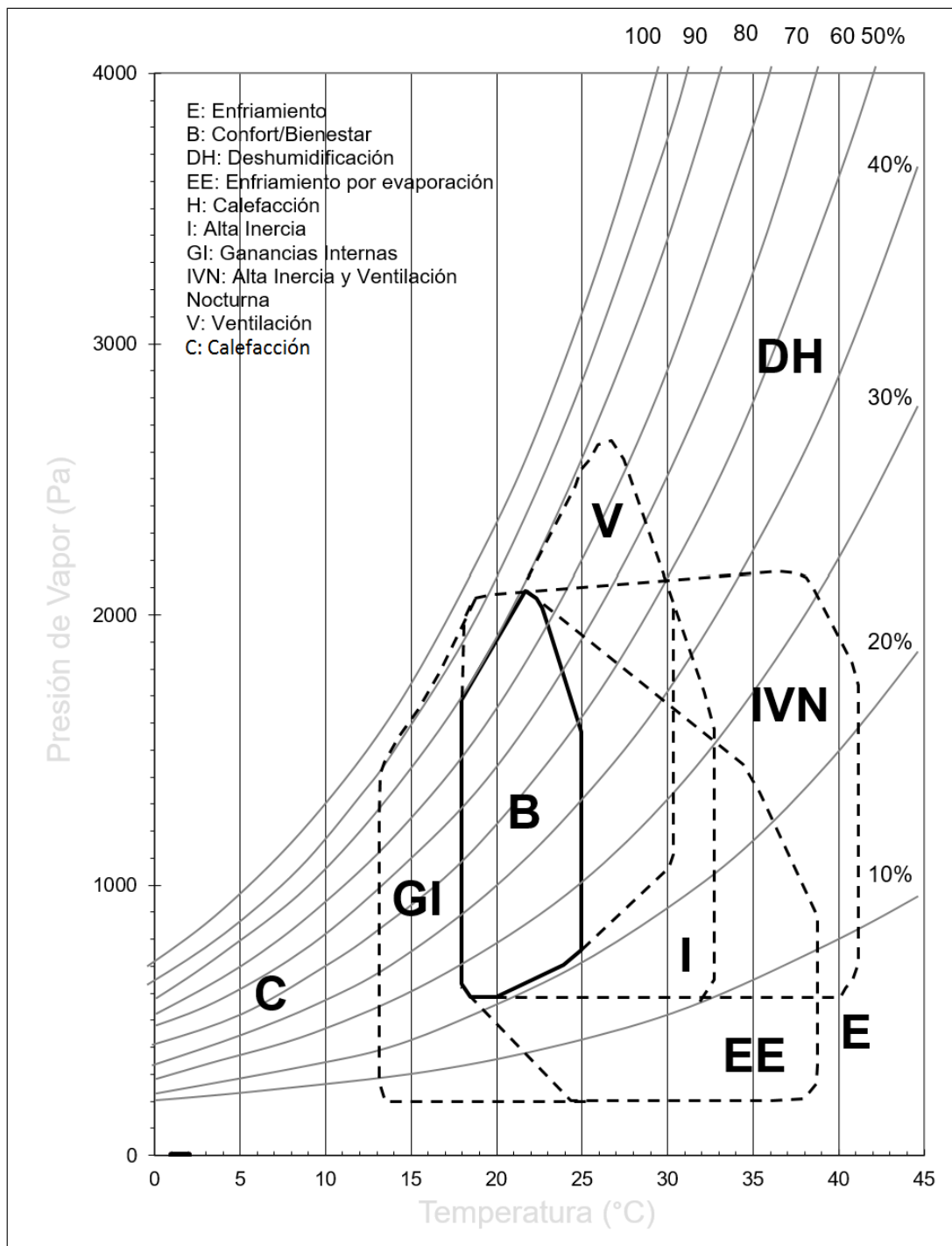
## **3.4 Confort térmico**

Los fenómenos explicados anteriormente tienen una manifestación sensible en las personas, la cual se debe definir a continuación.

El cuerpo humano en su funcionamiento natural produce calor, de esta forma manteniendo una temperatura aproximada de 37[°C]. En un estado agradable, el calor que el cuerpo produce se disipa en similar medida al medio ambiente, mientras que si dadas ciertas condiciones ambientales el cuerpo transmite más de lo que naturalmente genera, se tiene una sensación de “frío”. De similar forma cuando el cuerpo transmite al ambiente menos de lo que genera se tiene la sensación de “calor”. Es por esto que las sensaciones de confort térmico están relacionadas con la transferencia de calor más que con la temperatura, siendo posible tener diferentes grados de confort térmico a la misma temperatura, dependiendo de otros factores que afectan la transferencia de calor, como son la humedad ambiente, el viento, la ropa, la radiación, entre otros. Para ver cómo afectan otros factores al rango de confort térmico se recomienda visitar <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>, donde se muestra como varía el rango aceptable variando diferentes parámetros. Además como el metabolismo de cada persona es diferente, la generación de calor varía caso a caso, e incluso también afectan variables psicológicas tanto como culturales en la percepción de lo “agradable”. Es por esto que la sensación de confort no es fija y depende fuertemente de las circunstancias.

Sin embargo, teniendo esto en cuenta y considerando los valores estadísticos de cierta población, se puede definir el rango de confort térmico según las variables físicas más importantes, siendo estas principalmente la temperatura y humedad, donde para el caso específico de la vivienda se puede despreciar el viento y se consideran vestimenta ligera y media. Con esto se obtiene la figura 3.4.1, donde la zona de confort se identifica por la letra B:

Figura 3.4.1: Zona de confort térmico en carta psicométrica.



En la figura 3.4.1 se muestra que en términos generales que el confort térmico se encuentra entre los 18 [°C] y los 25 [°C] y con una humedad relativa entre 20% y el 80%.

Además, las otras áreas punteadas se conocen en el diagrama de Givoni como las estrategias de diseño para ciertos climas dados, encontrándose Valparaíso en general en las zonas Ganancias Internas (GI) y Bienestar (B).

## 4.- Metodología

Para evaluar la calidad de confort en viviendas de interés social en Valparaíso, se deben conocer las características constructivas de éstas y las variables climáticas de la zona. Como fue expuesto en el capítulo anterior existen múltiples modelos ofrecidos por el catálogo del MINVU, por lo que se deben elegir los casos más comunes para ser modelados. De las características más comunes se obtuvo como representantes y más dos casos extremos la figura 3.2.4.

Por otra parte, para obtener información modelada precisa, es necesario probar y calibrar el método utilizado, en este caso el software. Para esto se toman datos reales medidos y se comparan con los datos modelados con el objetivo de reducir el error. El caso de estudio elegido es la “Casa FENIX Huerta Carvajal” descrito en mayor profundidad en el capítulo 5.2.

Las temperaturas medidas por termocuplas para cada habitación, son almacenadas y subidas a internet y los promedios de todas las habitaciones representando la temperatura de la casa completa, se comparan como promedio mensual con los datos modelados, obteniéndose un valor de error porcentual y corrigiendo hasta alcanzar un valor aceptable aún por definirse. Además, se comparan cualitativamente las curvas obtenidas para el día más frío y el día más caluroso para los meses de febrero y junio, analizando el comportamiento horario. Bajo estos dos parámetros se llega a un modelo aceptable.

Teniendo un modelo calibrado, se modelan los casos de estudio seleccionados primeramente sin calefacción y posteriormente con calefacción, con criterio de temperatura mínima aceptable de 18[°C]. De esto se sacan conclusiones de su desempeño.

Con estos datos se modelan los mismos casos pero mejorando la aislación térmica en la envolvente con el caso más accesible, una plancha de 5 [cm] de poliestireno expandido, primero en el techo, después agregándole las paredes y por último agregándole el suelo. Las ventanas y puertas no se consideran ya que estas son mayormente dependientes de la oferta según zona.

Las mejoras se evalúan como dinero en relación inversión/ahorro, tanto como en eficiencia de calefacción para obtener el mínimo de confort esperado.

## 5.- Validación del modelo

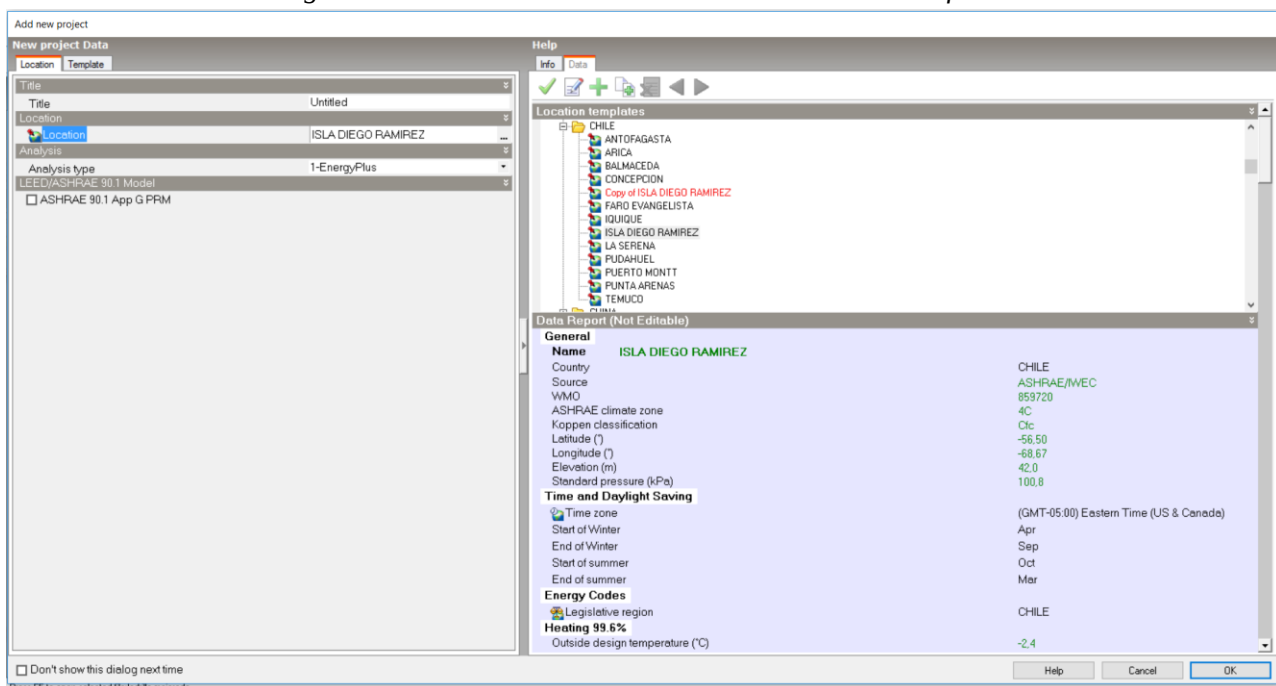
Para obtener información fiable, se debe primeramente corroborar que el método utilizado es confiable, para lo cual se comparan los datos modelados con datos reales de las mediciones del clima interior de la casa base y se calibra el modelo para reducir el error. En este caso se explora el software para entender su proceso de modelación y se elige un caso de estudio para comparar los datos generados con mediciones acumuladas por el sistema de monitoreo programado. De este proceso se espera ir descubriendo las ventajas y desventajas del modelo para poder corregir a un nivel aceptable de error, o en su defecto aceptar el error conociendo sus causas e identificar el modelo como no viable.

### 5.1 Descripción del software

Para la modelación fue utilizado Designbuilder (DSB) (<http://www.designbuilder.co.uk/>), considerando Autodesk Ecotect. Se eligió Designbuilder debido a su facilidad de acceso en el campus y su directa aplicación con el objetivo buscado, además Ecotec ha sido recientemente descontinuado.

El programa como input para los cálculos solicita información como ubicación y archivo de clima del lugar modelado, dependiendo del lugar, se debe conseguir un archivo clima en formato EPW e ingresarlo manualmente, o puede estar en la biblioteca del software si se trata de una localización con datos históricos. En la figura 5.1.1 se muestra una parte de las bibliotecas de clima del software.

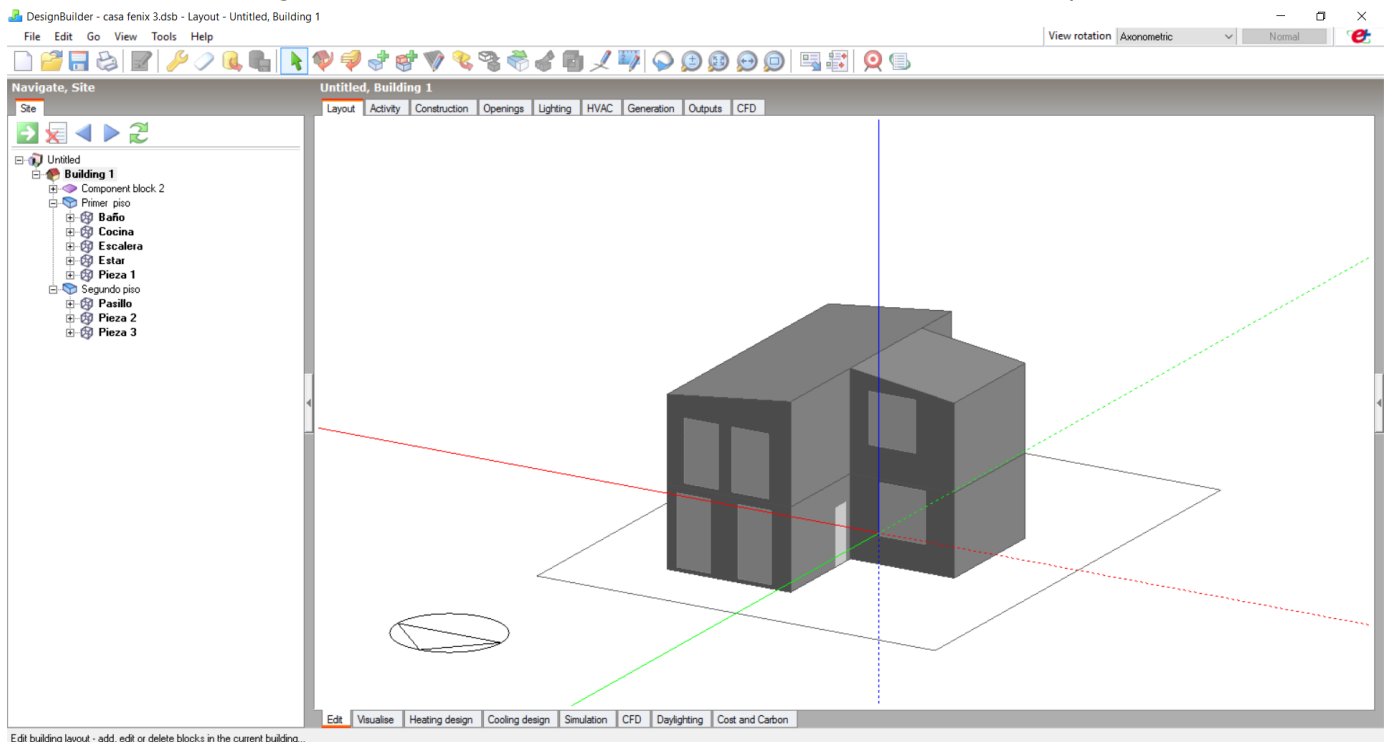
Figura 5.1.1: Visualización de elección de clima en el software.



Se muestran las librerías disponibles para Chile, junto con otros datos como coordenadas, altura, tipo de clima, entre otros.

También se requieren los planos del edificio modelado, las características constructivas, los materiales, elementos, diseño de sistema de calefacción, refrigeración o ventilación de ser necesario. Así generando un modelo 3D con la distribución de habitaciones, ventanas, puertas y otras particularidades constructivas. La figura 5.1.2 muestra un ejemplo de modelo 3D.

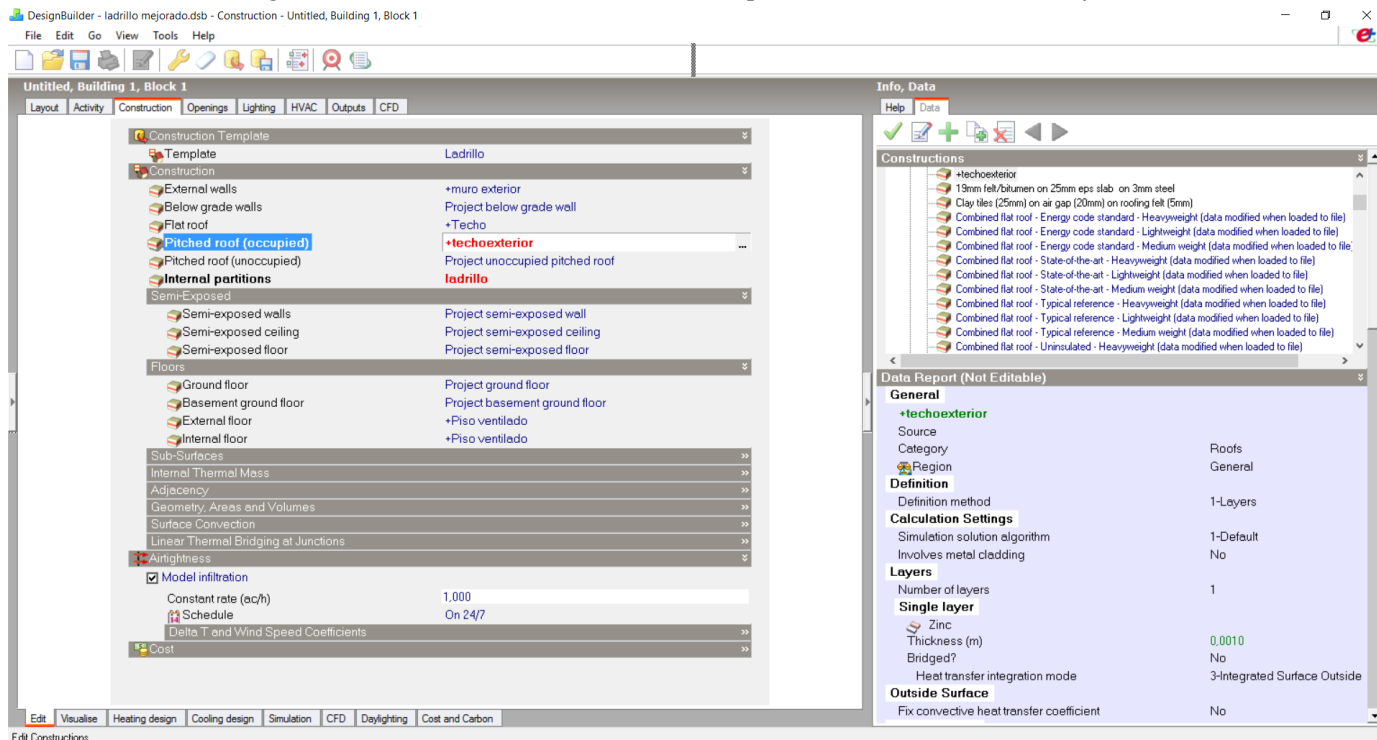
*Figura 5.1.2: Visualización de modelo 3D de la construcción en el software.*



En la pestaña superior “Layout” se elige la orientación espacial, también se distinguen las particiones interiores en el lado izquierdo

El programa trae por defecto variadas opciones en cuanto a materiales y disposiciones comunes, valores característicos y sistemas prediseñados por norma, por lo que dependiendo del caso se deben solo elegir desde los disponibles o construir de cero, como se muestra en la figura 5.1.3.

*Figura 5.1.3: Visualización de elección de partes constructivas en el software.*

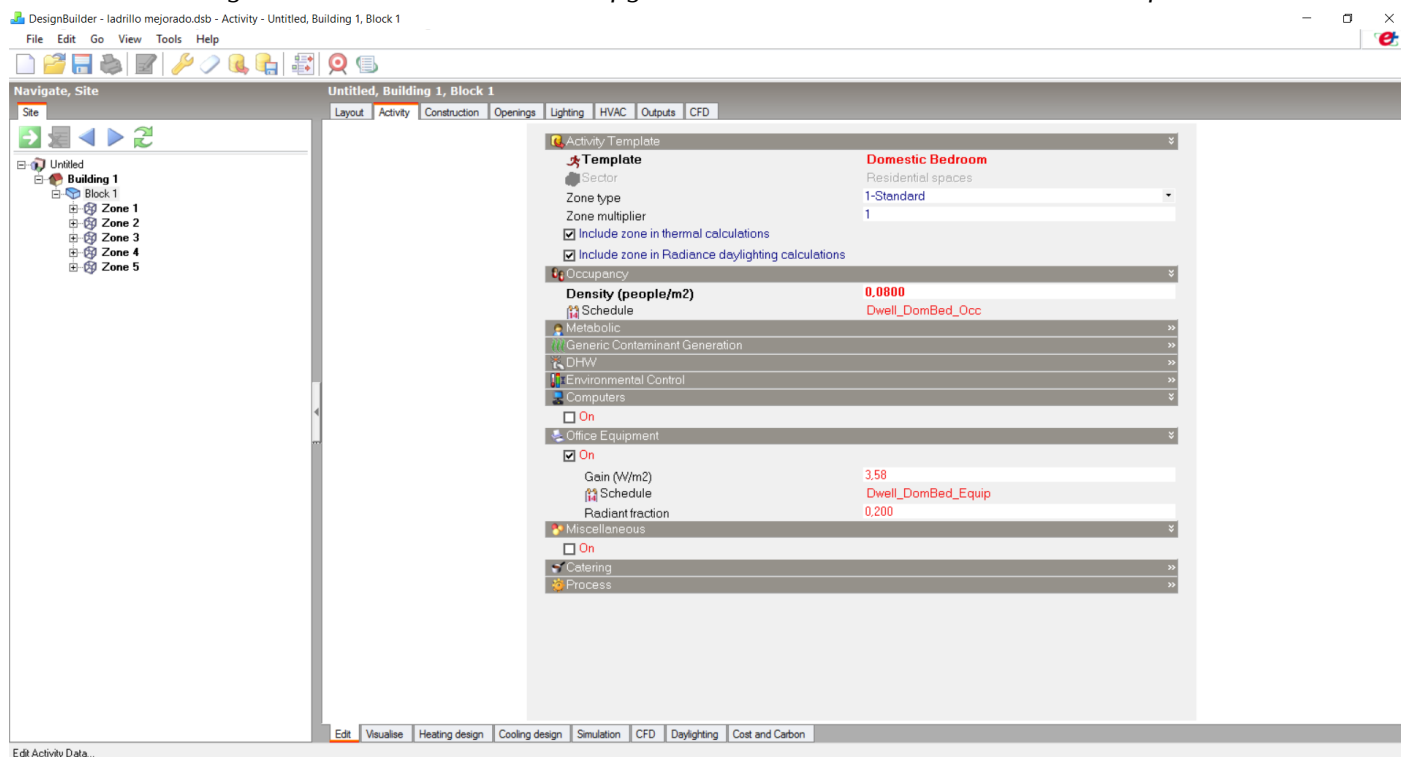


En la pestaña superior “Construction” están disponible la elección de modelos preconstruidos según elemento estructural a elegir en la mitad izquierda, mostrando las diferentes opciones de techo en la lista derecha superior y sus características en la lista derecha inferior.

También se seleccionan otras variables como infiltraciones, costo, masa térmica, entre otros.

Además, se debe ingresar el uso del edificio, el número de habitantes, los horarios entre otros, teniendo usos tipo almacenados para poder elegir, esto se puede ver en la figura 5.1.4.

*Figura 5.1.4: Visualización de configuración de usos de la construcción en el software.*



Pestaña superior “Activity” se distinguen las diferentes variables que se pueden activar o calendarizar según habitación, como acondicionamiento de aire, electrodomésticos, cantidad de habitantes, metabolismo, entre otros.

Con este input, el software calcula variados datos, siendo los más útiles las condiciones ambientales exteriores, temperatura y humedad por pieza, pérdidas por tipo de material y partes de la casa, horas de discomfort por día y consumo energético de calefacción, todos exportables para periodos deseados en formato Excel para su posterior análisis.

Durante el uso del software destacó que la obtención de archivos de clima para la ciudad de Valparaíso no fue muy confiable en comparación con los archivos históricos. Los archivos de clima formato EPW (EnergyPlus Weather) encontrados no fueron precisos, los cuales propagan directamente a los resultados de temperatura interior de la casa. Para solucionar esto, se modificó un archivo EPW existente para acercarlo a los datos históricos de temperatura ambiente (como se explica en mayor detalle en sección “5.4 resultados de la modelación”) siendo esta la que por simple inspección afecta en mayor grado al resultado.

Además, existen grandes posibilidades de especificar el uso y condiciones por habitación lo que influyen en las ganancias internas (GI), pero para el caso no existen datos sobre los horarios, consumos en electrodomésticos y otras variables de carácter más subjetivo como para incorporar en el software, por lo que se requiere tener una buena idea de cómo funcionará el edificio modelado para obtener resultados más certeros. Cabe destacar que muchos de los criterios del programa no son adaptados a las condiciones nacionales, por ejemplo, los niveles de hermeticidad o recambio de aire, tipo y uso de calefacción, materiales, etc. por lo que se tienen que corregir.

Por otra parte, el modelo para calcular “horas de discomfort” no se especifica, y al obtenerse resultados poco esperados se decidió no considerarlos correctos.

De esto se concluye que el software solo calcula pero no piensa. Es responsabilidad del modelador saber ingresar las variables correctas, tanto como saber interpretar los datos que el software entrega y tener claro qué criterios utilizará para evaluar el desempeño del edificio.

## 5.2 Descripción de caso de estudio Casa FENIX Huerta Carvajal

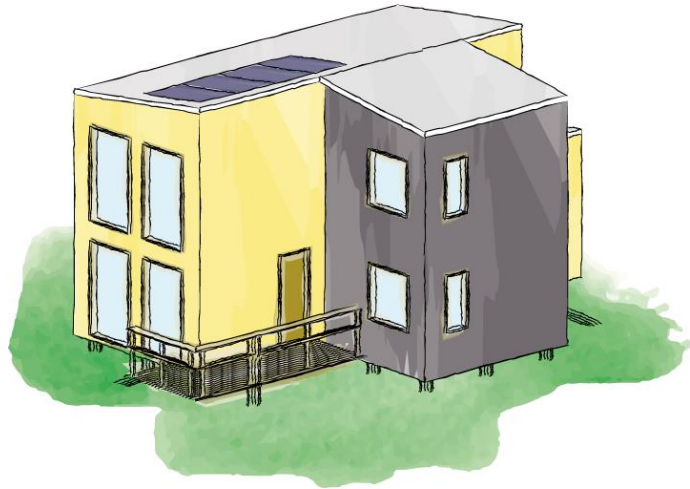
La casa FENIX (For Emergency post-Natural Impact EXtreme) es una propuesta de vivienda de emergencia modular con diseño bioclimático, desarrollada por un equipo principalmente compuesto por (en su momento) alumnos de arquitectura de la UTFSM.

En el caso de la casa FENIX que se construyó para la familia Huerta Carvajal, que es la “casa base” y se trata de una familia víctima del gran Incendio de Valparaíso, compuesta por cuatro integrantes, se ubica en la quebrada entre los cerros Las Cañas y El Litre (33°03'S; 71°36'O) en Valparaíso, la cual fue terminada en agosto 2015. En Anexos se muestran algunas especificaciones técnicas sobre la construcción y los materiales.

El objetivo en este caso fue demostrar la viabilidad de construir una vivienda definitiva post emergencias a base de módulos y con alta eficiencia energética, para lo cual se consideró un diseño bioclimático con gran capacidad de aislación junto con sistemas solar de agua caliente sanitaria (ACS) y paneles fotovoltaicos para generación de energía eléctrica. La figura 5.2.1 en la próxima página muestra tanto el contexto como la distribución espacial de los componentes.

La casa FENIX Huerta Carvajal fue construida con subsidio especial para la reconstrucción en sitio propio del MINVU, además de donaciones de empresas privadas tras el Incendio de Valparaíso del año 2014. En este caso se adaptó el principio constructivo utilizado en la versión de Casa FENIX para el concurso “Solar Decathlon 2014” de Versailles a las necesidades de la familia.

*Figura 5.2.1: Imágenes de Casa FENIX Huerta Carvajal.*



En las imágenes se aprecian tanto los paneles fotovoltaicos como los grandes ventanales con orientación norte, como parte del diseño bioclimático de captación solar para “calefacción pasiva”. También se ejemplifica la dificultad de acceso en la quebrada lo que en parte fue causa del alto impacto del incendio y la ausencia de infraestructura urbana que existe en estos sectores de la ciudad de Valparaíso.

## 5.3 Sistema de medición Casa FENIX

Como parte de su validación, fueron medidos variados parámetros cada minuto por un sistema de sensores HOBO (S-THB-M00x) que transmiten a una central de monitoreo “HOBO RX 30000”. Estos fueron a su vez subidos a Internet y administrados por Hobolink (<https://www.hobolink.com/>), donde una vez accedido por usuario se pueden descargar en formato Excel para su posterior tratamiento.

Las mediciones en tiempo real también están disponibles en <http://casafenix.cl/huerta-carvajal/> La interfaz de la página web se muestra en la figura 5.3.1:

Figura 5.3.1: Visualización de descarga de información medida desde “Hobolink”.

The screenshot shows the Hobolink web interface. The top navigation bar includes the Hobolink logo, a search bar, and a 'Service Status' indicator. The main content area is titled 'Create Export Settings' and contains three sections:

- 1) Select a name, format, time zone and time frame for your export**: This section includes a 'Settings Name' input field, a 'File Format' dropdown menu (set to 'Excel (.xlsx)'), a 'Time Zone' dropdown menu (set to 'Chile, Santiago'), and an 'Export All Data' section with a 'between' dropdown and two date/time pickers (00:00 09/01/2016 and 23:59 09/30/2016). There is also a checkbox for 'Merge like sensors across deployments'.
- 2) Devices (select device sensors for export)**: This section includes a note: 'Note: Inactive deployments/sensors are colored gray.' Below the note, there are two checkboxes: 'EST\_P1 10818751' (unchecked) and 'EST\_P2 10818750' (checked).
- 3) Order your sensors (organize the sensors in the order they should appear in the export)**: This section displays a table of sensors with columns for sensor name, description, and ID. The sensors are listed in a specific order, and there are arrows on the left side of the table to allow reordering.

| Sensor Name         | Description            | ID                          |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| EST_P2              | RX3000 BATTERY Battery | 10818750:10818750-B         |
| EST_P2.DOR2_T/HR    | S-TMB Temperature      | 10818750:10677754-1         |
| EST_P2              | S-TMB Temperature      | 10818750:10677754-1         |
| EST_P2.DOR2_SUPIN_2 | S-TMB Temperature      | 10818750:10677754-1         |
| EST_P2.DOR2_SUPIN_O | S-TMB Temperature      | 10818750:10677754-1         |
| EST_P2.ES_SUPIN_N1  | RAW-V-10 °C            | 10818750:10805048-2         |
| EST_P2.ES_SUPIN_N1  | RAW-V-10 °C            | 10818750:10805048-2 Minimum |
| EST_P2.ES_SUPIN_N1  | RAW-V-10 °C            | 10818750:10805048-2 Maximum |

Se distinguen los dos puntos de transmisión, piso 1 y piso 2, el formato de exportación, el periodo y algunas de las múltiples variables medidas.

Para el caso de estudio se consideran radiación, humedad y temperatura ambiente exterior, mientras que en el interior se midió temperatura y humedad en Piezas 2 y 3, Baño, Estar y Cocina, como los factores más relevantes para analizar el confort térmico. Otras mediciones como velocidad de viento, presión atmosférica o lux entregadas por el sistema no fueron consideradas. En anexos 9.1 y 9.2 se muestra la distribución de los sensores dentro de la casa.

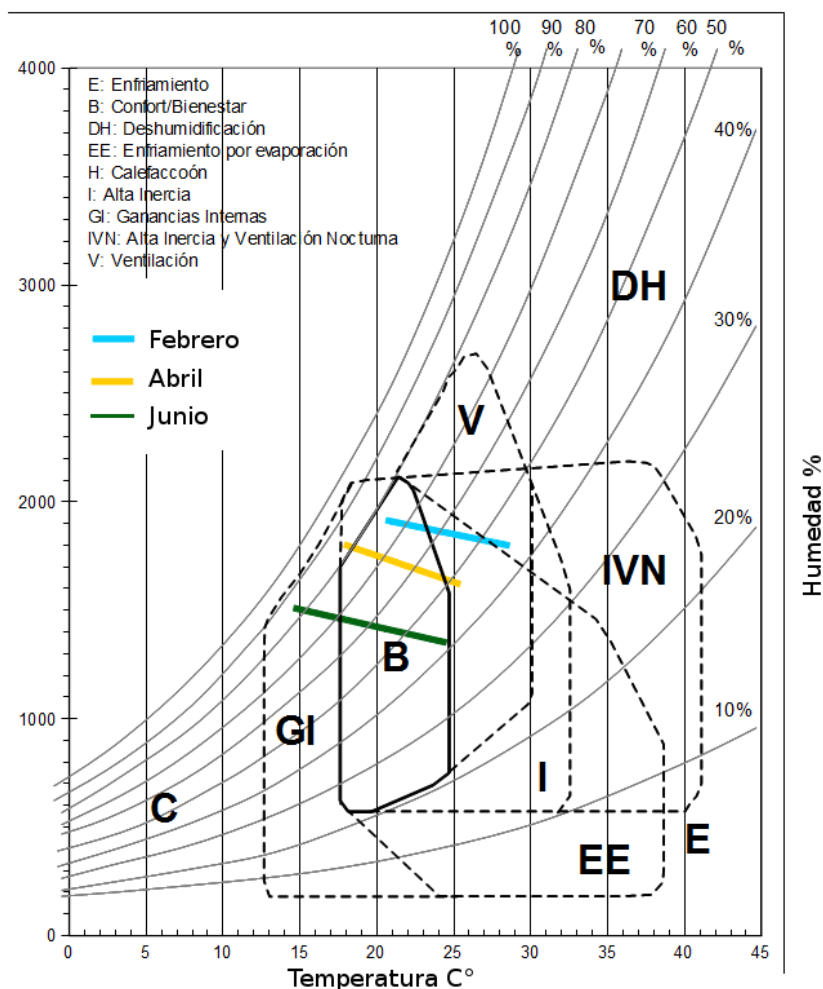
Las mediciones utilizadas empiezan el 01/01/2016 a las 00:01 y en curso, se muestran en la figura 5.3.2 como promedios de todas las habitaciones en el caso de temperatura interior.

Figura 5.3.2: Tabla de promedios de medición FENIX, radiación en  $[W/m^2]$  y temperatura en  $[^{\circ}C]$ .

| Promedio Mensual | Enero  |       |       | Febrero |       |       | Marzo  |       |       | Abril      |       |       | Mayo  |       |       |
|------------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | Rad    | T Ext | T Int | Rad     | T Ext | T Int | Rad    | T Ext | T Int | Rad        | T Ext | T Int | Rad   | T Ext | T Int |
| Promedios        | 234,1  | 19,2  | 24,0  | 226,0   | 18,2  | 23,7  | 131,4  | 16,3  | 21,8  | 108,5      | 15,4  | 20,5  | 79,1  | 14,3  | 19,4  |
| Máximos          | 1094,2 | 26,2  | 28,5  | 950,9   | 25,7  | 28,6  | 753,4  | 21,1  | 25,6  | 606,9      | 20,8  | 25,4  | 579,8 | 18,6  | 24,0  |
| Mínimos          | 0,0    | 15,6  | 20,9  | 0,0     | 14,3  | 26,0  | 0,0    | 13,9  | 19,4  | 0,0        | 12,6  | 17,9  | 0,0   | 11,8  | 16,9  |
| Promedio Mensual | Junio  |       |       | Julio   |       |       | Agosto |       |       | Septiembre |       |       |       |       |       |
|                  | Rad    | T Ext | T Int | Rad     | T Ext | T Int | Rad    | T Ext | T Int | Rad        | T Ext | T Int |       |       |       |
| Promedios        | 100,5  | 11,5  | 18,3  | 88,8    | 11,8  | 18,4  | 145,1  | 13,4  | 19,5  | 157,8      | 12,8  | 19,2  |       |       |       |
| Máximos          | 544,1  | 17,5  | 24,5  | 520,2   | 16,2  | 23,0  | 654,0  | 20,7  | 26,6  | 744,5      | 19,1  | 24,2  |       |       |       |
| Mínimos          | 0,0    | 8,2   | 14,6  | 0,0     | 8,9   | 15,1  | 0,0    | 9,1   | 15,2  | 0,0        | 9,0   | 15,9  |       |       |       |

También se muestran los datos obtenidos para un mes frío, uno medio y uno caluroso en diagrama Givoni en la figura 5.3.3:

Figura 5.3.3: Diagrama de Givoni para mediciones FENIX para los meses de febrero, abril y junio



Destaca la alta presencia en la zona de confort y con presencia de extremos en zona fría de Ganancia Interna(GI) y calurosa de Ventilación (V).

## 5.4 Resultados de modelación

La información base para el cálculo de temperaturas son las características del medio ambiente en la zona, para esto se considera el clima, o sea, valores promedio para los últimos 30 años en la ciudad de Valparaíso. Los datos máximos y mínimos promedio, tanto como el promedio general para las variables “Radiación” en  $[W/m^2]$  y temperatura en  $[^{\circ}C]$ , obtenidos de bibliografía (Sarmiento, 2008) [4] se muestran para el periodo de estudio en la figura 5.4.1:

*Figura 5.4.1: Tabla de Promedios de Radiación en  $[W/m^2]$  y temperatura en  $[^{\circ}C]$  de Clima Estándar para la Ciudad de Valparaíso por mes*

|          | Enero |      | Febrero |      | Marzo  |      | Abril      |      | Mayo  |      |
|----------|-------|------|---------|------|--------|------|------------|------|-------|------|
|          | Rad   | Temp | Rad     | Temp | Rad    | Temp | Rad        | Temp | Rad   | Temp |
| Promedio | 253,0 | 18,0 | 226,0   | 17,9 | 173,0  | 16,7 | 109,7      | 14,9 | 80,9  | 13,5 |
| Máx Prom | 762,6 | 22,1 | 687,5   | 22,0 | 584,2  | 21,0 | 433,6      | 19,3 | 317,7 | 17,6 |
| Mín Prom | 0,0   | 13,4 | 0,0     | 13,5 | 0,0    | 12,2 | 0,0        | 10,7 | 0,0   | 9,7  |
|          | Junio |      | Julio   |      | Agosto |      | Septiembre |      |       |      |
|          | Rad   | Temp | Rad     | Temp | Rad    | Temp | Rad        | Temp |       |      |
| Promedio | 66,9  | 12,3 | 73,5    | 11,8 | 108,6  | 12,1 | 151,0      | 12,9 |       |      |
| Máx Prom | 317,7 | 16,0 | 296,4   | 15,8 | 408,6  | 16,1 | 529,2      | 16,8 |       |      |
| Mín Prom | 0,0   | 8,8  | 0,0     | 8,07 | 0,0    | 8,07 | 0,0        | 8,88 |       |      |

Cuando comparamos estos valores con los entregados por el software, solo en promedios mensuales, se obtiene la figura 5.4.2 en la siguiente página, donde “Estándar” son los valores históricos de clima para Valparaíso, “Modelo” son los valores clima utilizados en el software y “Medido” son los datos obtenidos durante el periodo de estudio, a la cual es necesario calcular el error en diferencia (d) tanto como porcentualmente (%):



De la figura destaca que para el año actual las diferencias en temperatura en general no superan 1 [°C] con respecto al año estándar, siendo agosto el mes con mayor diferencia con 1,37 [°C] representando un 11,4% (considerando 0 [°C] como base). Para la radiación, algunos meses mostraron diferencias mínimas mientras que otros como marzo y junio mostraron diferencias del 17% y 36% respectivamente. La variación entre el año medido y el clima estándar es una variable independiente y varía año a año, solo pudiéndose “corregir o actualizar” el clima cada 30 años.

La modelación de temperaturas interiores de la casa mostró a lo largo de las iteraciones ser más dependiente de la temperatura exterior que de la radiación, es por esto que para el modelo solo se corrigió las temperaturas exteriores para coincidir con los promedios mensuales del año estándar, mostrando pequeñas diferencias porcentuales menores a 0,6% una vez corregidas.

Para el caso de la modelación de temperaturas interiores promedio de la casa, se obtuvieron diferencias mayores a 1 [°C] para enero, febrero y agosto representando un máximo de 7,1% y para el resto de los meses diferencias menores a 0,52 [°C] representando un 2,9%. Cabe destacar que para los meses enero y agosto con errores entre modelo y medido, es cuando existe mayor diferencia entre el año actual con el clima estándar, por lo que se considera como la variabilidad natural entre años.

Según bibliografía utilizada (Paliouras et al., 2015)[6] se consideró un 5% de error aceptable en ese caso de estudio, pero en esta se utilizaron mayor número de iteraciones y con mejores datos históricos, por lo que 7% para esta modelación se considera un valor aceptable considerando el objetivo planteado.

En cuanto al comportamiento horario, se comparan los resultados medidos y modelados para un día frío y un día caluroso de febrero y junio, se tienen las siguientes figuras de temperatura en [°C] versus hora del día para modelo y medición según día del mes. Esto con el fin de analizar la forma de la curva obtenida y comparar la cercanía entre el modelo y la medición.

Para el mes de febrero se tiene las siguientes muestras para un día caluroso (figura 5.4.3) y uno frío (figura 5.4.4):

*Figura 5.4.3: Gráfico de un día caluroso de febrero modelado y medido, Temperatura [°C] vs hora*

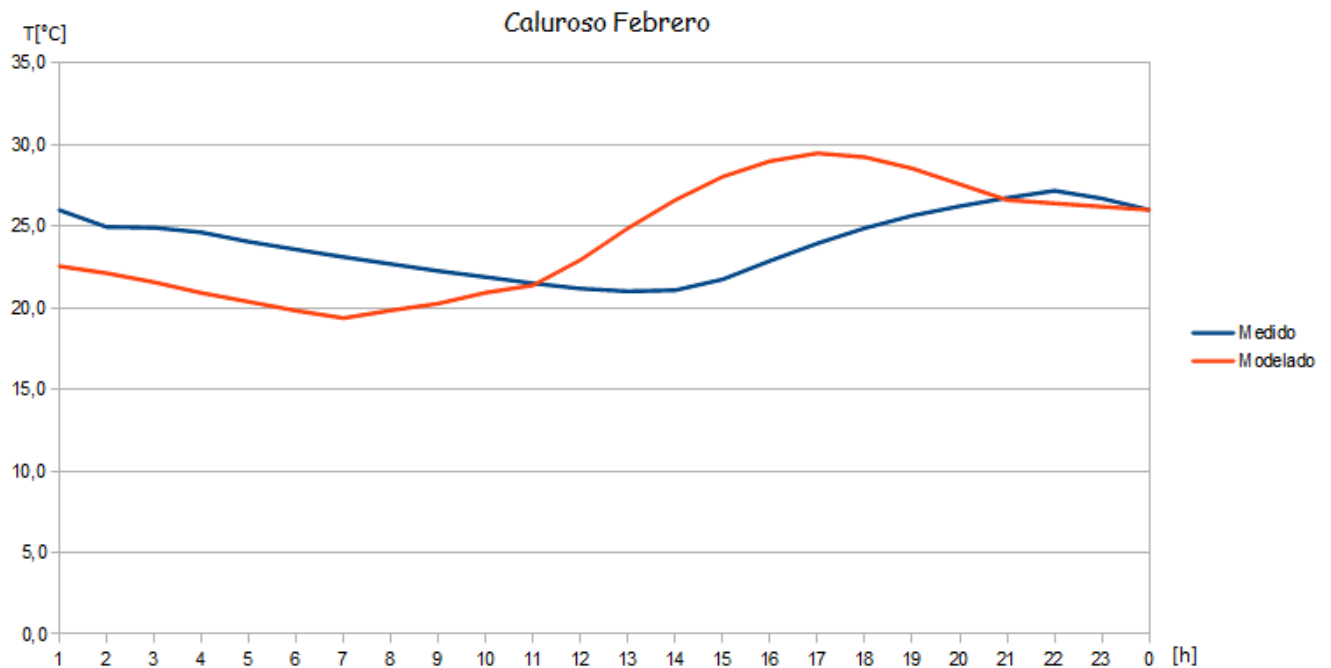
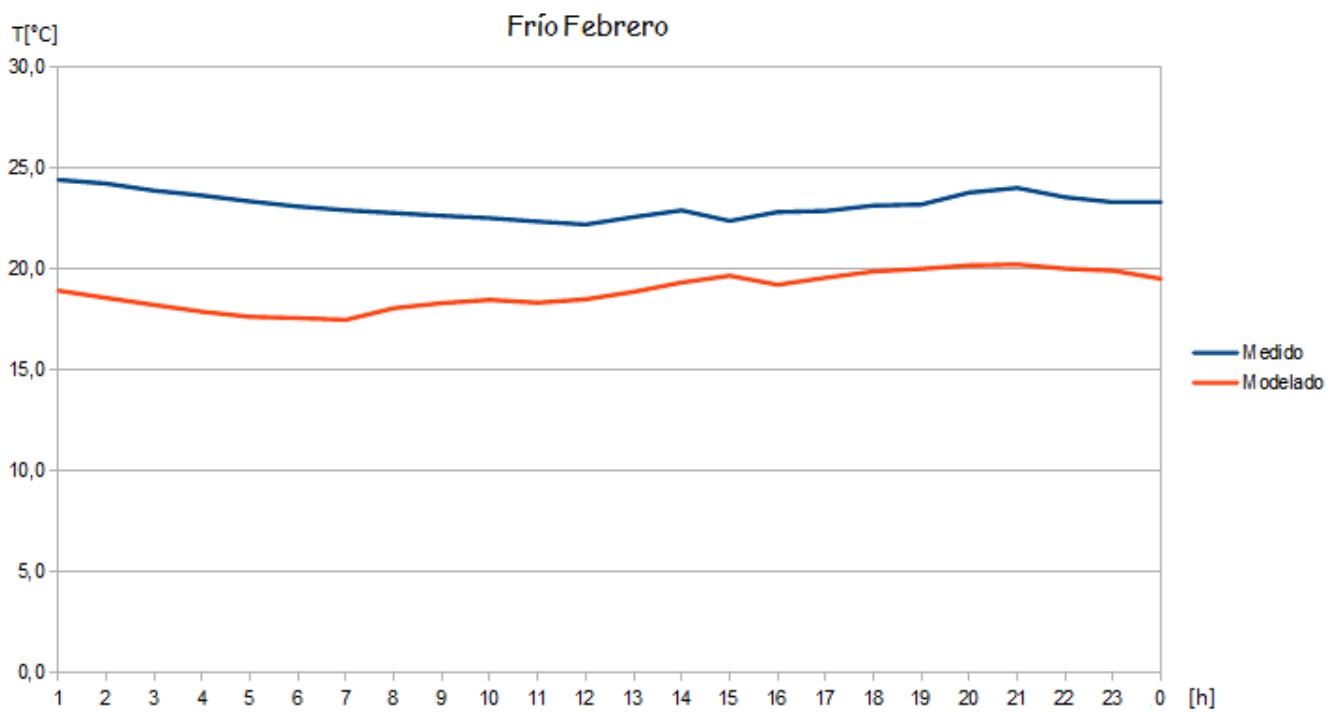


*Figura 5.4.4: Gráfico de un día frío de febrero modelado y medido, Temperatura [°C] vs hora*



Para el mes de junio se tienen las siguientes muestras para un día caluroso (figura 5.4.5) y uno frío (figura 5.4.6):

*Figura 5.4.5: Gráfico de un día caluroso de junio modelado y medido, Temperatura [°C] vs hora*

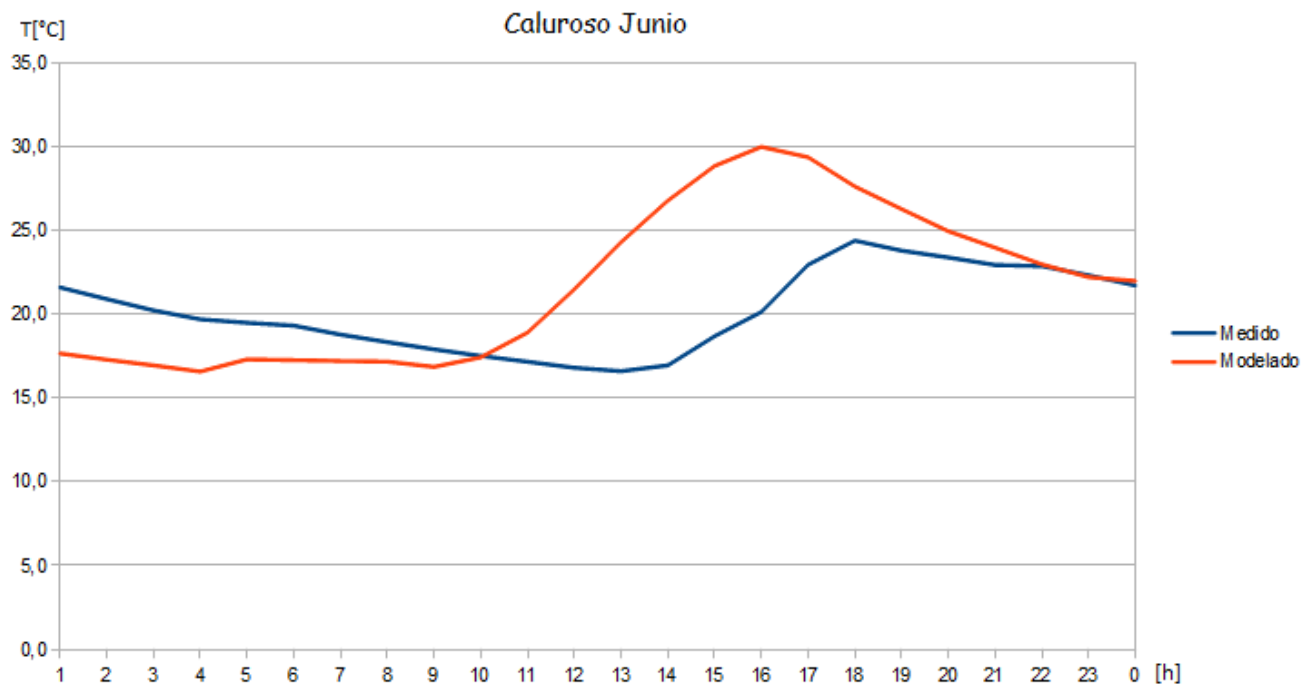
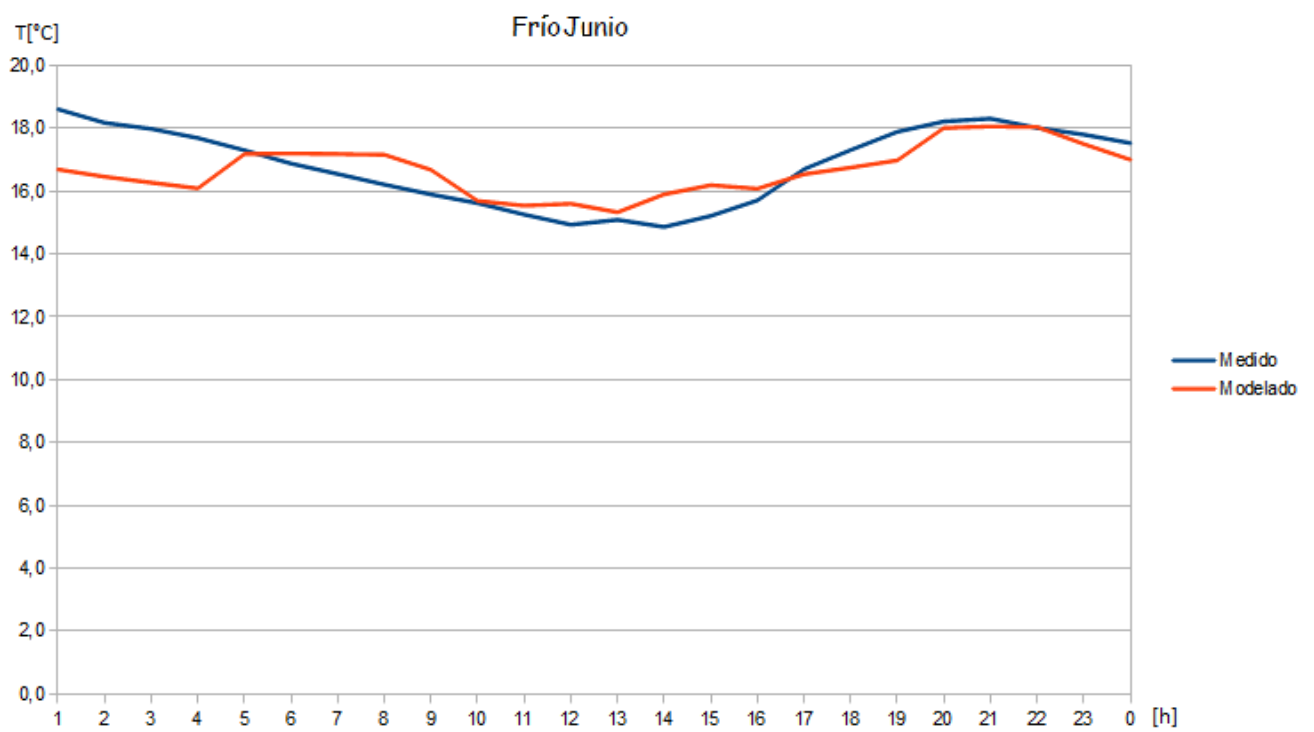


*Figura 5.4.6: Gráfico de un día frío de junio modelado y medido, Temperatura [°C] vs hora*



Destaca que para los días fríos el comportamiento modelado es similar al medido pudiendo estar un poco trasladado y con una forma más bien plana relacionada con la nubosidad y la baja influencia de la radiación directa. Para los días calurosos se ve un adelanto en la hora de máximo calor con respecto a lo medido y con un valor más elevado, mostrando una forma “sinodal” esperada. Este desfase puede ser explicado por los cambios en uso horario y las diferencias entre el real y el software, lo que cambiaría la hora del mediodía solar y las correspondientes altas temperaturas. Cabe destacar que los datos para el modelo no están relacionados realmente con los medidos, ya que el modelo representa un “año estándar” y estos fueron elegidos como representantes de cada muestra. La comparación entre estos dos es con el fin de validar la “forma” de la curva modelada versus la real, la cual podría mejorarse pero está dentro de rangos aceptables.

## 5.5 Conclusiones de la modelación con software

La modelación mostró ser cercana a las mediciones de temperatura obtenidas, con un error máximo absoluto de 6,9% para un mes con diferencias de temperatura del 7,1% con respecto al histórico. Los valores históricos de temperatura exterior del modelo respecto a la medición mostraron tres meses con error sobre 5%, mientras que la radiación mostró hasta un 36% de diferencias con el modelo. En cuanto a la forma de la curva se alcanzan máximos y mínimos tanto como un cambio horario similar, existe un leve retraso entre las horas punta de la medición y el modelo, pero esto no afecta en las horas totales finales de confort.

Para obtener simulaciones más certeras deberían considerarse períodos de medición más largos con los cuales comparar y utilizar datos de clima confiables. También afecta, pero en menor medida, el tipo de uso, los horarios o rutina de los usuarios para ventilación, calefacción o uso de electrodomésticos.

Es vital distinguir y corregir configuraciones que vienen por defecto en el programa, por ejemplo la climatización, nivel de hermeticidad, tipo y construcción de aislación, ya que deben ser adaptados a la realidad nacional. Por otra parte, el programa no especifica su definición de confort, por lo que es más confiable calcularlo con los datos obtenidos de temperatura, que son más “objetivos”.

Sin dudas se puede perfeccionar el modelo, pero a pesar de estas dificultades este mostró ser cercano a las mediciones, además considerando la bibliografía citada con un error del 5% como aceptable y obteniendo un error máximo por mes de 6,9% se considera suficiente para el objetivo de evaluar el confort térmico.

## 6.- Simulaciones

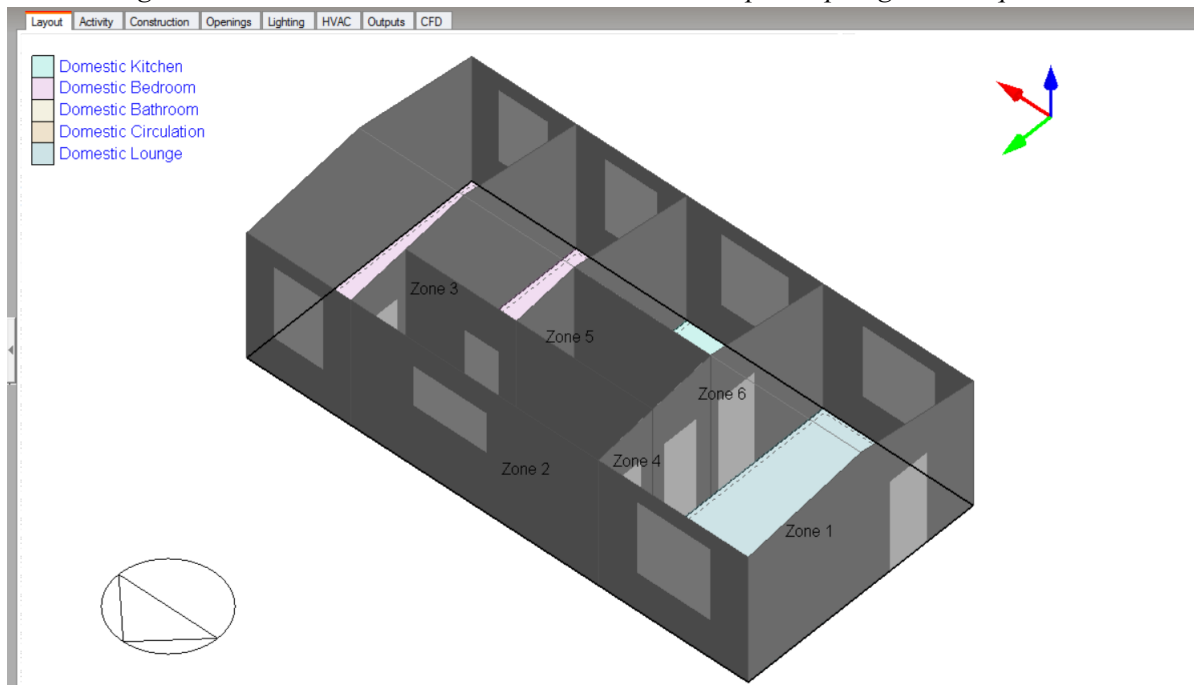
Después de haber validado el modelo con un caso existente, se procede a analizar casos teóricos representativos definidos en la sección “3.2 Viviendas de interés social”, para esto se toman las características seleccionadas y se evalúa el desempeño pasivo y activo, esto quiere decir cómo se comporta la casa sin y con calefacción, para esto es necesario definir un criterio de calefacción. Posteriormente se hace la misma evaluación, pero esta vez mejorando la aislación existente y evaluando económicamente los cambios simulados

### 6.1 Definición de modelo base

Los modelos base a los cuales se les harán las modificaciones serán los definidos según las características de la figura 3.2.4 de la sección “Viviendas de interés social”

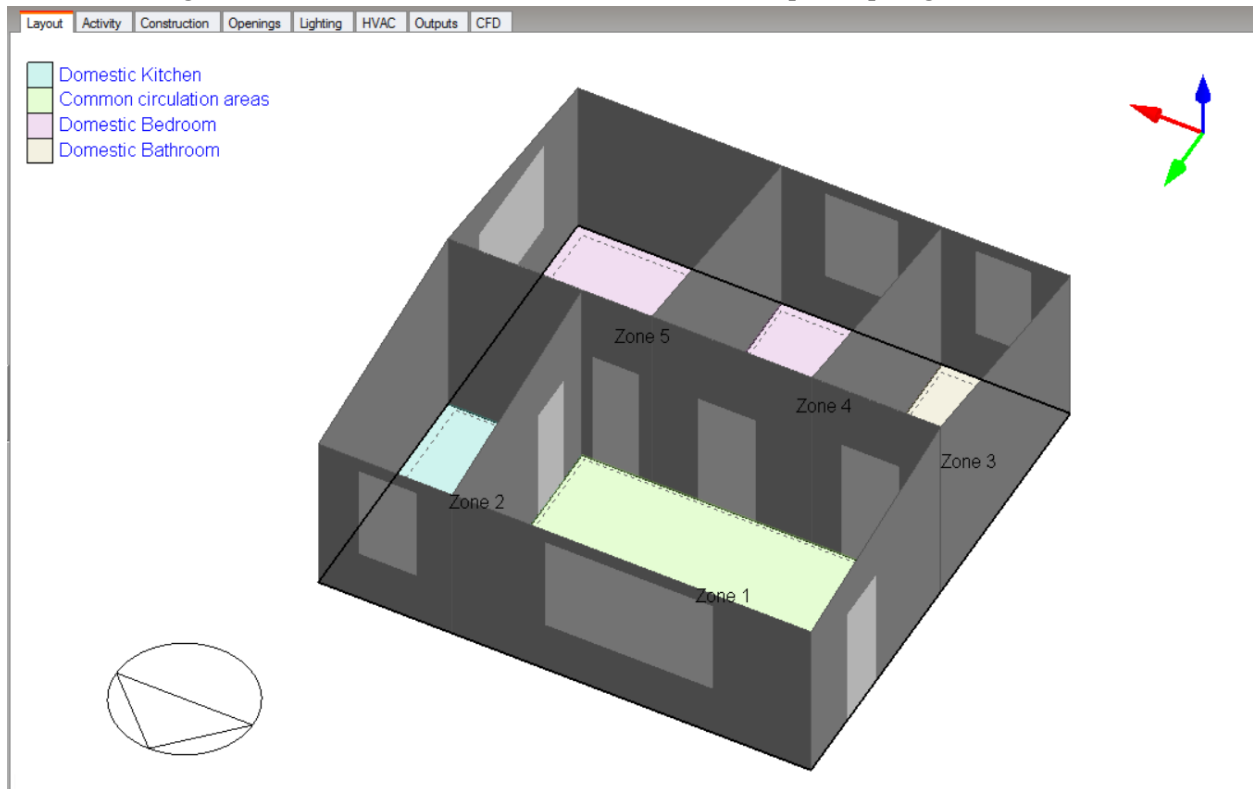
Para el caso “Tabiquería” se consideran  $5 \times 10$  [m] equivalentes a  $50$  [m<sup>2</sup>], con cuatro habitantes y con la distribución de habitaciones como se muestra en la figura 6.1.1:

*Figura 6.1.1: Distribución de habitaciones modelada para tipología “Tabiquería”.*



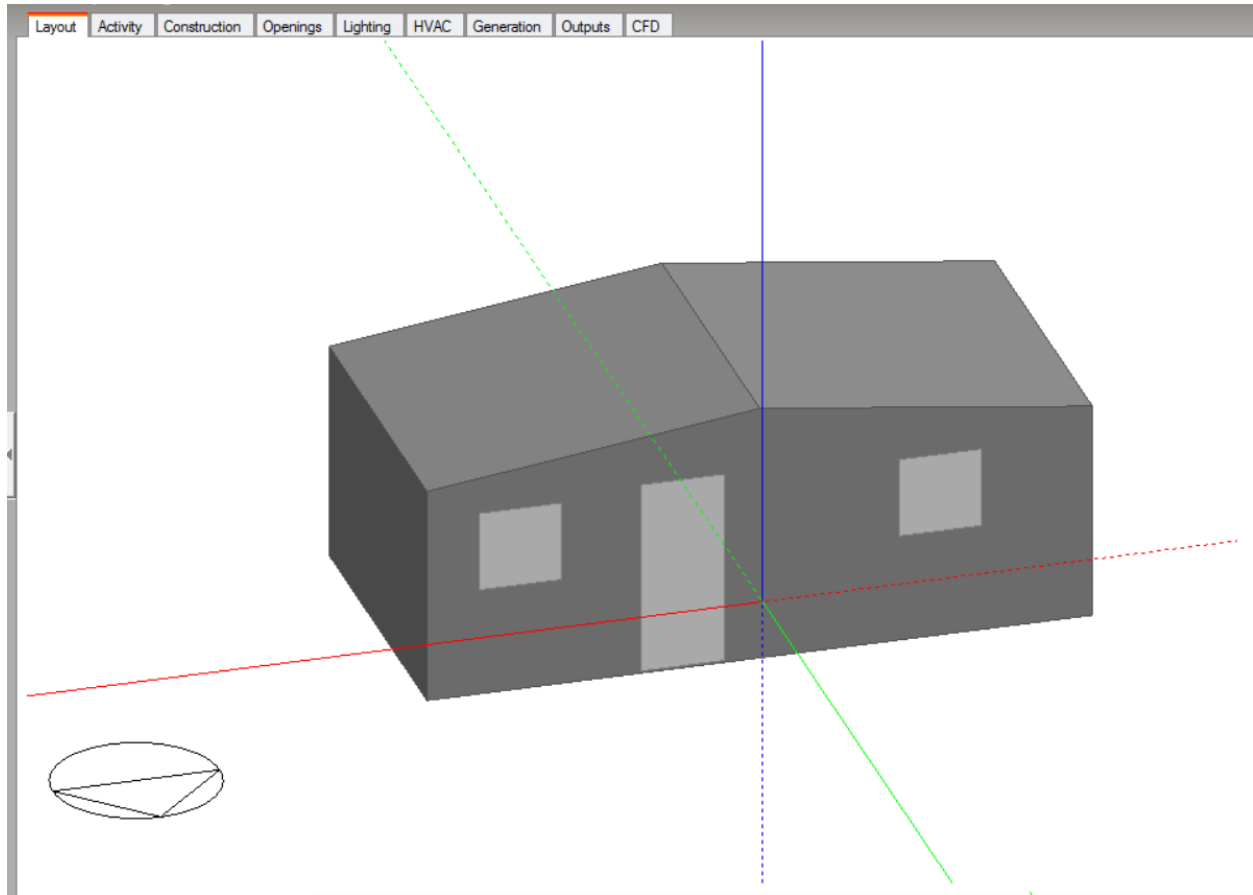
Para el caso “Ladrillo”, se considera 7x7 [m] equivalente a 49 [m<sup>2</sup>] y cuatro habitantes, con la distribución de habitaciones como se muestra en la figura.

*Figura 6.1.2: Distribución de habitaciones modelada para tipología “Ladrillo”.*



Para el caso “Mediagua” se considera 6x3 [m] equivalente a 18 [m<sup>2</sup>] con dos habitantes, como se muestra en la figura 6.1.3:

*Figura 6.1.3: Distribución modelada para tipología “Mediagua”.*



Todas las tipologías son evaluadas bajo las mismas condiciones ambientales en la ciudad de Valparaíso.

## 6.2 Resultados modelación original

Para los casos descritos anteriormente y bajo la aproximación “pasiva” o sin calefacción, se obtuvieron datos modelados, con los cuales se puede obtener directamente las horas de discomfort bajo los cálculos de “Designbuilder”, sin embargo, debido a ciertas inconsistencias en los resultados se calculó también de forma separada el tiempo de discomfort bajo el criterio entre 18 y 25 [°C]. Ambos datos se muestran en la figura 6.2.1, considerando promedios para toda la casa sin considerar los efectos internos por habitación. Donde los datos entregados por el software se describen como “% Discomfort DSB” y los calculados por criterio como “% discomfort Criterio”

*Figura 6.2.1: Tabla de porcentaje de tiempo de discomfort modelado según tipología y criterio de confort.*

| Original              |       |            |          |          |
|-----------------------|-------|------------|----------|----------|
|                       | FENIX | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| % Discomfort DSB      | 25    | 27         | 30       | 45       |
| % Discomfort Criterio | 48    | 60         | 56       | 79       |

En la figura se percibe una gran diferencia entre el confort entregado por el software y el calculado por criterio, pero destaca en mayor medida los altos grados de discomfort alcanzados, llegando a casi un 80% del tiempo para Mediagua y un mínimo cercano al 50% para FENIX.

Además del tiempo de discomfort, es importante analizar las distribuciones de temperatura y humedad, ya que estas reflejan el grado de discomfort, no siendo lo mismo una hora de discomfort a 15 [°C] que a 0 [°C]. El software también calcula estos índices, pero por los mismos motivos que los de tiempo de discomfort no se considerarán.

Para esto se utiliza una tabla donde se cuenta la cantidad de horas durante el año que tuvieron cierta temperatura [°C] en el eje vertical y cierta humedad relativa en % en el eje horizontal.

Las posiciones más frecuentes están marcadas en rojo y con degradés al verde para las menos frecuentes.

En la figura 6.2.2, la mediagua además de tener la mayor cantidad de tiempo en desconfort, tiene un gran rango temperaturas, entre 5 y 39 [°C] y un máximo en 12 [°C] con 100% HR, lo que se puede interpretar como que durante “mucho tiempo se pasa muy mal”.

*Figura 6.2.2: Tabla número de “mediciones” encontradas según temperatura [°C] y humedad relativa % para “Mediagua”*

| Mediagua |    |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| °C/%HR   | 10 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80   | 90   | 100  | Tot  |
| 5        |    |     |     |     |     |     |     |      |      | 3    | 3    |
| 6        |    |     |     |     |     |     |     |      | 2    | 3    | 5    |
| 7        |    |     |     |     |     |     |     |      | 1    | 25   | 26   |
| 8        |    |     |     |     |     |     |     | 1    | 8    | 67   | 76   |
| 9        |    |     |     |     |     | 2   | 5   | 8    | 26   | 137  | 178  |
| 10       |    |     |     |     |     | 5   | 23  | 38   | 55   | 222  | 343  |
| 11       |    |     |     |     | 3   | 16  | 27  | 71   | 117  | 358  | 592  |
| 12       |    |     |     |     | 2   | 24  | 48  | 81   | 180  | 415  | 750  |
| 13       |    |     |     | 4   | 13  | 23  | 71  | 113  | 223  | 385  | 832  |
| 14       |    |     |     | 1   | 24  | 39  | 85  | 148  | 231  | 305  | 833  |
| 15       |    |     | 3   | 3   | 21  | 52  | 87  | 111  | 222  | 220  | 719  |
| 16       |    |     | 2   | 12  | 37  | 64  | 89  | 142  | 211  | 191  | 748  |
| 17       |    |     | 3   | 19  | 44  | 63  | 103 | 113  | 186  | 120  | 651  |
| 18       |    | 1   | 6   | 28  | 39  | 82  | 83  | 94   | 96   | 33   | 462  |
| 19       |    | 3   | 14  | 27  | 66  | 61  | 60  | 53   | 54   | 12   | 350  |
| 20       |    |     | 16  | 61  | 65  | 60  | 66  | 32   | 22   |      | 322  |
| 21       |    | 1   | 23  | 51  | 84  | 64  | 37  | 13   | 1    |      | 274  |
| 22       |    | 3   | 26  | 58  | 82  | 57  | 17  | 5    |      |      | 248  |
| 23       |    | 1   | 46  | 53  | 65  | 27  | 13  | 1    |      |      | 206  |
| 24       |    | 4   | 45  | 70  | 62  | 21  | 5   |      |      |      | 207  |
| 25       |    | 9   | 48  | 71  | 26  | 6   |     |      |      |      | 160  |
| 26       |    | 11  | 48  | 61  | 26  | 1   |     |      |      |      | 147  |
| 27       |    | 19  | 62  | 64  | 17  | 1   |     |      |      |      | 163  |
| 28       |    | 10  | 59  | 39  | 9   |     |     |      |      |      | 117  |
| 29       |    | 17  | 67  | 23  | 1   |     |     |      |      |      | 108  |
| 30       | 1  | 16  | 46  | 8   |     |     |     |      |      |      | 71   |
| 31       | 1  | 21  | 33  | 2   |     |     |     |      |      |      | 57   |
| 32       | 2  | 15  | 19  |     |     |     |     |      |      |      | 36   |
| 33       | 2  | 13  | 12  |     |     |     |     |      |      |      | 27   |
| 34       |    | 12  | 6   |     |     |     |     |      |      |      | 18   |
| 35       |    | 14  | 2   |     |     |     |     |      |      |      | 16   |
| 36       |    | 7   | 1   |     |     |     |     |      |      |      | 8    |
| 37       |    | 3   |     |     |     |     |     |      |      |      | 3    |
| 38       |    | 3   |     |     |     |     |     |      |      |      | 3    |
| 39       |    | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      | 1    |
| Tot      | 6  | 184 | 587 | 655 | 686 | 668 | 819 | 1024 | 1635 | 2496 | 8760 |

Para la tipología tabiquería expuesta en la figura 6.2.3, se nota mejoría con respecto a mediagua, con menos valores extremos, con un rango entre 9 y 33 [°C], tanto como en el punto de mayor frecuencia con 14 [°C] con 80% de humedad, lo cual es levemente más cercano a la zona de confort.

*Figura 6.2.3: Tabla número de “mediciones” encontradas según temperatura [°C] y humedad relativa % para “Tabiquería”*

| Tabiquería |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
|------------|----|----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| °C/%HR     | 10 | 20 | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100 | Tot  |
| 5          |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 6          |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 7          |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 8          |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 9          |    |    |     |      |      |      |      | 1    | 4    |     | 5    |
| 10         |    |    |     |      |      |      | 2    | 15   | 15   | 2   | 34   |
| 11         |    |    |     |      |      |      | 1    | 39   | 59   | 8   | 107  |
| 12         |    |    |     |      |      | 1    | 24   | 81   | 136  | 11  | 253  |
| 13         |    |    |     |      | 1    | 3    | 47   | 218  | 245  | 47  | 561  |
| 14         |    |    |     |      | 7    | 48   | 104  | 307  | 217  | 25  | 708  |
| 15         |    |    |     |      | 34   | 62   | 147  | 258  | 143  | 10  | 654  |
| 16         |    |    |     | 10   | 61   | 91   | 153  | 256  | 115  | 6   | 692  |
| 17         |    |    | 3   | 24   | 67   | 106  | 176  | 260  | 80   | 2   | 718  |
| 18         |    |    | 9   | 40   | 84   | 94   | 160  | 246  | 70   | 1   | 704  |
| 19         |    | 3  | 15  | 37   | 98   | 108  | 156  | 225  | 35   |     | 677  |
| 20         |    | 1  | 22  | 73   | 105  | 124  | 163  | 149  | 24   |     | 661  |
| 21         |    | 1  | 33  | 75   | 110  | 121  | 153  | 65   | 15   |     | 573  |
| 22         |    | 1  | 52  | 79   | 135  | 133  | 77   | 10   |      |     | 487  |
| 23         |    | 4  | 55  | 100  | 140  | 70   | 28   | 2    |      |     | 399  |
| 24         |    | 7  | 66  | 111  | 122  | 38   | 15   |      |      |     | 359  |
| 25         |    | 14 | 74  | 126  | 93   | 7    | 2    |      |      |     | 316  |
| 26         |    | 13 | 72  | 111  | 40   | 3    |      |      |      |     | 239  |
| 27         |    | 9  | 81  | 93   | 26   |      |      |      |      |     | 209  |
| 28         |    | 9  | 62  | 62   | 10   |      |      |      |      |     | 143  |
| 29         |    | 5  | 78  | 45   | 3    |      |      |      |      |     | 131  |
| 30         |    | 4  | 59  | 15   | 2    |      |      |      |      |     | 80   |
| 31         |    | 6  | 19  | 8    |      |      |      |      |      |     | 33   |
| 32         |    | 1  | 12  |      |      |      |      |      |      |     | 13   |
| 33         |    |    | 4   |      |      |      |      |      |      |     | 4    |
| 34         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 35         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 36         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 37         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 38         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| 39         |    |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
| Tot        |    | 78 | 716 | 1009 | 1138 | 1009 | 1408 | 2132 | 1158 | 112 | 8760 |

Para ladrillo en la figura 6.2.3, se muestra que es levemente más acotado, con un rango entre 10 y 30 [°C] y con un máximo también de 14 [°C] con 80%, pero con mayor presencia en la zona cercana a los 18 [°C].

*Figura 6.2.4: Tabla número de “mediciones” encontradas según temperatura [°C] y humedad relativa % para “Ladrillo”*

| Ladrillo |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
|----------|----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|
| °C/%HR   | 10 | 20 | 30  | 40  | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100 | Tot  |
| 5        |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 6        |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 7        |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 8        |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 9        |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 10       |    |    |     |     |      |      |      | 7    | 7    | 1   | 15   |
| 11       |    |    |     |     |      |      | 10   | 34   | 41   | 5   | 90   |
| 12       |    |    |     |     | 1    | 4    | 31   | 103  | 148  | 25  | 312  |
| 13       |    |    |     | 5   | 7    | 55   | 88   | 244  | 239  | 83  | 721  |
| 14       |    |    | 2   | 6   | 46   | 81   | 145  | 301  | 199  | 38  | 818  |
| 15       |    |    | 7   | 21  | 42   | 114  | 181  | 271  | 137  | 16  | 789  |
| 16       |    |    | 6   | 24  | 53   | 138  | 173  | 250  | 107  | 12  | 763  |
| 17       |    |    | 7   | 34  | 72   | 115  | 183  | 244  | 89   | 6   | 750  |
| 18       |    |    | 6   | 57  | 78   | 117  | 204  | 185  | 65   | 3   | 715  |
| 19       |    |    | 18  | 88  | 76   | 151  | 198  | 218  | 36   | 2   | 787  |
| 20       |    |    | 18  | 81  | 97   | 153  | 225  | 161  | 22   |     | 757  |
| 21       |    | 1  | 20  | 72  | 125  | 193  | 192  | 88   | 16   |     | 707  |
| 22       |    | 1  | 19  | 88  | 141  | 152  | 87   | 25   | 1    |     | 514  |
| 23       |    | 1  | 18  | 92  | 138  | 73   | 16   |      |      |     | 338  |
| 24       |    |    | 13  | 98  | 110  | 29   | 4    |      |      |     | 254  |
| 25       |    |    | 28  | 97  | 49   | 10   |      |      |      |     | 184  |
| 26       |    |    | 39  | 83  | 18   | 5    |      |      |      |     | 145  |
| 27       |    |    | 25  | 40  | 4    | 1    |      |      |      |     | 70   |
| 28       |    |    | 5   | 18  |      |      |      |      |      |     | 23   |
| 29       |    |    | 2   | 4   |      |      |      |      |      |     | 6    |
| 30       |    |    | 2   |     |      |      |      |      |      |     | 2    |
| 31       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 32       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 33       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 34       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 35       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 36       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 37       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 38       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| 39       |    |    |     |     |      |      |      |      |      |     |      |
| Tot      |    | 3  | 235 | 908 | 1057 | 1391 | 1737 | 2131 | 1107 | 191 | 8760 |

Por último, el mejor resultado se da para el caso de Casa FENIX HC, que al analizar la figura 6.2.5 muestra un rango entre 11 y 32 [°C], con un máximo de 20 [°C] y 70% pero con gran presencia entre 16 y 21 [°C]

*Figura 6.2.5: Tabla número de “mediciones” encontradas según temperatura [°C] y humedad relativa % para “FENIX”*

| FENIX  |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
|--------|----|----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| °C/%HR | 10 | 20 | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90  | 100 | Tot  |
| 5      |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 6      |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 7      |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 8      |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 9      |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 10     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 11     |    |    |     |      |      |      | 3    | 6    | 8   |     | 17   |
| 12     |    |    |     |      |      | 1    | 14   | 25   | 25  |     | 65   |
| 13     |    |    |     |      |      | 5    | 47   | 92   | 98  | 6   | 248  |
| 14     |    |    |     |      | 4    | 19   | 101  | 259  | 129 | 11  | 523  |
| 15     |    |    |     |      | 9    | 57   | 199  | 258  | 81  | 6   | 610  |
| 16     |    |    |     | 1    | 53   | 130  | 266  | 204  | 42  | 2   | 698  |
| 17     |    |    |     | 6    | 76   | 162  | 262  | 207  | 28  |     | 741  |
| 18     |    |    | 3   | 31   | 82   | 165  | 253  | 175  | 18  |     | 727  |
| 19     |    |    | 7   | 49   | 93   | 184  | 256  | 137  | 14  |     | 740  |
| 20     |    |    | 20  | 67   | 130  | 198  | 276  | 112  | 11  |     | 814  |
| 21     |    | 2  | 24  | 93   | 130  | 190  | 253  | 75   |     |     | 767  |
| 22     |    | 1  | 36  | 117  | 194  | 171  | 137  | 33   | 2   |     | 691  |
| 23     |    |    | 50  | 122  | 168  | 136  | 64   | 3    |     |     | 543  |
| 24     |    | 1  | 60  | 149  | 189  | 57   | 6    |      |     |     | 462  |
| 25     |    | 5  | 72  | 170  | 111  | 21   |      |      |     |     | 379  |
| 26     |    | 7  | 78  | 138  | 60   | 6    |      |      |     |     | 289  |
| 27     |    | 6  | 66  | 93   | 15   |      |      |      |     |     | 180  |
| 28     |    | 15 | 66  | 55   | 8    |      |      |      |     |     | 144  |
| 29     |    | 12 | 27  | 16   |      |      |      |      |     |     | 55   |
| 30     |    | 7  | 21  | 13   |      |      |      |      |     |     | 41   |
| 31     |    | 5  | 14  | 1    |      |      |      |      |     |     | 20   |
| 32     |    | 1  | 5   |      |      |      |      |      |     |     | 6    |
| 33     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 34     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 35     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 36     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 37     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 38     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| 39     |    |    |     |      |      |      |      |      |     |     |      |
| Tot    |    | 62 | 549 | 1121 | 1322 | 1502 | 2137 | 1586 | 456 | 25  | 8760 |

Se nota cómo a medida que mejora la aislación aumenta la temperatura promedio interior tanto como disminuye la humedad relativa, además de acotar el rango de las “mediciones” a través de inercia térmica, ambos factores aportando a aumentar notablemente el confort.

Además, como se expone en las tablas anteriores, el amplio rango obtenido explica dos “tipos” de discomfort dependiendo de si se origina por temperaturas bajas o temperaturas frías, los datos calculados a partir de las tablas anteriores se muestran en la figura 6.2.6:

*Figura 6.2.6: Tabla discomfort según zona temperatura por tipología constructiva*

| Originales |       |            |          |          |
|------------|-------|------------|----------|----------|
|            | FENIX | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| Frío       | 33%   | 43%        | 49%      | 66%      |
| Confort    | 54%   | 44%        | 46%      | 24%      |
| Calor      | 13%   | 13%        | 5%       | 10%      |

Se deduce que la mayor parte del discomfort se explica por las bajas temperaturas, siendo estas mayores en los casos con baja aislación, y para los casos con mejor aislación se obtienen mejores niveles de confort, pero a la vez mayores niveles de discomfort en la zona de calor.

Cabe destacar que debido a que los datos utilizados para calcular los porcentajes de tiempo en la tabla 6.2.6, valores en tablas 6.2.2 hasta 6.2.5, se utilizan valores con aproximación al número entero más cercano, se presentan leves diferencias entre los valores de discomfort entre las tablas 6.2.1 y la tabla 6.2.6, de alrededor del 2%.

Al momento de considerar calefacción existe la dificultad, de definir horarios, temperaturas de encendido y apagado, tecnología y tipo de combustible, por lo que el criterio de modelamiento será la mínima calefacción necesaria para llegar al confort, lo que significa que se pondrá como temperatura mínima aceptable 18 [°C], siendo la diferencia entre ésta y la temperatura interior de la casa pasiva aportada por calefacción. Como combustible se considera parafina con las características resumidas en la figura 6.2.7:

*Figura 6.2.7: Tabla características Parafina*

| Características Parafina  |             |
|---------------------------|-------------|
| Poder calorífico inferior | 42 [MJ/kg]  |
| Densidad                  | 0,8 [kg/lt] |
| Precio                    | 500 [\$/lt] |

Con esto definido y considerando un precio de dólar de 660 CLP, los datos modelados para una casa con calefacción para temperatura mínima permisible de 18 [°C] se muestran en la figura 6.2.8:

*Figura 6.2.8: Tabla de desempeño de vivienda con calefacción para 18 [°C] mínimos según tipología*

| Calefacción 18C       |        |            |          |          |
|-----------------------|--------|------------|----------|----------|
|                       | FENIX  | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| Calefacción           |        |            |          |          |
| % Discomfort DSB      | 25     | 27         | 29       | 7        |
| % Discomfort Criterio | 12     | 10         | 4        | 10       |
| [KWh/año] aportado    | 2000   | 3370       | 4493     | 5000     |
| [KWh/m2año]           | 22     | 67         | 92       | 278      |
| Costo [\$/año]        | \$ 160 | \$ 270     | \$ 370   | \$ 410   |

Para este caso destaca que el confort mejora notablemente, pero a expensas del calor aportado, siendo inversamente proporcional a la aislación tanto en [kWh/Año] como por [kWh/m²Año], donde Mediagua utiliza casi 13 veces más de energía para calefaccionar cada metro cuadrado que FENIX, lo que se refleja en los costos, donde a pesar de ser la más pequeña, Mediagua gasta más del doble que FENIX con \$410 al año. También destaca que FENIX tiene ahora los mayores niveles de discomfort, siendo esto explicado ya que en general el discomfort se encuentra en las zonas frías y al tener mayores temperaturas el discomfort en FENIX se ve menos paliado por calefacción que en las otras, sin embargo, en la realidad esta zona se enfrenta por ventilación, lo cual no necesita energía externa.

## 6.3 Resultados modelación con mejoras

Teniendo una evaluación del estado dos casos representativos viviendas de vivienda de interés social, uno en el extremo bueno y otro en el extremo malo, se pueden evaluar las posibles mejoras.

Cabe destacar que por norma actual (O.G.U.C, 2016) y por próximas actualizaciones (NTM 011/2, 2014), la aislación debiera concentrarse en el techo, después en paredes y después en suelo y ventanas, pero esto varía considerablemente de caso a caso, por lo que para mejorar de manera más eficiente se deberían utilizar las herramientas del software para analizar la transferencia de calor por cada elemento constructivo, pero para este caso genérico se consideran los casos más simples y extrapolables, donde se agrega a las viviendas existentes aislación por etapas y sin considerar las ventanas.

En este caso se agregarán 50 [mm] de Poliestireno Expandido Estándar (EPS por sus siglas en ingles), pero sin considerar calefacción. En la figura 6.3.1 se muestra cómo afecta al confort agregar aislación acumulativamente, donde cada mejora contiene a la anterior.

*Figura 6.3.1: Tabla de porcentaje de tiempo de disconfort sin calefacción según mejoras de aislación acumulativas por criterios de confort y tipología constructiva.*

| Mejorados                       |       |            |          |          |
|---------------------------------|-------|------------|----------|----------|
|                                 | Fénix | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| Techo +50mm EPS                 |       |            |          |          |
| % Disconfort DSB                | -     | 27         | 29       | 45       |
| % Disconfort Criterio           | -     | 59         | 56       | 77       |
| Techo + Pared +50mm EPS         |       |            |          |          |
| % Disconfort DSB                | -     | 26         | 27       | 45       |
| % Disconfort Criterio           | -     | 57         | 51       | 75       |
| Techo + Pared + Suelo +50mm EPS |       |            |          |          |
| % Disconfort DSB                | -     | 25         | 24       | 45       |
| % Disconfort Criterio           | -     | 55         | 43       | 74       |

Donde en “Techo + 50mm EPS” se agregan 50 [mm] en el techo, en “Techo + Pared + 50mm EPS”, se considera techo mejorado más pared mejorada, y en “Techo + Pared + Suelo + 50mm EPS”. Se considera techo mejorado más pared mejorada más suelo mejorado. Destaca que las mejoras para “% Confort Criterio” no son sustanciales siendo la máxima de 13% para ladrillo, seguida por 4% para tabiquería y 3% para mediagua.

En parte se explica porque corta en un par de grados los máximos y mínimos no llegando a la zona de confort, además la aislación reduce la transferencia de calor, por lo que necesita una fuente por un lado, de otra forma no afecta en nada si ambos interior y exterior están a la misma temperatura. Para esto es que se utilizan como fuentes de calor las ganancias solares o la calefacción, pero debido a que los casos de estudio no fueron diseñados para la ganancia solar se debe considerar la calefacción.

Para esto y como en los casos anteriores se resumen los datos modelados en la figura 6.3.2 para mejoras acumulativas de aislación, pero esta vez con calefacción, considerando parafina con las mismas características anteriormente descritas. También se calcula el costo (solo material) de la aislación con un costo para EPS de 1495 [\$/m²].

*Figura 6.3.2: Tabla de desempeño con calefacción según mejoras de aislación acumulativas por tipología constructiva.*

| Calefacción 18C                 |        |            |          |          |
|---------------------------------|--------|------------|----------|----------|
|                                 | FENIX  | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| Calefacción                     |        |            |          |          |
| % Discomfort DSB                | 25     | 27         | 29       | 7        |
| % Discomfort Criterio           | 12     | 10         | 4        | 10       |
| [KWh/año] aportado              | 2000   | 3370       | 4493     | 5000     |
| [KWh/m2año]                     | 22     | 67         | 92       | 278      |
| Costo [\$/año]                  | \$ 160 | \$ 270     | \$ 370   | \$ 410   |
| Techo +50mm EPS                 |        |            |          |          |
| % Discomfort DSB                | -      | 27         | 29       | 7        |
| % Discomfort Criterio           | -      | 10         | 4        | 9        |
| [KWh/año] aportado              | -      | 3189       | 4378     | 4169     |
| [KWh/m2año]                     | -      | 64         | 89       | 232      |
| Mejora %                        | -      | 5%         | 3%       | 17%      |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 260     | \$ 360   | \$ 340   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 110     | \$ 110   | \$ 40    |
| Techo + Pared +50mm EPS         |        |            |          |          |
| % Discomfort DSB                | -      | 26         | 26       | 7        |
| % Discomfort Criterio           | -      | 10         | 4        | 8        |
| [KWh/año] aportado              | -      | 2701       | 2851     | 2734     |
| [KWh/m2año]                     | -      | 54         | 58       | 152      |
| Mejora %                        | -      | 20%        | 37%      | 45%      |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 220     | \$ 230   | \$ 220   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 300     | \$ 280   | \$ 130   |
| Techo + Pared + Suelo +50mm EPS |        |            |          |          |
| % Discomfort DSB                | -      | 25         | 24       | 6        |
| % Discomfort Criterio           | -      | 10         | 3        | 12       |
| [KWh/año] aportado              | -      | 2474       | 1762     | 1983     |
| [KWh/m2año]                     | -      | 49         | 36       | 110      |
| Mejora %                        | -      | 27%        | 61%      | 60%      |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 200     | \$ 140   | \$ 160   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 410     | \$ 390   | \$ 170   |

Aquí destaca como la aislación afecta significativamente al consumo de calor en calefacción, pero a diferentes grados según etapa, alcanzando una reducción máxima del 61% en ladrillo, 60% en mediagua y 27% en tabiquería. Cuando esto se lleva a dinero y Payback, se obtiene la figura 6.3.3:

*Figura 6.3.3: Tabla de desempeño costos con calefacción según mejoras de aislación acumulativas por tipología constructiva.*

| Costos                          |        |            |          |          |
|---------------------------------|--------|------------|----------|----------|
|                                 | FENIX  | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| Solo Calefacción                |        |            |          |          |
| Costo Calefacción [\$/año]      | \$ 160 | \$ 270     | \$ 370   | \$ 410   |
| Techo +50mm EPS                 |        |            |          |          |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 260     | \$ 360   | \$ 340   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 110     | \$ 110   | \$ 40    |
| Ahorro Calefacción [\$/Año]     | -      | \$ 10      | \$ 10    | \$ 70    |
| Payback [Año]                   | -      | 11,0       | 11,0     | 0,6      |
| Techo + Pared +50mm EPS         |        |            |          |          |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 220     | \$ 230   | \$ 220   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 300     | \$ 280   | \$ 130   |
| Ahorro Calefacción [\$/Año]     | -      | \$ 50      | \$ 140   | \$ 190   |
| Payback [Año]                   | -      | 6,0        | 2,0      | 0,7      |
| Techo + Pared + Suelo +50mm EPS |        |            |          |          |
| Costo calefacción [\$/año]      | -      | \$ 200     | \$ 140   | \$ 160   |
| Costo aislación \$              | -      | \$ 410     | \$ 390   | \$ 170   |
| Ahorro Calefacción [\$/Año]     | -      | \$ 70      | \$ 230   | \$ 250   |
| Payback [Año]                   | -      | 5,9        | 1,7      | 0,7      |

Destaca que en todos los casos para Mediagua la inversión se paga en menos de un año por los ahorros generados, mientras que para Tabiquería y Ladrillo varía, superando en Ladrillo y Tabiquería en Techo los 10 años.

También se concluye que para cada tipología de casa la aislación tiene diferentes efectos, siendo en Ladrillo la mejora más notable para pared, mientras que para Tabiquería y Mediagua cada mejora tiene un impacto similar a las anteriores.

## 7.- Análisis

Con los datos obtenidos se pueden analizar en diferentes áreas el desempeño de la construcción y sus mejoras. Se puede empezar por comparar la información modelada con la norma vigente y así distinguir si se trata de un error de diseño o de ejecución.

### 7.1 Norma

La norma vigente es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) con última publicación de actualizaciones en marzo de 2016. Esta norma indica en la sección 4.1.10 los niveles de aislación permisibles por zona térmica, mostrados en la figura 7.1.1 a continuación.

*Figura 7.1.1: Tabla de conductividades permitidas según elemento constructivo y zona térmica según O.G.U.C. 4.1.10*

| ZONA | TECHUMBRE          |                    | MUROS              |                    | PISOS VENTILADOS   |                    |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|      | U                  | Rt                 | U                  | Rt                 | U                  | Rt                 |
|      | W/m <sup>2</sup> K | m <sup>2</sup> K/W | W/m <sup>2</sup> K | m <sup>2</sup> K/W | W/m <sup>2</sup> K | m <sup>2</sup> K/W |
| 1    | 0,84               | 1,19               | 4,0                | 0,25               | 3,60               | 0,28               |
| 2    | 0,60               | 1,67               | 3,0                | 0,33               | 0,87               | 1,15               |
| 3    | 0,47               | 2,13               | 1,9                | 0,53               | 0,70               | 1,43               |
| 4    | 0,38               | 2,63               | 1,7                | 0,59               | 0,60               | 1,67               |
| 5    | 0,33               | 3,03               | 1,6                | 0,63               | 0,50               | 2,00               |
| 6    | 0,28               | 3,57               | 1,1                | 0,91               | 0,39               | 2,56               |
| 7    | 0,25               | 4,00               | 0,6                | 1,67               | 0,32               | 3,13               |

Se busca obtener un valor U igual o menor que el indicado según el elemento y zona térmica. Sin embargo, esta norma no cumple con los estándares internacionalmente deseados, es por esto que se trabaja en un anteproyecto de norma (NTM 011/2 2014) para mejorar estos índices, obteniéndose los valores propuestos en la figura 7.1.2 en la siguiente página:

Figura 7.1.2: Tabla de conductividades permitidas según elemento constructivo y zona térmica según NTM 011/2 2014

| Zona Térmica | Complejo de techumbre |         | Complejo de muro |         | Complejo de piso |         | Complejo de puerta |         |
|--------------|-----------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|
|              | U                     | Rt      | U                | Rt      | U                | Rt      | U                  | Rt      |
|              | W/(m²K)               | (m²K)/W | W/(m²K)          | (m²K)/W | W/(m²K)          | (m²K)/W | W/(m²K)            | (m²K)/W |
| A            | 0,84                  | 1,19    | 2,10             | 0,48    | 3,60             | 0,28    | ---                | ---     |
| B            | 0,47                  | 2,13    | 0,50             | 2,00    | 0,70             | 1,43    | 1,00               | 1,00    |
| C            | 0,47                  | 2,13    | 0,80             | 1,25    | 0,87             | 1,15    | 1,20               | 0,83    |
| D            | 0,38                  | 2,63    | 0,60             | 1,67    | 0,70             | 1,43    | 1,20               | 0,83    |
| E            | 0,33                  | 3,03    | 0,50             | 2,00    | 0,60             | 1,67    | 1,00               | 1,00    |
| F            | 0,28                  | 3,57    | 0,45             | 2,22    | 0,50             | 2,00    | 1,00               | 1,00    |
| G            | 0,25                  | 4,00    | 0,30             | 3,33    | 0,32             | 3,13    | 1,00               | 1,00    |
| H            | 0,28                  | 3,57    | 0,40             | 2,50    | 0,39             | 2,56    | 0,80               | 1,25    |
| I            | 0,25                  | 4,00    | 0,35             | 2,86    | 0,32             | 3,13    | 0,80               | 1,25    |

De las normas anteriormente citadas y con los datos constructivos se obtiene el resumen de conductividades reales y permitidas mostrado en la figura 7.1.3:

Figura 7.1.3: Tabla de conductividades permitidas según elemento constructivo y zona térmica según NTM 011/2 2014

| Original        |       |       |       |            |          |          |
|-----------------|-------|-------|-------|------------|----------|----------|
|                 | OGUC  | NTM   | FENIX | Tabiquería | Ladrillo | Mediagua |
| U Techo [W/m²k] | 0,600 | 0,470 | 0,350 | 0,400      | 0,380    | 375,460  |
| U Pared [W/m²k] | 3,000 | 0,800 | 0,374 | 0,727      | 5,143    | 14,167   |
| U Suelo [W/m²k] | 0,870 | 0,870 | 0,350 | 0,700      | 13,275   | 6,800    |

Se concluye que FENIX y Tabiquería cumplen para las dos normas en todas las categorías, mientras que ladrillo solo cumple en categoría “Techo” para las dos normas, y Mediagua no cumple ninguna. Ya se puede distinguir que por definición existe un problema en la categoría Ladrillo debido a que en las condiciones actuales no cumple la norma, igualmente que Mediagua, aunque en teoría esta no es vivienda definitiva por lo que su función es de transición. También destaca que la norma actual es muy blanda en cuanto a el valor U en las paredes, es por esto que el anteproyecto sube el estándar y de esta forma deberían reducirse la cantidad de construcciones habilitadas para certificarse.

## 7.2 Confort Térmico

Conociendo el estado legal de la construcción, es necesario saber si éste se manifiesta realmente como bienestar en las personas. Para esto se comentan los resultados obtenidos anteriormente.

Cuando se analiza la tipología “Tabiquería”, se sabe que cumple la norma, sin embargo se tiene un 60% de tiempo de disconfort sin climatización, mientras que “Ladrillo” no cumple la norma pero tiene 56% de tiempo de disconfort sin climatización. Esto demuestra que el hecho de cumplir la norma no asegura confort, ya que también afectan otros factores como la inercia térmica o la “climatización pasiva”. Esto se ejemplifica en FENIX con un 48% de tiempo de disconfort sin climatización activa, pero con un diseño bioclimático que aumenta las ganancias solares y las retiene con buena aislación. Para el caso Mediagua, el cual no cumple ninguna norma, se tienen los peores índices de aislación y se obtiene un 79% de tiempo de disconfort sin climatización.

Debido a que para la zona climática de Valparaíso la mayor parte del disconfort se explica por las bajas temperaturas, se debe analizar la calefacción activa (entregar energía explícitamente al sistema) para aumentar el confort, donde para obtener un confort mínimo con 18 [°C] interiores si se obtiene una diferencia entre las viviendas que cumplen la norma y las que no, esta vez consumiendo Tabiquería 67 [kWh] por cada metro al año, mientras que Ladrillo consume 92 [kWh] por cada metro al año. Como es de esperar, Mediagua tiene un alto consumo con 278 [kWh] por cada metro al año, mientras que FENIX consume 22 [kWh] por cada metro al año.

Esto muestra explícitamente cómo las consideraciones de diseño, como la aislación térmica y el aumento de ganancias pasivas ayuda no solo a tener mejores niveles de confort, sino también a ahorrar a largo plazo y disminuir contaminación y riesgo de incendio.

Teniendo los valores originales modelados, se analizan el desempeño de mejoras en la aislación térmica de la envolvente para las mismas condiciones, nuevamente se destaca que la implementación de aislación por sí sola no es suficiente para aumentar los niveles de confort, disminuyendo el disconfort en 3% mediagua, 4% para tabiquería y 13% en ladrillo para aislación extra en techo, paredes y suelo. No se consideraron ventanas ni puertas debido a que requieren un estudio y cotización más específico dependiendo de cada caso en comparación con la opción elegida de agregar planchas estándar de EPS, aplicable por igual a todas las viviendas.

Sin embargo, las mejoras son notorias al momento de considerar calefacción, alcanzando una mejora del 27% tabiquería, 61% para ladrillo y 60% mediagua para mejora en techo paredes y suelo. Destaca que las mejoras no son lineales, debido a las diferentes influencias dentro de cada vivienda de la materialidad constructiva.

Esto se refleja en la disminución del calor aportado por metro cuadrado, lo que representa la eficiencia de calefacción. Este ahorro generado paga la inversión efectuada con diferente velocidad, siendo menor a un año en Mediagua para todas las mejoras, y yendo desde 11 a 2 años para las Ladrillo y Tabiquería en diferentes niveles de mejora.

También es cierto que el criterio de calefacción no es del todo realista, ya que por simple inspección en la ciudad de Valparaíso se puede saber que el uso de calefacción no es el suficiente como para alcanzar confort térmico en todas las construcciones en todos los periodos del año, dependiendo de cada caso y acercándose a un caso más realista, si se reduce a la mitad el calor aportado con respecto al simulado, se doble el tiempo de Payback, y si se utiliza un cuarto del calor aportado con respecto al simulado, se cuadruplica el tiempo de Payback. Sin embargo, si se consideran las ganancias pasivas como en casa FENIX se puede reducir aún más el consumo de combustible teniendo este menor costo total de calefacción que todas las otras, siendo que es casi dos veces más grande que ladrillo y Tabiquería en metros cuadrados, y casi cinco veces más grande que Mediagua.

En términos generales se concluye que debido al clima templado de la zona, históricamente no se ha puesto énfasis en mejorar el desempeño térmico de las construcciones, sin embargo la modelación muestra que debido los periodos fríos se alcanzan altos niveles de discomfort, reflejado en malestar de las personas en la vida diaria, los cuales por simples medidas a la hora del diseño, como son buena aislación, ventanales en la fachada norte o inercia térmica pueden aumentar el confort incluso sin climatización, y cuando se agrega calefacción se puede disminuir su uso.

Las consideraciones de la norma van en buen camino al mejorar la calidad de la aislación, sin embargo esta sola no es la respuesta única, ya que se debe considerar el contexto en el cual se desea construir, y mientras más personalizado sea el estudio, mejores resultados se podrán obtener. Esto se ejemplifica al comparar la casa FENIX en su estado original y Tabiquería con mejoras, alcanzando niveles similares de aislación, a pesar de esto se tiene una diferencia de 7% a favor de FENIX.

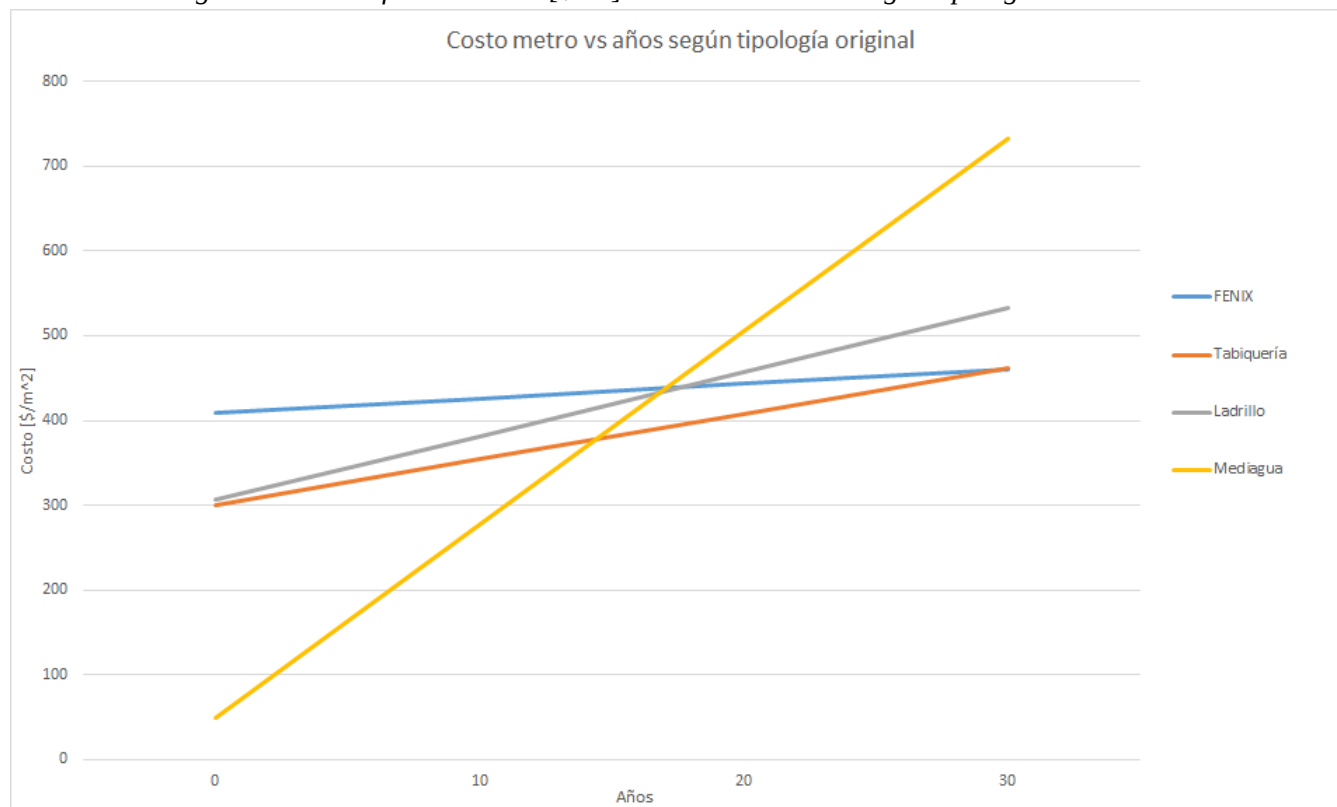
Por otra parte, cuando se relacionan los valores de inversión en la construcción (figura 3.2.4) con los valores de calefacción anual (figura 6.2.8), se puede calcular el costo acumulado en dólares para cierta cantidad de años. Para comparar las diferentes construcciones también se calcula el costo por metro cuadrado, estos datos calculados se muestran en la figura 7.2.1 en la siguiente página.

Figura 7.2.1: Tabla costos por años de uso según tipología constructiva

| Inversión mas operación a largo plazo |           |            |           |           |
|---------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                                       | FENIX     | Tabiquería | Ladrillo  | Mediagua  |
| 10 años                               |           |            |           |           |
| [\$] total                            | \$ 39.600 | \$ 17.700  | \$ 18.700 | \$ 5.000  |
| [\$] por metro                        | \$ 426    | \$ 354     | \$ 382    | \$ 278    |
| 20 años                               |           |            |           |           |
| [\$] total                            | \$ 41.200 | \$ 20.400  | \$ 22.400 | \$ 9.100  |
| [\$] por metro                        | \$ 443    | \$ 408     | \$ 457    | \$ 506    |
| 30 años                               |           |            |           |           |
| [\$] total                            | \$ 42.800 | \$ 23.100  | \$ 26.100 | \$ 13.200 |
| [\$] por metro                        | \$ 460    | \$ 462     | \$ 533    | \$ 733    |

Se distingue claramente que en términos absolutos FENIX es más cara, seguido por Ladrillo, Tabiquería y por último Mediagua, sin embargo al analizar el costo por metro cuadrado si se nota eficiencia de aislación, ya que a medida que pasa el tiempo, el gasto acumulado por metro cuadrado de Mediagua es mayor que las otras tipologías, y disminuye a medida que la aislación es mejor, donde los efectos son más notorios a largo plazo. Esto se muestra al graficar los costos por metro cuadrado respecto al tiempo en la figura 7.2.2.

Figura 7.2.2: Gráfico de costos [\$/m<sup>2</sup>] versus años de uso según tipología constructiva



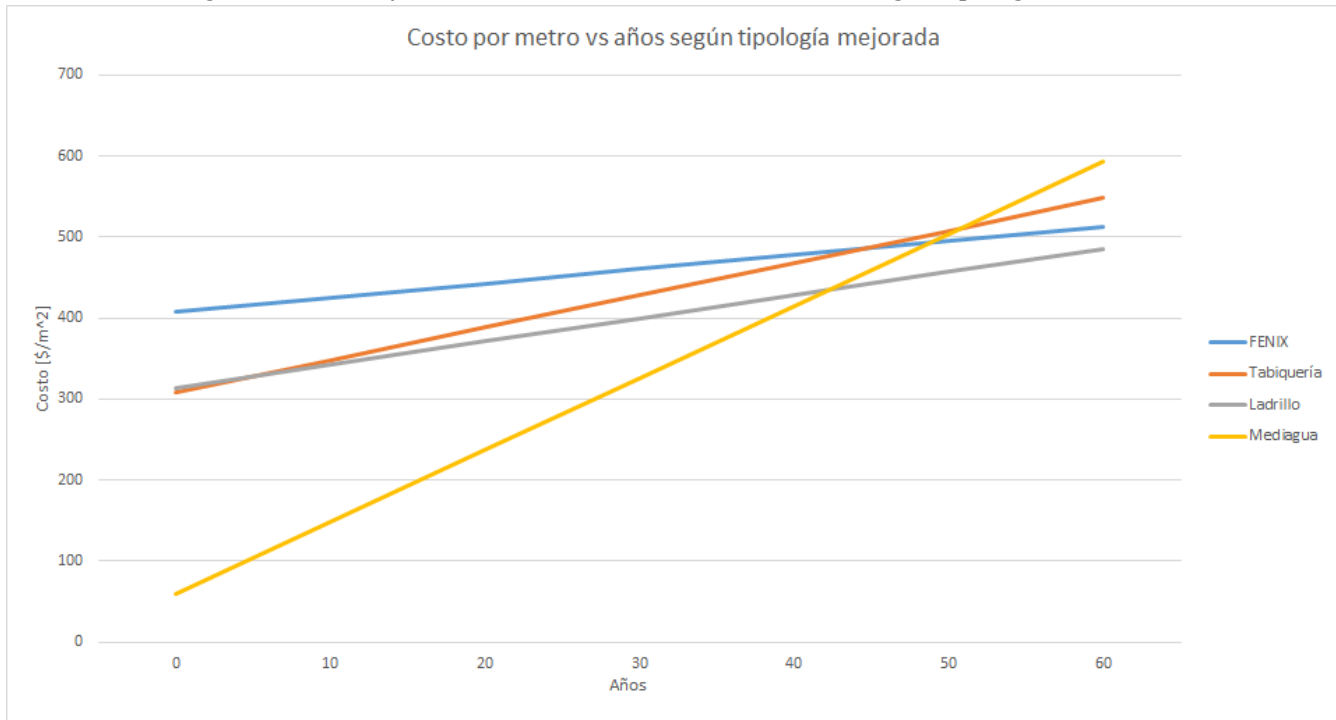
Al hacer este mismo análisis con las mejoras descritas se obtiene la figura 7.2.3 mostrada a continuación.

Figura 7.2.3: Gráfico de costos [\$/m<sup>2</sup>] por años de uso según tipología constructiva

| Mejora techo a largo plazo |       |            |           |           |
|----------------------------|-------|------------|-----------|-----------|
|                            | FENIX | Tabiquería | Ladrillo  | Mediagua  |
| 10 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 17.710  | \$ 18.710 | \$ 4.340  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 354     | \$ 382    | \$ 241    |
| 20 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 20.310  | \$ 22.310 | \$ 7.740  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 406     | \$ 455    | \$ 430    |
| 30 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 22.910  | \$ 25.910 | \$ 11.140 |
| [\$] por metro             | -     | \$ 458     | \$ 529    | \$ 619    |
| Mejora pared a largo plazo |       |            |           |           |
|                            | FENIX | Tabiquería | Ladrillo  | Mediagua  |
| 10 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 17.500  | \$ 17.580 | \$ 3.230  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 350     | \$ 359    | \$ 179    |
| 20 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 19.700  | \$ 19.880 | \$ 5.430  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 394     | \$ 406    | \$ 302    |
| 30 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 21.900  | \$ 22.180 | \$ 7.630  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 438     | \$ 453    | \$ 424    |
| Mejora pared a largo plazo |       |            |           |           |
|                            | FENIX | Tabiquería | Ladrillo  | Mediagua  |
| 10 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 17.410  | \$ 16.790 | \$ 2.670  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 348     | \$ 343    | \$ 148    |
| 20 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 19.410  | \$ 18.190 | \$ 4.270  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 388     | \$ 371    | \$ 237    |
| 30 años                    |       |            |           |           |
| [\$] total                 | -     | \$ 21.410  | \$ 19.590 | \$ 5.870  |
| [\$] por metro             | -     | \$ 428     | \$ 400    | \$ 326    |

Lo cual representado gráficamente para todas las mejoras, junto una proyección hasta los 60 años, se muestra en la figura 7.2.3.

*Figura 7.2.3: Gráfico de costos [\$/m<sup>2</sup>] versus años de uso según tipología constructiva*



Destaca que un factor clave es el periodo de evaluación, ya que si se tiene un periodo de uso muy corto, Mediagua es más barato en términos absolutos como por metro cuadrado, sin embargo esto cambia para periodos largo, donde FENIX o Ladrillo tienen mejor desempeño por metro cuadrado.

Entonces para una decisión completa al momento de diseñar, es necesario considerar tanto la inversión dispuesta a hacer, tanto como el impacto de la calefacción en el ámbito ambiental por la contaminación, seguridad en cuanto a incendios, periodo de uso y calidad de confort térmico que se desea.

También a la hora de mejorar, los efectos a largo plazo pueden mejorar el costo por metro cuadrado, disminuyendo con todas las mejoras en un 56% el costo del metro para Mediagua, en un 25% para Ladrillo y un 7% para Tabiquería para un periodo de 30 años.

## 8.- Conclusiones

Ya que la población en Chile vive principalmente en un clima templado, el bienestar térmico no ha sido una de las prioridades al momento de construir edificios en general, sin embargo relacionado con a las crecientes expectativas de calidad de vida, preocupación por el medio ambiente y adecuarse a estándares internacionales, cada vez se tiene mayor interés en diseñar edificios y ciudades más sustentables y cómodas. Como parte de esto, destaca la intención de mejorar los sistemas de calefacción, no obstante para poder mejorar la eficiencia energética en climatización interior es fundamental mejorar la eficiencia, para lo cual se debe empezar por mejorar la aislación.

Para construcción residencial, se tiene una tendencia de los hogares construidos hacia las casas pareadas e aisladas principalmente de un piso y con alrededor de 70 [m<sup>2</sup>], con una materialidad principalmente de ladrillo o tabiquería, sin embargo para viviendas de interés social y las familias que necesitan más ayuda, también se deben considerar la existencia de modelos predeterminados a elegir, donde incluso para la región de Valparaíso, la norma en aislación no se cumple o no es suficiente. Teniendo un par de estos casos representativos, se puede modelar computacionalmente el comportamiento térmico, para así tener un diagnóstico y entender cuáles son las variables que afectan al bienestar.

Sin embargo, para esto se debe primeramente definir qué es el confort térmico y se debe validar el modelo computacional. Por confort térmico se entienden las condiciones ambientales en las cuales el cuerpo puede transmitir el calor generado internamente al entorno sin ser forzado, esto depende del metabolismo del cuerpo, vestimenta y principalmente de la humedad y temperatura del aire, y en última instancia también de factores psicológicos y culturales, lo que lo hace una variable difícil de dimensionar, por lo que se recurre a definir un “Rango aceptable” para hacer los cálculos. Por otra parte, para poder modelar precisamente la temperatura y humedad dentro de una construcción, se utilizó y validó el software Designbuilder, para lo cual se eligió un caso de estudio para comparar y corregir resultados.

El caso de estudio fue la Casa FENIX en Valparaíso, donde se midieron múltiples variables ambientales tanto interiores como exteriores, de las cuales y después de variadas correcciones se concluyó que el programa puede llegar a ser certero en la modelación de temperaturas interiores, obteniéndose un error máximo por promedio de mes de 7% con respecto a los valores medidos, sin embargo para llegar a estos resultados, es necesario un uso crítico del software, debido a que el modelador necesita ingresar las variables correctas para obtener valores cercanos a la realidad, empezando por buenos datos sobre el clima, siendo esta una, si no la variable más influyente en el cálculo de los resultados. Los datos de clima utilizados deben ser comparados con los datos históricos para la zona y corregidos de ser necesario, en el peor de los casos, cosa que ocurre para múltiples comunidades pequeñas, deben crearse los archivos desde cero.

En el caso de estudio, los archivos de clima utilizados mostraron ser adaptaciones de archivos de otros lugares, por lo que fue necesario corregir los valores de temperatura para coincidir con los datos de clima de Valparaíso. Otros valores como, humedad, viento o radiación no fueron corregidos debido a la menor influencia en el resultado y a la dificultad de crear patrones válidos comparables a los valores estándar. También es necesario en cuanto al uso del software poder adaptar las opciones por defecto a las

condiciones nacionales, siendo el software del Reino Unido, fue necesario corregir o crear los perfiles para uso de las habitaciones, calefacción, infiltraciones, materialidad y distribución de la construcción.

Por otra parte, debido al corto periodo de medición utilizado, nueve meses, solo se pudieron comparar los datos del año en curso con los valores modelados, los cuales consideran resultados a largo plazo, por lo que existe una diferencia natural entre el año medido y modelado, mostrando por ejemplo un agosto más caluroso de lo normal, lo cual se propaga a un error mayor entre la medición interior y la modelación. Con esto en mente, se podrían obtener mejores resultados con un periodo de medición más largo. Además, se podrían medir las variables humanas como son el uso de electrodomésticos, apertura de puertas y ventanas, actividad dentro de la casa para utilizar perfiles más certeros en el programa.

Por otra parte, una vez elegidos y simulados los cuatro casos, uno con mala aislación, dos con mediana y uno con buena, a medida que se tiene mejor aislación sin climatización se obtienen mayor tiempo en confort, teniéndose un 48% de discomfort en el mejor caso, 56% y 60% en los casos intermedios y un 79% para el peor, también se disminuye el rango de temperaturas obtenidas bajando los máximos y subiendo los mínimos, y se concluye que los niveles de discomfort obtenidos se explican principalmente por las bajas temperaturas.

En general estos valores no son buenos, pero estos son solo pasivos, por lo que también es necesario considerar calefacción. Esta se agrega con el criterio de eliminar todos los casos de discomfort por frío, por lo que mejoran sustancialmente los niveles de confort, con el costo energético correspondiente, siendo este en el mejor caso 22 [kWh/m<sup>2</sup>Año], 67 y 92 [kWh/m<sup>2</sup>Año] para los casos medios y 278 [kWh/m<sup>2</sup>Año] como peor. Nuevamente la influencia de la aislación es notoria en el desempeño reflejándose en los costos anuales con 160 [\$] para FENIX, 270 [\$] Tabiquería, 370 [\$] Ladrillo y 410 [\$] para Mediagua. Se distingue claramente como para los casos más vulnerables, el gasto en calefacción es notoriamente mayor, mostrando el clásico caso de a mayor “inversión”, menor “costo operacional”. A pesar de que las Mediaguas son pensadas como vivienda de emergencia, estas también se utilizan como vivienda definitiva o se aproximan a la calidad de vivienda en campamentos, donde la principal variable es la inversión inicial que se es capaz de hacer. Sin embargo, se muestra que a largo plazo, y comparando al normalizar por tamaño se visualiza claramente cómo esta opción es más cara, incluso sin considerar un periodo de vida útil, lo que requeriría nueva inversión al cabo de unos pocos años en los casos con peor materialidad.

Si consideramos otros costos asociados, pero de mayor dificultad de dimensionar en dinero, como son la contaminación y sus efectos, problemas de salud relacionados a malas condiciones interiores de las viviendas, horas de malestar por causa de frío, riesgo de incendio, tiempo para operación de calefacción, ciertamente para la sociedad estos costos serían mayores a los calculados, pero se requieren estudios especializados en estas variables por lo que no fueron considerados.

Para los casos en que, si se pueden hacer mejoras, estas no afectan tan fuertemente al tiempo de confort al ser aplicadas en forma pasiva, pero si se nota la diferencia cuando se utilizan con calefacción, obteniéndose un Payback menor a un año para Mediagua, y con diferentes valores dependiendo de las tipologías de la mejora para los otros casos, con un rango entre uno y once años. También es cierto que el criterio de calefacción utilizado es exigente, por lo que los valores reales de Payback realmente serán mayores dependiendo del perfil de uso de calefacción en cada caso.

Por último, a la hora de diseñar una vivienda es necesario explicitar claramente qué es lo que se considerará aceptable en términos económicos, ambientales, de seguridad, confort, etc. ya que esto es lo que últimamente definirá los parámetros físicos de construcción. Debido a que cada vez se toman más en cuenta estos factores, ya sea por tener mejores expectativas, más conciencia ecológica o mayor capacidad de adquisición, la norma y las construcciones tienden a tener mejores estrategias bioclimáticas, mejores niveles de aislación y climatización, lo que a largo plazo también termina siendo más económico y mejora la calidad de vida de las personas.

## 9.- Bibliografía

[1] <http://www.latercera.com/noticia/ranking-de-la-oms-ubica-a-coyhaique-como-la-ciudad-mas-contaminada-de-america/>

[2] Energía Solar en Arquitectura y construcción, Pedro Sarmiento, 2007  
<http://seigrapa.weebly.com/uploads/1/1/8/2/11828201/nch1079-1977.pdf>

[3] “Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile (2010)” De “Corporación de Desarrollo Tecnológico Cámara Chilena de la Construcción”.

[4] “FICHA BASE DE DATOS PARA LLAMADO EN CONDICIONES ESPECIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN SITIO PROPIO CON PROYECTO TIPO.”

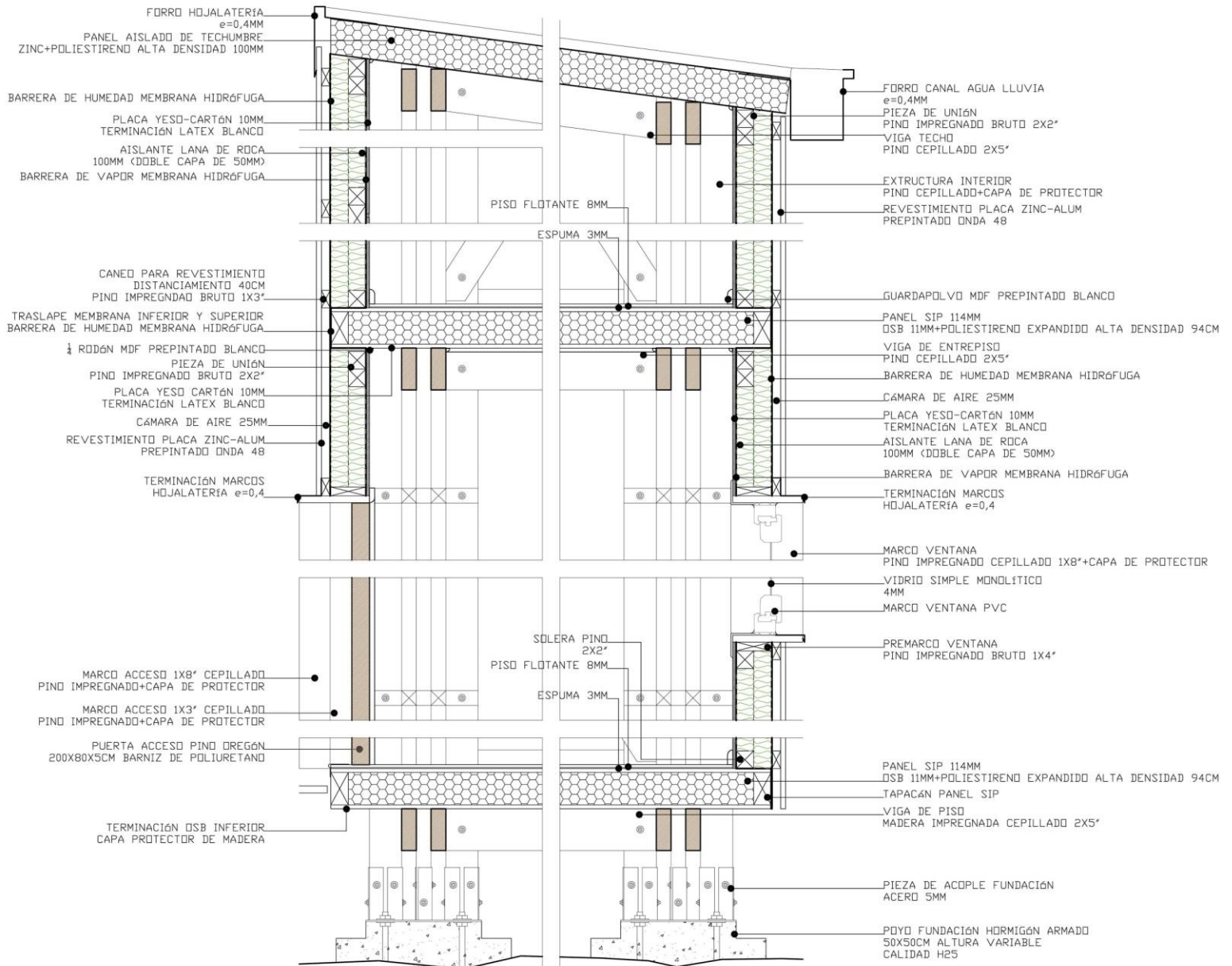
[5] Registro solarimétrico, IRRADIANCIA SOLAR EN TERRITORIOS DE LA REPÚBLICA DE CHILE, UTFSM, 2008; Energía Solar en Arquitectura y construcción, Pedro Sarmiento”

[6] Using measured indoor environment parameters for calibration of building simulation model- a passive house case study, P. Paliouras , N. Matzaflaras, R. H. Peuhkuri, and J. Kolarik, 2015

# 10.- Anexos

## 10.1 Corte FENIX

Figura 10.1.1: Corte casa FENIX con materialidad y dimensiones



## 10.2 Distribución sensores en casa FENIX

Figura 10.2.1: Plano con distribución de sensores en piso 1 casa FENIX

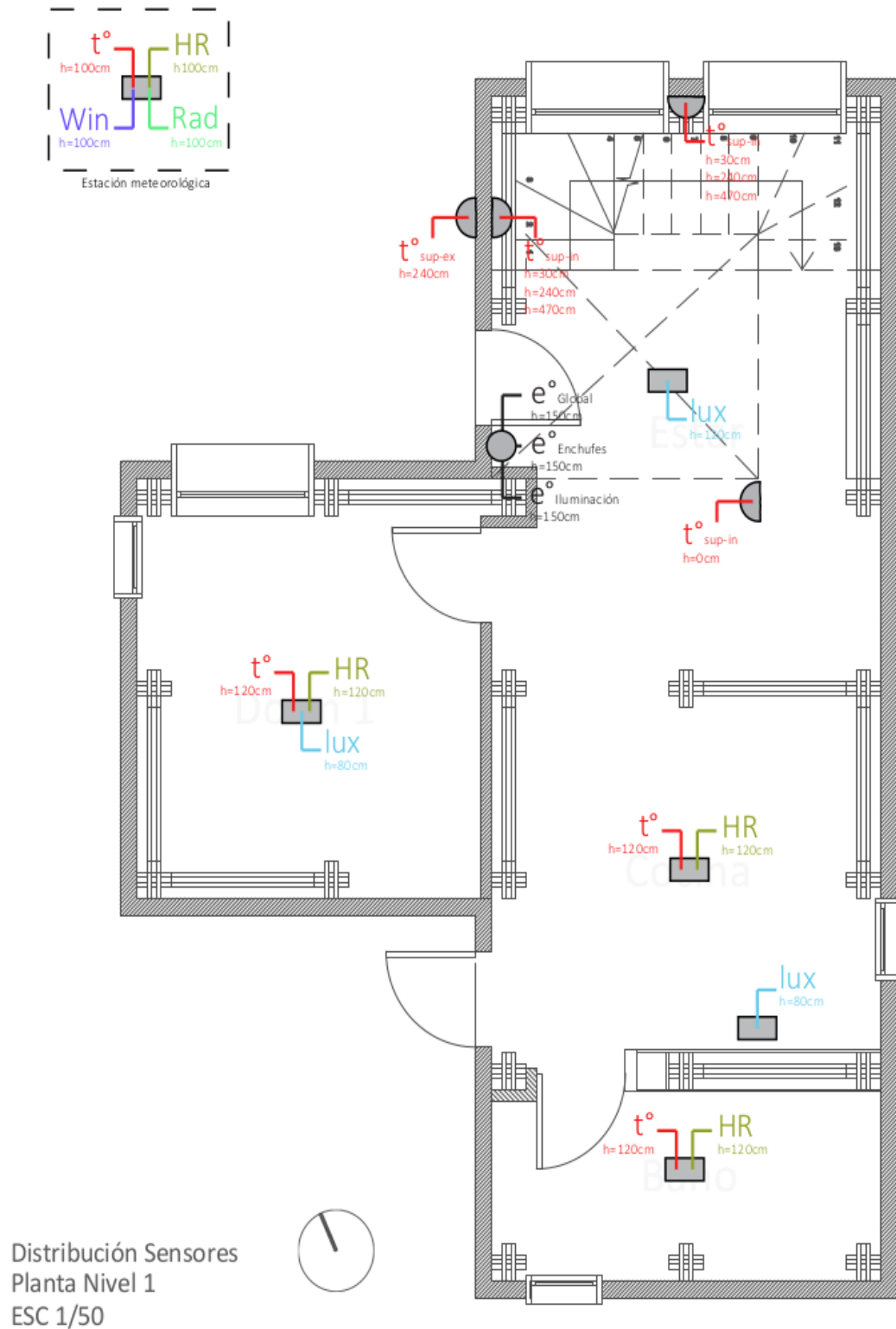
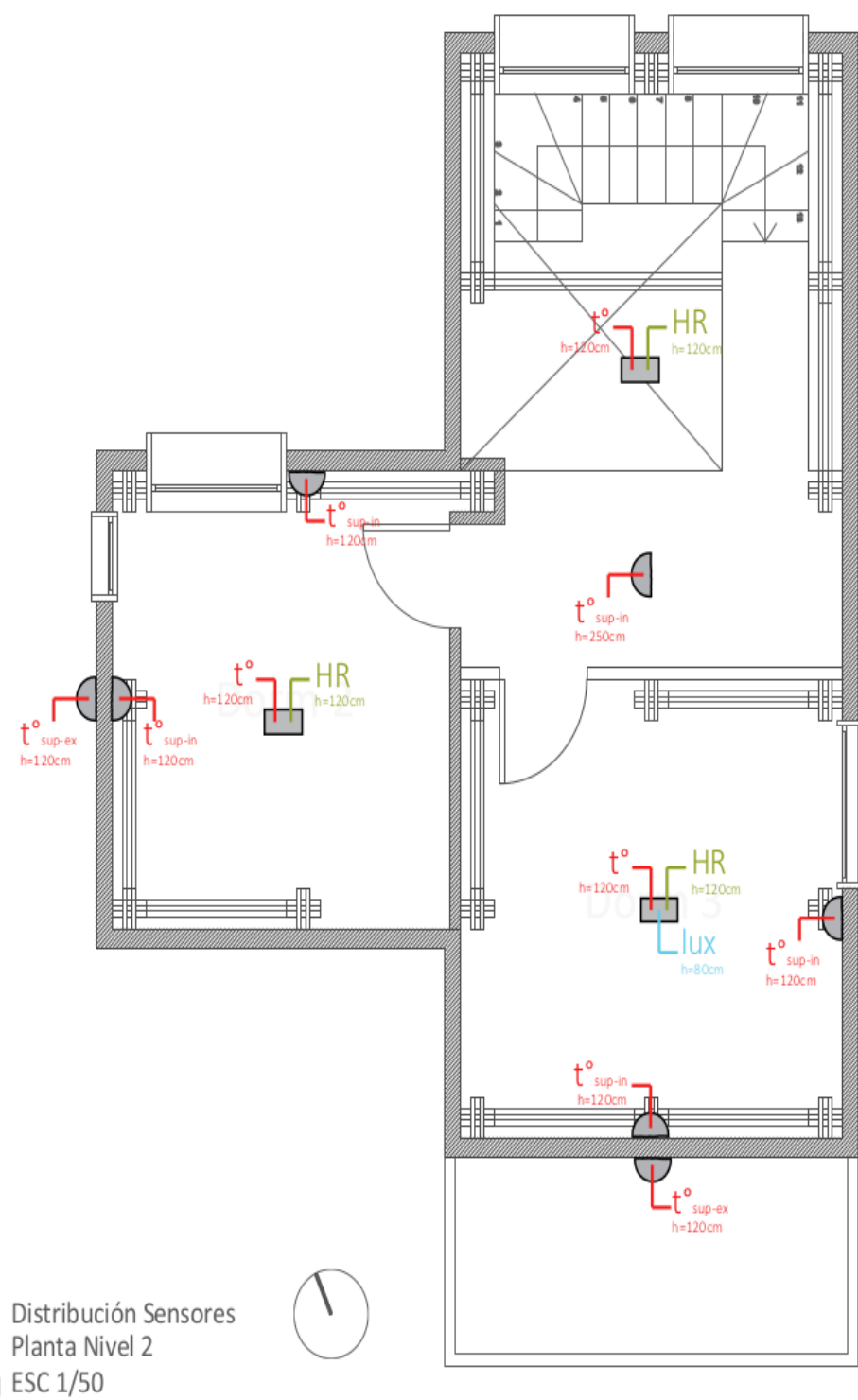


Figura 10.2.2: Plano con distribución de sensores en piso 2 casa FENIX



## 10.3 Tabla valores medidos FENIX

Figura 10.3.1: Mediciones de radiación [ $W/m^2$ ] en casa FENIX para periodo de estudio.

| Dia  | Enero |      |     | Febrero |      |     | Marzo |      |     | Abril |      |     | Mayo |     |     | Junio |     |     | Julio |     |     | Agosto |     |     | Septiembre |      |     |
|------|-------|------|-----|---------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|--------|-----|-----|------------|------|-----|
|      | Prom  | Máx  | Min | Prom    | Máx  | Min | Prom  | Máx  | Min | Prom  | Máx  | Min | Prom | Máx | Min | Prom  | Máx | Min | Prom  | Máx | Min | Prom   | Máx | Min | Prom       | Máx  | Min |
| 1    | 303   | 1251 | 0   | 116     | 1251 | 0   | 260   | 882  | 0   | 35    | 265  | 0   | 24   | 194 | 0   | 122   | 610 | 0   | 51    | 277 | 0   | 148    | 723 | 0   | 206        | 732  | 0   |
| 2    | 236   | 1251 | 0   | 104     | 523  | 0   | 236   | 875  | 0   | 173   | 982  | 0   | 87   | 638 | 0   | 26    | 141 | 0   | 11    | 88  | 0   | 128    | 673 | 0   | 209        | 744  | 0   |
| 3    | 191   | 1251 | 0   | 102     | 413  | 0   | 143   | 1191 | 0   | 117   | 1179 | 0   | 156  | 633 | 0   | 7     | 49  | 0   | 21    | 483 | 0   | 142    | 801 | 0   | 203        | 716  | 0   |
| 4    | 135   | 856  | 0   | 121     | 421  | 0   | 113   | 1036 | 0   | 190   | 873  | 0   | 27   | 165 | 0   | 143   | 693 | 0   | 133   | 566 | 0   | 162    | 624 | 0   | 204        | 737  | 0   |
| 5    | 152   | 955  | 0   | 294     | 966  | 0   | 109   | 767  | 0   | 83    | 780  | 0   | 95   | 869 | 0   | 141   | 598 | 0   | 110   | 571 | 0   | 165    | 646 | 0   | 208        | 739  | 0   |
| 6    | 235   | 955  | 0   | 182     | 966  | 0   | 131   | 767  | 0   | 144   | 780  | 0   | 123  | 869 | 0   | 137   | 598 | 0   | 138   | 571 | 0   | 167    | 646 | 0   | 213        | 739  | 0   |
| 7    | 210   | 1251 | 0   | 178     | 1058 | 0   | 98    | 1035 | 0   | 51    | 471  | 0   | 35   | 337 | 0   | 142   | 600 | 0   | 104   | 625 | 0   | 100    | 736 | 0   | 139        | 878  | 0   |
| 8    | 201   | 1247 | 0   | 201     | 1076 | 0   | 248   | 847  | 0   | 112   | 791  | 0   | 129  | 647 | 0   | 138   | 609 | 0   | 29    | 177 | 0   | 171    | 654 | 0   | 195        | 916  | 0   |
| 9    | 315   | 981  | 0   | 197     | 1229 | 0   | 252   | 846  | 0   | 202   | 723  | 0   | 43   | 474 | 0   | 83    | 835 | 0   | 115   | 586 | 0   | 170    | 679 | 0   | 212        | 754  | 0   |
| 10   | 307   | 1027 | 0   | 133     | 1080 | 0   | 93    | 814  | 0   | 142   | 664  | 0   | 70   | 659 | 0   | 134   | 572 | 0   | 19    | 139 | 0   | 18     | 113 | 0   | 37         | 174  | 0   |
| 11   | 103   | 805  | 0   | 235     | 1251 | 0   | 86    | 602  | 0   | 45    | 366  | 0   | 44   | 674 | 0   | 128   | 554 | 0   | 97    | 836 | 0   | 168    | 669 | 0   | 98         | 654  | 0   |
| 12   | 263   | 1251 | 0   | 229     | 1088 | 0   | 117   | 855  | 0   | 31    | 184  | 0   | 98   | 752 | 0   | 33    | 624 | 0   | 60    | 545 | 0   | 69     | 440 | 0   | 166        | 1242 | 0   |
| 13   | 303   | 967  | 0   | 300     | 961  | 0   | 179   | 832  | 0   | 36    | 392  | 0   | 50   | 282 | 0   | 105   | 696 | 0   | 29    | 596 | 0   | 124    | 795 | 0   | 217        | 929  | 0   |
| 14   | 223   | 1251 | 0   | 299     | 965  | 0   | 89    | 826  | 0   | 64    | 526  | 0   | 47   | 541 | 0   | 113   | 697 | 0   | 145   | 625 | 0   | 127    | 785 | 0   | 44         | 215  | 0   |
| 15   | 315   | 983  | 0   | 293     | 1013 | 0   | 78    | 469  | 0   | 26    | 261  | 0   | 91   | 559 | 0   | 128   | 611 | 0   | 145   | 643 | 0   | 178    | 660 | 0   | 151        | 1098 | 0   |
| 16   | 313   | 979  | 0   | 135     | 893  | 0   | 58    | 358  | 0   | 57    | 672  | 0   | 50   | 276 | 0   | 131   | 582 | 0   | 69    | 418 | 0   | 176    | 784 | 0   | 79         | 997  | 0   |
| 17   | 313   | 972  | 0   | 291     | 937  | 0   | 85    | 869  | 0   | 13    | 145  | 0   | 72   | 648 | 0   | 104   | 569 | 0   | 23    | 364 | 0   | 187    | 687 | 0   | 229        | 789  | 0   |
| 18   | 221   | 1251 | 0   | 290     | 936  | 0   | 232   | 811  | 0   | 162   | 1016 | 0   | 23   | 159 | 0   | 127   | 539 | 0   | 145   | 678 | 0   | 189    | 690 | 0   | 232        | 799  | 0   |
| 19   | 271   | 948  | 0   | 294     | 943  | 0   | 167   | 999  | 0   | 195   | 898  | 0   | 58   | 764 | 0   | 21    | 116 | 0   | 19    | 156 | 0   | 173    | 716 | 0   | 152        | 899  | 0   |
| 20   | 187   | 1131 | 0   | 292     | 939  | 0   | 189   | 973  | 0   | 187   | 693  | 0   | 56   | 581 | 0   | 107   | 639 | 0   | 145   | 654 | 0   | 181    | 751 | 0   | 68         | 313  | 0   |
| 21   | 177   | 1021 | 0   | 212     | 994  | 0   | 192   | 835  | 0   | 184   | 674  | 0   | 116  | 917 | 0   | 123   | 527 | 0   | 147   | 650 | 0   | 193    | 697 | 0   | 120        | 897  | 0   |
| 22   | 287   | 1053 | 0   | 204     | 991  | 0   | 96    | 735  | 0   | 12    | 74   | 0   | 140  | 664 | 0   | 108   | 638 | 0   | 87    | 562 | 0   | 38     | 183 | 0   | 233        | 802  | 0   |
| 23   | 110   | 1195 | 0   | 278     | 903  | 0   | 95    | 503  | 0   | 15    | 100  | 0   | 139  | 685 | 0   | 70    | 328 | 0   | 53    | 369 | 0   | 38     | 188 | 0   | 139        | 1062 | 0   |
| 24   | 267   | 1232 | 0   | 258     | 1127 | 0   | 76    | 712  | 0   | 97    | 707  | 0   | 72   | 555 | 0   | 87    | 681 | 0   | 22    | 204 | 0   | 98     | 903 | 0   | 47         | 242  | 0   |
| 25   | 163   | 1016 | 0   | 252     | 924  | 0   | 180   | 892  | 0   | 187   | 713  | 0   | 113  | 663 | 0   | 120   | 527 | 0   | 73    | 739 | 0   | 190    | 697 | 0   | 145        | 974  | 0   |
| 26   | 279   | 1251 | 0   | 277     | 890  | 0   | 40    | 697  | 0   | 188   | 351  | 0   | 78   | 649 | 0   | 110   | 527 | 0   | 158   | 714 | 0   | 170    | 858 | 0   | 207        | 430  | 0   |
| 27   | 203   | 1251 | 0   | 274     | 905  | 0   | 93    | 256  | 0   | 57    | 700  | 0   | 97   | 633 | 0   | 123   | 565 | 0   | 148   | 752 | 0   | 102    | 728 | 0   | 91         | 847  | 0   |
| 28   | 271   | 1003 | 0   | 273     | 1003 | 0   | 35    | 328  | 0   | 115   | 682  | 0   | 45   | 590 | 0   | 76    | 566 | 0   | 95    | 642 | 0   | 192    | 709 | 0   | 31         | 970  | 0   |
| 29   | 151   | 1252 | 0   | 151     | 892  | 0   | 47    | 161  | 0   | 178   | 831  | 0   | 54   | 709 | 0   | 75    | 596 | 0   | 151   | 615 | 0   | 197    | 704 | 0   | 212        | 161  | 0   |
| 30   | 315   | 986  | 0   | 315     | 986  | 0   | 124   | 831  | 0   | 156   | 716  | 0   | 141  | 609 | 0   | 56    | 438 | 0   | 123   | 761 | 0   | 191    | 692 | 0   | 249        | 887  | 0   |
| Prom | 234   | 1094 | 0   | 226     | 951  | 0   | 131   | 753  | 0   | 108   | 607  | 0   | 79   | 580 | 0   | 101   | 544 | 0   | 89    | 520 | 0   | 145    | 654 | 0   | 158        | 744  | 0   |



Figura 10.3.3: Mediciones de temperatura exterior [°C] en casa FENIX para periodo de estudio.

| Día  | Enero |      |      |      |      |      | Febrero |      |      |      |      |      | Marzo |      |      |      |      |      | Abril |      |      |      |      |      | Mayo  |       |       |      |     |     | Junio |     |     |      |     |     | Julio |  |  |  |  |  | Agosto |  |  |  |  |  | Septiembre |  |  |  |  |  |
|------|-------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-------|-----|-----|------|-----|-----|-------|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|
|      | Prom  | Máx  | Mín  | Prom | Máx  | Mín  | Prom    | Máx  | Mín  | Prom | Máx  | Mín  | Prom  | Máx  | Mín  | Prom | Máx  | Mín  | Prom  | Máx  | Mín  | Prom | Máx  | Mín  | Prom  | Máx   | Mín   | Prom | Máx | Mín | Prom  | Máx | Mín | Prom | Máx | Mín |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
|      |       |      |      |      |      |      |         |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |       |       |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 1    | 17,4  | 25,0 | 14,3 | 18,6 | 22,5 | 17,1 | 15,7    | 20,7 | 12,4 | 16,1 | 17,5 | 14,9 | 15,0  | 16,9 | 13,6 | 12,7 | 17,6 | 9,1  | 9,7   | 11,4 | 7,6  | 14,2 | 23,3 | 9,1  | 11,5  | 18,9  | 7,2   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 2    | 17,9  | 25,9 | 14,9 | 18,7 | 20,8 | 17,0 | 16,3    | 22,6 | 13,3 | 17,6 | 24,3 | 15,3 | 17,2  | 22,6 | 14,2 | 12,4 | 15,4 | 10,9 | 10,2  | 11,4 | 8,8  | 12,2 | 18,3 | 8,3  | 10,8  | 18,1  | 6,5   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 3    | 18,4  | 23,9 | 15,6 | 18,7 | 20,3 | 17,5 | 16,5    | 21,4 | 14,4 | 14,8 | 17,6 | 13,2 | 17,9  | 25,7 | 14,3 | 11,7 | 12,5 | 10,5 | 11,0  | 13,1 | 9,7  | 11,1 | 17,5 | 7,1  | 10,2  | 18,4  | 5,1   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 4    | 18,4  | 22,1 | 16,2 | 18,3 | 22,1 | 15,1 | 15,4    | 20,8 | 13,5 | 16,2 | 25,1 | 11,4 | 13,7  | 14,8 | 13,0 | 12,0 | 19,6 | 8,5  | 13,3  | 20,2 | 8,4  | 13,5 | 22,3 | 8,7  | 10,3  | 15,7  | 6,7   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 5    | 18,2  | 24,1 | 16,0 | 19,5 | 26,5 | 15,1 | 16,9    | 19,7 | 15,8 | 15,4 | 22,5 | 12,8 | 14,7  | 18,9 | 13,1 | 12,0 | 18,9 | 8,0  | 11,0  | 15,6 | 8,4  | 13,2 | 21,2 | 8,0  | 12,0  | 21,1  | 6,4   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 6    | 18,4  | 24,1 | 16,6 | 17,4 | 26,5 | 14,2 | 17,0    | 19,7 | 15,4 | 16,1 | 22,5 | 14,1 | 14,8  | 18,9 | 12,0 | 11,6 | 19,9 | 7,2  | 11,6  | 15,6 | 6,5  | 13,4 | 21,2 | 7,5  | 14,6  | 21,1  | 8,1   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 7    | 18,3  | 21,7 | 17,0 | 17,1 | 23,9 | 14,5 | 16,9    | 20,8 | 14,1 | 15,5 | 19,5 | 12,3 | 13,2  | 15,8 | 10,5 | 13,2 | 23,0 | 7,1  | 10,5  | 16,2 | 9,6  | 13,5 | 20,8 | 9,2  | 12,7  | 17,8  | 7,6   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 8    | 19,4  | 25,3 | 16,2 | 18,8 | 26,8 | 13,5 | 18,6    | 26,9 | 15,5 | 15,1 | 22,5 | 12,7 | 13,7  | 20,5 | 11,3 | 12,9 | 19,4 | 8,2  | 10,9  | 12,2 | 7,2  | 15,3 | 26,2 | 10,3 | 11,8  | 18,4  | 10,7  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 9    | 20,2  | 27,7 | 14,6 | 17,9 | 24,3 | 14,5 | 18,2    | 28,1 | 13,7 | 14,5 | 22,6 | 10,2 | 12,9  | 15,9 | 10,6 | 14,1 | 23,6 | 9,7  | 11,0  | 16,4 | 7,9  | 14,6 | 20,7 | 10,6 | 18,4  | 31,4  | 11,0  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 10   | 19,5  | 27,1 | 14,7 | 17,6 | 21,7 | 15,6 | 16,2    | 19,5 | 14,2 | 15,0 | 23,7 | 9,9  | 14,6  | 19,1 | 11,6 | 12,7 | 20,0 | 8,1  | 10,6  | 12,3 | 8,9  | 10,1 | 11,6 | 7,1  | 12,5  | 14,7  | 11,7  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 11   | 18,2  | 23,0 | 16,3 | 18,3 | 26,8 | 14,4 | 16,0    | 18,3 | 14,5 | 13,8 | 16,3 | 12,0 | 15,1  | 20,5 | 13,0 | 10,2 | 15,3 | 7,0  | 12,1  | 14,7 | 10,6 | 13,0 | 20,8 | 7,5  | 12,7  | 16,3  | 10,1  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 12   | 18,6  | 26,4 | 13,7 | 18,6 | 26,2 | 14,4 | 16,4    | 21,8 | 14,5 | 15,1 | 16,1 | 13,3 | 14,8  | 19,1 | 11,4 | 13,2 | 24,2 | 8,5  | 11,2  | 14,3 | 8,9  | 10,8 | 15,5 | 8,5  | 13,5  | 21,3  | 9,8   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 13   | 19,0  | 27,1 | 14,4 | 19,3 | 30,0 | 13,4 | 17,5    | 27,6 | 13,7 | 14,3 | 17,3 | 11,9 | 14,6  | 16,8 | 12,7 | 13,5 | 19,4 | 10,1 | 11,7  | 13,3 | 9,9  | 15,0 | 23,6 | 10,1 | 15,7  | 26,1  | 9,1   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 14   | 19,6  | 26,2 | 16,7 | 19,3 | 29,6 | 14,0 | 16,0    | 20,2 | 14,6 | 15,4 | 19,5 | 12,2 | 14,4  | 18,8 | 12,4 | 12,8 | 20,1 | 8,8  | 12,5  | 19,4 | 8,3  | 13,4 | 20,5 | 9,1  | 12,0  | 13,2  | 10,9  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 15   | 20,1  | 29,6 | 13,9 | 17,6 | 23,8 | 14,0 | 14,8    | 17,6 | 12,7 | 15,7 | 17,4 | 15,0 | 15,4  | 19,8 | 12,3 | 12,4 | 19,7 | 8,2  | 11,2  | 19,3 | 6,8  | 19,8 | 29,5 | 14,2 | 13,6  | 19,3  | 10,7  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 16   | 20,9  | 29,6 | 15,1 | 16,9 | 23,8 | 14,2 | 14,6    | 18,2 | 11,5 | 16,9 | 19,8 | 15,8 | 13,0  | 14,8 | 11,3 | 13,4 | 20,3 | 9,1  | 14,0  | 18,9 | 10,7 | 14,6 | 23,3 | 8,9  | 12,0  | 16,5  | 10,3  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 17   | 19,3  | 27,8 | 14,6 | 17,0 | 26,6 | 12,2 | 16,9    | 22,4 | 15,2 | 15,0 | 17,6 | 13,8 | 13,8  | 19,3 | 12,5 | 10,0 | 13,4 | 7,7  | 11,1  | 12,1 | 9,6  | 14,3 | 22,0 | 8,5  | 14,9  | 24,5  | 8,5   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 18   | 18,0  | 21,9 | 15,6 | 18,7 | 27,9 | 12,9 | 17,1    | 27,4 | 12,1 | 15,9 | 22,6 | 13,6 | 13,4  | 14,3 | 12,6 | 9,9  | 14,7 | 6,4  | 11,8  | 19,9 | 7,8  | 14,0 | 20,7 | 9,6  | 16,5  | 26,2  | 9,9   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 19   | 19,5  | 27,0 | 16,7 | 20,5 | 31,3 | 14,5 | 15,3    | 19,2 | 12,0 | 15,5 | 24,3 | 10,1 | 14,1  | 18,9 | 12,3 | 9,8  | 11,8 | 7,6  | 11,2  | 12,1 | 9,4  | 11,5 | 19,7 | 6,8  | 12,8  | 17,2  | 10,4  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 20   | 19,1  | 25,5 | 15,9 | 19,2 | 30,4 | 13,7 | 16,2    | 22,4 | 13,8 | 14,0 | 20,1 | 10,0 | 14,7  | 17,3 | 13,2 | 11,7 | 17,3 | 9,6  | 13,7  | 20,7 | 8,8  | 13,7 | 22,6 | 7,8  | 10,9  | 13,0  | 8,7   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 21   | 19,8  | 24,4 | 17,2 | 15,9 | 22,4 | 12,3 | 15,9    | 22,3 | 12,8 | 16,3 | 24,2 | 12,1 | 14,9  | 20,1 | 12,1 | 9,5  | 15,5 | 5,9  | 14,9  | 22,1 | 10,4 | 17,4 | 30,4 | 9,4  | 11,9  | 18,0  | 9,7   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 22   | 20,0  | 27,0 | 15,5 | 15,8 | 21,3 | 12,6 | 13,8    | 17,5 | 12,0 | 13,7 | 16,5 | 12,8 | 14,5  | 22,5 | 10,3 | 9,2  | 15,7 | 5,1  | 11,5  | 14,2 | 8,9  | 12,7 | 17,6 | 10,8 | 13,6  | 22,8  | 8,6   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 23   | 18,6  | 22,6 | 15,9 | 17,6 | 23,2 | 13,9 | 16,3    | 20,3 | 15,0 | 14,1 | 14,7 | 13,4 | 14,4  | 18,9 | 11,4 | 9,9  | 14,2 | 7,3  | 13,4  | 18,0 | 10,3 | 11,6 | 13,2 | 10,6 | 11,9  | 16,8  | 9,5   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 24   | 19,8  | 27,9 | 16,1 | 17,8 | 25,6 | 13,6 | 16,0    | 19,4 | 13,4 | 13,6 | 19,1 | 11,4 | 12,5  | 18,4 | 8,8  | 10,8 | 15,9 | 8,8  | 11,9  | 12,9 | 11,4 | 13,0 | 15,7 | 10,7 | 10,1  | 12,2  | 8,1   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 25   | 18,9  | 27,0 | 15,4 | 17,9 | 28,9 | 13,8 | 15,9    | 20,3 | 13,4 | 13,3 | 21,1 | 9,4  | 14,6  | 21,6 | 10,7 | 10,5 | 15,7 | 7,2  | 11,9  | 17,6 | 9,8  | 14,0 | 21,3 | 9,7  | 12,1  | 18,5  | 10,2  |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 26   | 20,0  | 29,2 | 14,3 | 16,9 | 25,7 | 10,7 | 15,8    | 21,9 | 13,3 | 15,1 | 16,5 | 9,3  | 13,3  | 17,4 | 11,2 | 11,0 | 18,2 | 7,7  | 13,2  | 21,2 | 6,9  | 12,9 | 16,1 | 8,9  | error | error | error |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 27   | 20,6  | 29,5 | 15,7 | 17,6 | 28,3 | 13,3 | 17,2    | 18,8 | 15,5 | 14,3 | 25,0 | 12,6 | 13,4  | 17,3 | 10,4 | 11,6 | 18,2 | 8,4  | 14,1  | 21,7 | 10,6 | 11,9 | 20,1 | 9,5  | error | error | error |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 28   | 21,5  | 25,4 | 16,3 | 18,5 | 25,4 | 14,0 | 15,8    | 16,8 | 14,6 | 15,1 | 29,2 | 12,5 | 11,9  | 17,2 | 9,6  | 10,0 | 16,3 | 7,3  | 10,4  | 19,1 | 7,8  | 12,1 | 22,2 | 7,1  | error | error | error |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 29   | 19,6  | 30,3 | 15,5 | 19,6 | 25,9 | 15,5 | 15,3    | 17,4 | 14,4 | 17,9 | 20,7 | 11,9 | 13,2  | 14,8 | 11,1 | 11,0 | 14,2 | 8,6  | 12,3  | 13,8 | 8,4  | 12,5 | 20,6 | 8,3  | error | error | error |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| 30   | 20,4  | 31,8 | 17,0 | 20,4 | 31,8 | 17,0 | 17,4    | 22,0 | 15,6 | 19,7 | 27,3 | 17,0 | 14,6  | 22,0 | 9,0  | 10,6 | 13,6 | 8,8  | 10,6  | 15,2 | 8,0  | 13,0 | 23,6 | 10,4 | error | error | error |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |
| Prom | 19,2  | 26,2 | 15,6 | 18,2 | 25,7 | 14,3 | 16,3    | 21,1 | 13,9 | 15,4 | 20,8 | 12,5 | 14,3  | 18,6 | 11,7 | 11,5 | 17,5 | 8,2  | 11,8  | 16,2 | 8,9  | 13,4 | 20,7 | 9,1  | 12,8  | 19,3  | 9,1   |      |     |     |       |     |     |      |     |     |       |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |

## 10.4 Tabla valores modelados FENIX

Figura 10.4.1: Datos modelados de radiación en  $[W/m^2]$ , temperatura interior y exterior en  $[^{\circ}C]$  en casa FENIX para periodo de estudio.

| Dia  | Enero  |       |       | Febrero |       |       | Marzo  |       |       | Abril  |       |       | Mayo   |       |       | Junio |       |       | Julio  |       |       | Agosto |       |       | Septiembre |       |       |
|------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|------------|-------|-------|
|      | Rad    | Text  | Tint  | Rad     | Text  | Tint  | Rad    | Text  | Tint  | Rad    | Text  | Tint  | Rad    | Text  | Tint  | Rad   | Text  | Tint  | Rad    | Text  | Tint  | Rad    | Text  | Tint  | Rad        | Text  | Tint  |
| 1    | 227,6  | 18,3  | 21,5  | 179,2   | 19,5  | 22,1  | 262,0  | 17,3  | 21,4  | 54,8   | 14,7  | 19,7  | 198,0  | 18,3  | 18,3  | 32,8  | 11,8  | 16,9  | 280,0  | 11,2  | 18,1  | 272,8  | 11,7  | 21,2  | 95,2       | 13,3  | 19,0  |
| 2    | 82,8   | 18,9  | 22,8  | 464,0   | 19,9  | 23,9  | 182,0  | 15,9  | 21,1  | 114,0  | 13,5  | 17,7  | 191,2  | 17,3  | 18,1  | 32,4  | 11,7  | 16,7  | 167,2  | 11,6  | 19,8  | 311,6  | 11,3  | 20,4  | 157,6      | 14,2  | 18,3  |
| 3    | 503,2  | 20,6  | 23,9  | 290,4   | 19,5  | 24,2  | 77,2   | 15,5  | 19,7  | 344,4  | 14,1  | 20,9  | 24,8   | 16,3  | 19,6  | 40,8  | 11,5  | 16,7  | 39,6   | 11,4  | 17,2  | 46,4   | 11,3  | 17,1  | 229,6      | 14,6  | 20,3  |
| 4    | 388,8  | 18,5  | 24,1  | 246,0   | 18,5  | 23,5  | 50,4   | 16,0  | 18,9  | 115,2  | 15,1  | 20,3  | 270,0  | 16,0  | 21,0  | 130,0 | 12,0  | 18,0  | 15,6   | 11,5  | 16,6  | 148,0  | 9,9   | 17,4  | 32,8       | 14,7  | 18,7  |
| 5    | 340,4  | 18,3  | 23,3  | 347,6   | 16,8  | 22,2  | 68,0   | 15,1  | 18,6  | 167,6  | 17,3  | 21,0  | 219,6  | 16,0  | 18,2  | 41,6  | 11,4  | 16,8  | 26,4   | 10,1  | 16,3  | 169,2  | 11,0  | 17,9  | 35,2       | 14,1  | 17,6  |
| 6    | 116,0  | 17,2  | 21,6  | 167,6   | 18,0  | 22,2  | 446,8  | 16,4  | 21,7  | 116,0  | 16,1  | 21,5  | 255,2  | 16,0  | 21,6  | 18,0  | 11,9  | 16,6  | 133,6  | 10,1  | 17,4  | 100,4  | 10,8  | 17,4  | 277,2      | 13,5  | 20,5  |
| 7    | 388,4  | 18,4  | 22,4  | 254,8   | 17,7  | 22,3  | 459,2  | 14,7  | 22,4  | 294,0  | 18,3  | 23,2  | 78,4   | 16,0  | 22,5  | 15,2  | 11,7  | 16,6  | 113,2  | 11,0  | 17,5  | 93,2   | 10,7  | 17,0  | 374,0      | 12,0  | 20,9  |
| 8    | 164,4  | 17,0  | 22,2  | 224,4   | 18,1  | 22,1  | 380,8  | 13,7  | 21,2  | 304,8  | 17,5  | 23,7  | 46,8   | 16,0  | 22,3  | 187,2 | 10,7  | 18,8  | 126,8  | 11,5  | 18,0  | 234,0  | 11,3  | 18,9  | 268,8      | 12,0  | 19,8  |
| 9    | 142,0  | 16,8  | 21,4  | 282,4   | 16,8  | 22,3  | 62,4   | 15,8  | 19,7  | 299,6  | 16,7  | 23,0  | 215,2  | 16,0  | 18,9  | 183,2 | 10,2  | 18,9  | 112,4  | 13,1  | 18,4  | 174,0  | 10,9  | 18,1  | 135,2      | 11,7  | 17,8  |
| 10   | 281,6  | 16,8  | 20,6  | 454,8   | 16,7  | 21,9  | 50,4   | 15,6  | 18,7  | 95,6   | 17,2  | 21,3  | 48,0   | 16,8  | 17,2  | 89,2  | 10,7  | 17,3  | 82,0   | 12,0  | 17,9  | 92,4   | 11,5  | 17,2  | 101,6      | 11,7  | 17,3  |
| 11   | 478,0  | 18,3  | 22,0  | 416,0   | 17,4  | 22,8  | 285,2  | 15,6  | 19,3  | 69,2   | 16,4  | 20,1  | 258,0  | 17,8  | 19,6  | 135,2 | 11,5  | 17,8  | 90,4   | 11,7  | 17,5  | 213,2  | 12,1  | 18,9  | 167,6      | 11,3  | 17,3  |
| 12   | 394,0  | 14,0  | 20,9  | 378,0   | 17,6  | 23,2  | 470,8  | 16,8  | 22,6  | 72,4   | 14,7  | 18,5  | 65,6   | 19,5  | 17,3  | 97,6  | 11,5  | 16,9  | 82,0   | 11,2  | 17,5  | 84,4   | 11,7  | 17,3  | 295,2      | 10,9  | 17,8  |
| 13   | 397,2  | 16,6  | 20,7  | 365,6   | 17,2  | 22,3  | 464,0  | 17,5  | 23,4  | 91,6   | 16,1  | 20,4  | 65,6   | 16,3  | 20,5  | 113,2 | 12,6  | 18,9  | 76,8   | 11,6  | 16,7  | 90,0   | 11,6  | 17,3  | 309,2      | 11,5  | 20,4  |
| 14   | 205,0  | 16,9  | 22,0  | 254,6   | 18,7  | 23,0  | 409,6  | 18,5  | 24,2  | 132,9  | 15,7  | 21,3  | 110,4  | 15,8  | 17,7  | 262,9 | 14,0  | 21,7  | 124,6  | 10,5  | 16,8  | 290,8  | 13,3  | 20,0  | 312,9      | 13,0  | 21,2  |
| 15   | 383,6  | 15,9  | 20,7  | 152,4   | 16,7  | 21,9  | 444,8  | 18,7  | 24,4  | 146,8  | 14,3  | 18,7  | 32,8   | 16,0  | 17,1  | 261,2 | 13,3  | 22,0  | 131,2  | 9,6   | 18,0  | 328,8  | 12,8  | 21,4  | 160,0      | 12,9  | 19,5  |
| 16   | 265,6  | 17,0  | 21,2  | 279,6   | 16,3  | 20,6  | 358,8  | 19,7  | 25,1  | 32,8   | 14,9  | 19,0  | 32,0   | 17,5  | 18,1  | 179,6 | 12,7  | 20,2  | 190,8  | 10,3  | 17,0  | 118,8  | 12,3  | 20,6  | 142,4      | 12,3  | 17,6  |
| 17   | 434,8  | 17,5  | 22,3  | 236,0   | 17,5  | 21,7  | 202,8  | 18,8  | 24,7  | 269,6  | 14,2  | 17,8  | 66,8   | 18,0  | 17,1  | 138,4 | 13,2  | 19,9  | 166,4  | 10,8  | 19,1  | 51,6   | 12,2  | 17,3  | 174,8      | 11,8  | 17,6  |
| 18   | 451,6  | 19,0  | 22,8  | 213,6   | 17,6  | 22,0  | 186,8  | 17,8  | 23,2  | 291,2  | 14,2  | 21,3  | 74,0   | 18,8  | 17,2  | 126,8 | 12,3  | 18,5  | 139,2  | 13,1  | 19,5  | 50,4   | 12,8  | 17,2  | 188,8      | 12,7  | 18,6  |
| 19   | 427,2  | 19,5  | 23,4  | 298,4   | 17,2  | 21,6  | 149,6  | 16,5  | 22,3  | 186,8  | 13,9  | 18,6  | 132,0  | 19,0  | 16,9  | 92,8  | 14,1  | 20,5  | 40,0   | 11,0  | 17,1  | 148,8  | 15,5  | 21,2  | 166,4      | 12,1  | 18,3  |
| 20   | 342,4  | 19,2  | 23,7  | 452,8   | 18,3  | 22,3  | 229,6  | 16,1  | 21,2  | 64,8   | 13,5  | 19,6  | 28,4   | 19,0  | 17,4  | 174,0 | 14,8  | 19,5  | 70,4   | 11,1  | 16,6  | 76,8   | 13,1  | 19,5  | 242,8      | 12,7  | 18,4  |
| 21   | 85,2   | 19,3  | 23,6  | 133,6   | 19,1  | 24,0  | 133,6  | 17,6  | 22,0  | 131,6  | 13,5  | 18,0  | 42,4   | 18,3  | 18,5  | 28,4  | 14,7  | 20,2  | 34,8   | 14,4  | 18,1  | 168,8  | 11,9  | 17,3  | 275,2      | 13,4  | 19,7  |
| 22   | 456,0  | 18,0  | 22,1  | 142,0   | 19,0  | 23,4  | 202,8  | 16,9  | 21,7  | 269,2  | 14,4  | 19,0  | 38,8   | 17,3  | 20,2  | 54,0  | 12,5  | 17,7  | 163,2  | 12,2  | 17,2  | 323,2  | 11,6  | 18,2  | 266,0      | 13,4  | 19,9  |
| 23   | 479,6  | 18,8  | 22,8  | 318,4   | 18,9  | 23,1  | 230,4  | 17,5  | 22,6  | 205,6  | 14,8  | 20,8  | 64,0   | 16,3  | 18,6  | 15,2  | 13,4  | 17,4  | 184,8  | 13,4  | 19,1  | 46,4   | 12,0  | 20,5  | 354,0      | 13,8  | 19,6  |
| 24   | 478,4  | 17,8  | 23,5  | 202,4   | 18,9  | 23,7  | 119,6  | 17,4  | 22,5  | 178,4  | 13,4  | 20,5  | 224,8  | 19,0  | 17,4  | 60,8  | 11,9  | 16,8  | 61,2   | 13,0  | 20,0  | 81,6   | 11,9  | 17,6  | 21,6       | 15,6  | 20,9  |
| 25   | 457,2  | 18,0  | 23,6  | 129,2   | 18,0  | 23,0  | 167,2  | 15,6  | 20,6  | 106,0  | 14,7  | 20,5  | 130,8  | 18,5  | 17,3  | 29,2  | 13,0  | 17,4  | 18,4   | 11,9  | 17,6  | 124,0  | 13,2  | 17,7  | 131,2      | 12,2  | 17,9  |
| 26   | 152,0  | 19,6  | 24,3  | 144,4   | 17,7  | 21,7  | 178,0  | 17,2  | 21,3  | 154,8  | 14,1  | 18,9  | 259,2  | 16,5  | 17,5  | 28,4  | 12,2  | 16,9  | 137,6  | 11,8  | 16,7  | 22,4   | 12,3  | 18,1  | 343,2      | 12,5  | 17,7  |
| 27   | 290,8  | 18,3  | 23,2  | 184,4   | 17,2  | 21,6  | 104,4  | 16,8  | 21,6  | 129,2  | 15,2  | 19,7  | 112,4  | 15,3  | 21,1  | 31,2  | 11,9  | 16,8  | 48,0   | 12,7  | 18,5  | 263,2  | 11,7  | 16,8  | 172,4      | 13,2  | 19,9  |
| 28   | 377,6  | 18,2  | 22,3  | 142,8   | 18,0  | 22,5  | 369,6  | 15,9  | 20,5  | 102,0  | 13,8  | 19,3  | 33,2   | 16,5  | 20,3  | 66,0  | 12,3  | 16,9  | 102,8  | 11,6  | 17,1  | 46,4   | 13,3  | 20,1  | 80,0       | 12,5  | 18,6  |
| 29   | 76,0   | 18,5  | 23,0  | 90,8    | 18,5  | 22,7  | 113,6  | 16,8  | 22,8  | 151,2  | 13,2  | 18,3  | 88,0   | 16,3  | 21,7  | 62,8  | 12,0  | 17,2  | 287,2  | 13,6  | 18,0  | 110,0  | 12,5  | 17,7  | 329,6      | 13,2  | 17,7  |
| 30   | 183,6  | 17,5  | 21,9  | 291,2   | 16,6  | 21,0  | 91,6   | 17,0  | 22,0  | 183,6  | 12,6  | 18,1  | 191,2  | 15,3  | 20,5  | 27,6  | 11,1  | 16,9  | 219,0  | 13,2  | 20,5  | 180,5  | 12,7  | 17,9  | 180,5      | 14,7  | 20,3  |
| Prom | 315,03 | 17,95 | 22,46 | 257,91  | 17,92 | 22,50 | 231,73 | 16,69 | 21,71 | 162,52 | 14,92 | 20,02 | 119,92 | 17,03 | 18,99 | 91,86 | 12,28 | 18,10 | 115,52 | 11,73 | 17,86 | 148,74 | 12,02 | 18,50 | 200,70     | 12,91 | 18,96 |