



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**Creación de un modelo para predecir las condiciones de borde para simulación energética de viviendas en Chile**

POR

**Manuel Víctor Pérez Cifuentes**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:  
Adelqui Fissore Schiappacasse

2023  
Concepción (Chile)

© 2023 Manuel Víctor Pérez Cifuentes

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

## **Agradecimientos**

Quiero agradecerle a mi familia, específicamente a mi Padre Víctor y Madre Olimpia, por haberme inculcado la motivación de estudiar una profesión, también por el apoyo que me brindaron durante etapas críticas que pase en el ámbito académico.

Agradezco a mi hermano Miguel por haber compartido sentimientos de alegría cuando aprobaba ramos.

Agradezco a mi tía Wilma y tía Marcia por abrirme las puertas de sus hogares en aquellos momentos en los cuales se me complico llegar a casa de la universidad por tema de horario. Agradezco a mi tío Mario por haberme dado consejos durante mis primeras semanas en la Universidad.

También agradecer a los funcionarios y docentes del Departamento de Ingeniería Mecánica por su amabilidad, buena disposición y enseñanza que me brindaron en estos años. Agradecer al supervisor de mi práctica Don Ariel por haberme dado nociones acerca del campo laboral en el cual espero poder desempeñarme.

Agradezco a Davidson Industry y a su personal de trabajo por haberme brindado la confianza de realizar mi práctica en dicha empresa, la cual fue muy provechosa y es un plus de motivación al recordar la experiencia, para poder terminar esta etapa.

*Esta memoria está dedicada...*

*A mi Madre, Padre, tía Wilma, Hermano, Tía Marcía, Tío Mario y Don Ariel V.*

## Resumen

El sistema de climatización de una vivienda en Chile corresponde a uno de los principales consumos energéticos de dicho sector, este consumo energético por vivienda presenta una gran variabilidad en el país, debido a las diferentes condiciones climatológicas y NSE, ya que, los NSE mayores usan artefactos para calefacción más eficientes, por otra parte, en ciertas zonas del país debido al clima no consumen energía en calefacción.

El objetivo principal es predecir las condiciones de borde horaria para simulación energética de viviendas en Chile, para ello se analiza en primer lugar la interacción física de la vivienda, luego información asociada a simulación térmica de viviendas en Chile y finalmente las condiciones requeridas por parte de un programa computacional de simulación térmica. De esta manera se definen las condiciones de borde necesarias para la simulación en el programa.

Las condiciones de borde se identifican según el mismo procedimiento llevado a cabo por la CEV para simulación térmica. Esta identificación permite predecir las condiciones de borde horaria que se usan en la simulación térmica de viviendas en Chile. Además, se identifican los valores que usa el programa TRNSYS para la definición de los elementos constructivos y ubicación de la vivienda.

Adicionalmente se muestra el procedimiento para predecir las condiciones de borde horaria para una vivienda, según la identificación que se realiza en capítulos anteriores.

Por último, se realizan comentarios acerca de los resultados que entregan los distintos modelos que se analizan, y la manera de la cual se podrían abordar las condiciones de borde horaria de otro tipo de vivienda distinta a la que se analiza, con la finalidad de que estas sean más precisas y así mejorar los resultados de la simulación.

**Palabras clave: simulación térmica, condiciones de borde, viviendas, TRNSYS, CEV.**

## Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos.....	ii
Lista de Tablas .....	iv
Lista de Figuras .....	v
Glosario .....	vii
<b>1 CAPÍTULO 1: Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Metodología.....	5
1.4 Planificación .....	6
<b>2 CAPÍTULO 2: Marco Teórico .....</b>	<b>7</b>
2.1 Transferencia de calor .....	7
2.2 Reglamentación térmica de Chile.....	8
2.3 Método grados-día.....	8
2.4 Zonificación térmica.....	8
2.5 Plan de descontaminación atmosférica.....	9
2.6 Vivienda.....	9
2.7 Balance energético del edificio.....	11
2.8 Manual de procedimientos de calificación energética de viviendas en Chile [5]. .....	15
2.9 TRNSYS.....	25
<b>3 CAPÍTULO 3: Identificación de las condiciones de borde requeridas para simulación térmica ...</b>	<b>33</b>
3.1 Identificación de condiciones de borde para simulación térmica de viviendas en Chile. ....	33
3.2 Identificación de condiciones de borde para simulación térmica en TRNSYS.....	33
<b>4 CAPÍTULO 4: Determinación de las condiciones de borde de una vivienda.....</b>	<b>45</b>
4.1 Antecedentes de la vivienda .....	45
4.2 Capas de la vivienda .....	46
4.3 Muros de la vivienda .....	47
4.4 Ventanas de la vivienda.....	47
4.5 Infiltraciones de aire exterior en la envolvente .....	48
4.6 Ventilación de aire exterior en la vivienda.....	48
4.7 Ganancias en la vivienda .....	49
4.8 Sistema de calefacción de la vivienda .....	49
4.9 Zonas de la vivienda .....	50

4.10 Condiciones del entorno .....	51
5 CAPÍTULO 5: Conclusión y comentarios. ....	53
Referencias .....	54
Anexo A: Reglamentación térmica de viviendas .....	55
Anexo B: Norma ISO 7730.....	58
Anexo C: Determinación de año típico .....	59

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1: Artefactos con mayor presencal porcentual en las viviendas de Chile.</b> .....	1
<b>Tabla 2: Consumo energético [kWh/ vivienda/año] según GZT y año de construcción (Fuente: [1])</b> .....	2
<b>Tabla 3: Planificación del proyecto</b> .....	6
<b>Tabla 4: Grados días anuales por zona térmica (Fuente: [12])</b> .....	8
<b>Tabla 5: Niveles que determinan la calidad del aire (Fuente: [7])</b> .....	9
<b>Tabla 6: Coeficientes de absorción solar según las distintas superficies (Fuente: [8])</b> .....	35
<b>Tabla 7: Antecedentes generales de la vivienda</b> .....	45
<b>Tabla 8: Capas del departamento</b> .....	47
<b>Tabla 9: Muros del departamento</b> .....	47
<b>Tabla 10: Ventana del departamento</b> .....	47
<b>Tabla 11: Temperaturas medias mensuales del año típico</b> .....	50
<b>Tabla 12: Rangos de confort en la vivienda</b> .....	50
<b>Tabla 13: Muros categoría INTERNAL y BOUNDARY del departamento</b> .....	51
<b>Tabla 14: Muro categoría EXTERNAL del departamento</b> .....	51
<b>Tabla 15: Ventana contenida en el muro EXTERNAL</b> .....	51
<b>Tabla 16: Meses según el año considerado para año típico</b> .....	51
<b>Tabla 17: Reglamentación térmica de techumbre (Fuente: [15])</b> .....	55
<b>Tabla 18: Reglamentación térmica de muros (Fuente: [15])</b> .....	55
<b>Tabla 19: Reglamentación térmica de pisos ventilados (Fuente: [15])</b> .....	55
<b>Tabla 20: Reglamentación térmica de vidrios (Fuente: [15])</b> .....	56
<b>Tabla 21: Transmitancia térmica ponderada en caso de exceder superficie máxima vidriada (Fuente: [15])</b> .....	56
<b>Tabla 22 Transmitancia térmica máxima para los elementos de la envolvente de la vivienda (Fuente: [15])</b> .....	57
<b>Tabla 23: Calor sensible y latente desprendido por ocupación según actividad (Fuente: [16]).</b>	58

## Lista de Figuras

<b>Figura 1: Distribución porcentual de las fuentes energéticas consumidas por el sector residencial</b>	2
<b>Figura 2: Consumo energético promedio [kWh/ vivienda/año] y usos, según GZT (Fuente: [1])</b>	3
<b>Figura 3: Consumo energético promedio [kWh/ vivienda/año] y usos, según NSE (Fuente: [1])</b>	3
<b>Figura 4: Consumo energético [GWh/año] del sector residencial según las distintas fuentes (Fuente: [1])</b>	4
<b>Figura 5: Viviendas aisladas (Fuente: [13])</b>	10
<b>Figura 6: Viviendas pareadas (Fuente: [13])</b>	10
<b>Figura 7: Viviendas en fila (Fuente: [13])</b>	10
<b>Figura 8: Edificio constituido por viviendas del tipo departamento.</b>	11
<b>Figura 9: Interacción energética de un edificio con el exterior (Fuente: [14])</b>	11
<b>Figura 10: Flujo energético de una superficie en contacto con el exterior (Fuente: [6]).</b>	12
<b>Figura 11: Flujo energético de una ventana en contacto con el exterior (Fuente: [6]).</b>	13
<b>Figura 12: Interacción entre una superficie inclinada con la radiación del sol.</b>	14
<b>Figura 13: Clasificación energética CEV (Fuente: [5]).</b>	15
<b>Figura 14: Pasos para la determinación del consumo energético CEV (Fuente: [5])</b>	16
<b>Figura 15: Superficie expuesta a la radiación del sol (Fuente: [5])</b>	19
<b>Figura 16: Puentes térmicos típicos (Fuente: [5])</b>	22
<b>Figura 17: Interfaz gráfica para la creación de proyectos de simulación en Trnsys (Fuente: [8])</b>	25
<b>Figura 18: Componentes en la interfaz gráfica (Fuente: [8])</b>	25
<b>Figura 19: Configuración de componentes (Fuente: [8]).</b>	25
<b>Figura 20: Interconexión de componentes (Fuente: [8]).</b>	25
<b>Figura 21: Ventana TRNBuild (Fuente: [8])</b>	26
<b>Figura 22: Ventana TRNBuild Manager (Fuente: [8]).</b>	26
<b>Figura 23: Interacción del nodo de aire representativo de la zona (Fuente: [8])</b>	27
<b>Figura 24: Zonas creadas para el proyecto (Fuente: [8])</b>	28
<b>Figura 25: Descripción de las condiciones de borde de la zona (Fuente: [8]).</b>	29
<b>Figura 26: Descripción del archivo externo en Type56a (Fuente: [8]).</b>	29
<b>Figura 27: Salidas por defecto del Type56a (Fuente: [8]).</b>	30
<b>Figura 28: Entradas por defecto del Type56a (Fuente: [8]).</b>	30
<b>Figura 29: Representación gráfica del Type16i (Fuente: [8])</b>	30
<b>Figura 30: Entradas por defecto del Type16i (Fuente: [8]).</b>	30
<b>Figura 31: Salidas por defecto del Type16i (Fuente: [8])</b>	31
<b>Figura 32: Ventana Layer Type Manager (Fuente: [8]).</b>	34
<b>Figura 33: Ventana Layer Thickness (Fuente: [8]).</b>	34
<b>Figura 34: Ventana Wall Type Manager (Fuente: [8]).</b>	34
<b>Figura 35: Definición de muros de la zona (Fuente: [8])</b>	36

<b>Figura 36: Ventana WinID-Lib (Librería de ventanas) (Fuente: [8])</b> .....	36
<b>Figura 37: Transmitancia térmica según el tipo de ventana (Fuente: [5])</b> .....	36
<b>Figura 38: Relación Ventana/marco según tipo de marco (Fuente: [5])</b> .....	37
<b>Figura 39: Transmitancia térmica según tipo de marco (Fuente: [5])</b> .....	37
<b>Figura 40: Interfaz Window Type Manager (Fuente: [8])</b> .....	38
<b>Figura 41: Definición de ventanas de la zona (Fuente: [8])</b> .....	38
<b>Figura 42: Hermeticidad de la casa completa excepto puertas y ventanas (Fuente: [5])</b> .....	39
<b>Figura 43: Hermeticidad de puertas (Fuente: [5])</b> .....	39
<b>Figura 44: Hermeticidad de ventanas (Fuente: [5])</b> .....	39
<b>Figura 45: Definición de infiltraciones de aire exterior en la zona (Fuente: [8])</b> .....	40
<b>Figura 46: Perfil de ocupación a diario de una vivienda en Chile (Fuente: [5])</b> .....	40
<b>Figura 47: Definición de ganancias de la zona (Fuente: [8])</b> .....	41
<b>Figura 48: Ventana Ventilation Type Manager (Fuente: [8])</b> .....	42
<b>Figura 49: Definición de ventilación de la zona (Fuente: [8])</b> .....	42
<b>Figura 50: Consulta de datos meteorológicos (Fuente: [17])</b> .....	43
<b>Figura 51: Ventana Heating Type Manager (Fuente: [8])</b> .....	43
<b>Figura 52: Ventana Cooling Type Manager (Fuente: [8])</b> .....	44
<b>Figura 53: Disposición del departamento en el edificio y orientación de este.</b> .....	45
<b>Figura 54: Distribución de espacios del departamento.</b> .....	46
<b>Figura 55: Plano planta del departamento</b> .....	46
<b>Figura 56: Ventilación mínima por higiene del departamento</b> .....	48
<b>Figura 57: Infiltraciones de aire exterior en la vivienda</b> .....	49
<b>Figura 58: Ganancias a lo largo del día en la vivienda</b> .....	49
<b>Figura 59: Construcción año típico: Enero</b> .....	59
<b>Figura 60: Construcción año típico: Febrero</b> .....	59
<b>Figura 61: Construcción año típico: Marzo</b> .....	59
<b>Figura 62: Construcción año típico: Abril</b> .....	59
<b>Figura 63: Construcción año típico: Mayo</b> .....	60
<b>Figura 64: Construcción año típico: Junio</b> .....	60
<b>Figura 65: Construcción año típico: Julio</b> .....	60
<b>Figura 66: Construcción año típico: Agosto</b> .....	60
<b>Figura 67: Construcción año típico: Septiembre</b> .....	60
<b>Figura 68: Construcción año típico: Octubre</b> .....	60
<b>Figura 69: Construcción año típico: Noviembre</b> .....	61
<b>Figura 70 Construcción año típico: Diciembre</b> .....	61

**Glosario**

ACS	:	Agua caliente sanitaria
CEV	:	Calificación Energética de Viviendas
DVH	:	Doble vidrio hermético
ERNC	:	Energías renovables no convencionales
GLP	:	Gas Licuado del Petróleo
GN	:	Gas Natural
GZT	:	Grupo Zona Térmica
INN	:	Instituto Nacional de Normalización
MINVU	:	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MP	:	Material Particulado
MPH	:	Millas Por Hora
NCh	:	Norma Chilena
NSE	:	Nivel socioeconómico
PPDA	:	Plan de prevención y/o descontaminación atmosférica
PDA	:	Plan de descontaminación atmosférica
PBDT	:	Planilla de balance térmico dinámico
PPA	:	Plan de prevención atmosférica
RAH	:	Renovaciones de aire por hora
RT	:	Reglamentación Térmica
UdeC	:	Universidad de Concepción
ZT	:	Zona Térmica

## CAPÍTULO 1: Introducción

### 1.1 Contexto

En Chile existe un total de 6.280.475 viviendas, estas se pueden clasificar en: viviendas aisladas, vivienda pareada, vivienda en fila y departamento. Las viviendas son mayoritariamente de 1 piso y habitadas por 3,4 integrantes promedio, las normas térmicas empleadas en la construcción del hogar dependen del año que se edificó y la zona donde se construyó [1].

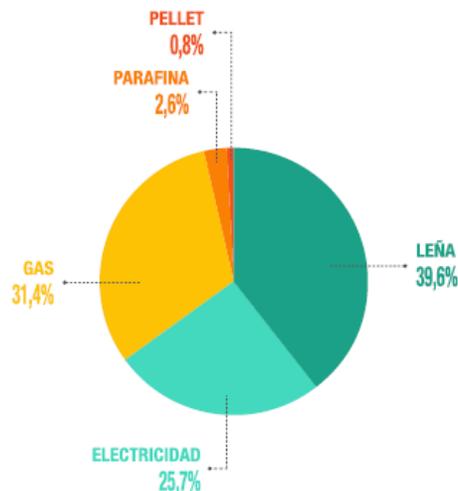
En Chile el sector residencial es uno de los principales consumidores de la matriz energética secundaria, matriz de la cual participan los energéticos: primarios y secundarios. El consumo final de energía del país durante el año 2020 fue de 329.516 GWh, los sectores con más consumo porcentual son: transporte con un 33%, industria 22%, minería 18% y residencial 17%. El consumo del sector residencial durante el 2020 fue de 56.017 GWh. El consumo de energía promedio nacional de una vivienda durante 2020 son 9.590 kWh [2]. En la tabla 1 se muestran los principales artefactos consumidores de energía y la tenencia porcentual por parte de las viviendas en Chile.

**Tabla 1: Artefactos con mayor presencia porcentual en las viviendas de Chile.**

Artefacto	Tenencia (%)
Cocina	99,8
Refrigerador	99,6
Cargador de celular	99,3
Televisor	98,8
Lavadora	98,2
ACS	95,5

El uso de la energía por parte del hogar se distribuye principalmente para: Calefacción y climatización (53%), ACS (20%), refrigeración de alimentos (5%), cocción de alimentos (5%), iluminación (4%), televisión (4%), aseo de ropa (3%), stand by (2%) y hervidor eléctrico (1%). El uso de la calefacción es el que presenta mayor variabilidad según las distintas zonas térmicas. Las zonas térmicas se clasifican en rangos según la temperatura de calefacción necesaria para lograr la temperatura de confort en la vivienda (método grados-días anual), a medida que aumenta el número de zona aumentan también los límites mínimos y máximos del rango en el cual se clasifica dicha zona. Dado las condiciones meteorológicas del país, el número de zona térmica aumenta de norte a sur. En la ZT1 (asociada a localidades del extremo norte de Chile) poco más del 20% de las viviendas posee al menos un artefacto para la calefacción, mientras que, en la ZT7 (asociada a localidades del extremo sur de Chile) todas las viviendas poseen al menos un aparato para la calefacción de la vivienda. La percepción de confort térmico por parte de los ocupantes de las viviendas a nivel nacional es de satisfacción (no siente ni frío ni calor) en más de la mitad de estas durante todo el año. La manera de calefacción es por habitación en un 65,2% de las viviendas y un 34,7% calefacciona la vivienda completa. La gran mayoría de viviendas usa aparatos descentralizados para calefacción, siendo la

estufa y calefactor individual los aparatos más populares, de acuerdo con la figura 1 las fuentes energéticas que emplean estos aparatos es leña, gas, electricidad, parafina y pellet [1].



**Figura 1: Distribución porcentual de las fuentes energéticas consumidas por el sector residencial**

El uso de algunas fuentes térmicas varía considerablemente según la ZT, por ejemplo, en la ZT7 casi la mitad de las viviendas emplean gas natural a diferencia del resto de ZT que casi no lo usan (menos del 7% de viviendas por ZT) [1].

En el informe “Uso de energía de los Hogares de Chile 2018” las zonas térmicas se dividen en 3 grupos (GZTB, GZTC y GZTD) de características similares, el GZTA agrupa todas las zonas térmicas, el GZTB agrupa la ZT1 y ZT2, el GZTC agrupa la ZT3, ZT4 y ZT5, y el GZTD agrupa la ZT6 y ZT7. En la tabla 2 se muestra el consumo energético promedio de las viviendas clasificadas según el GZT y el año de construcción, generando rangos de acuerdo a la entrada en vigor de la RT, las viviendas del GZTD consumen en promedio más energía que las viviendas del resto de GZT, además, en promedio en cada GZT las viviendas construidas más recientemente (después del 2007) consumen una menor cantidad de energía en comparación a las viviendas construidas antes de la RT actual [1].

**Tabla 2: Consumo energético [kWh/ vivienda/año] según GZT y año de construcción (Fuente: [1])**

Grupo zona térmica	Antes de 2001	2001-2007	Post 2007
<b>GZTA</b>	5.274	5.099	4.502
<b>GZTB</b>	1.401	1.648	1.393
<b>GZTC</b>	4.166	4.314	3.711
<b>GZTD</b>	22.334	19.980	18.782

En la figura 2 se muestra el gráfico del consumo energético promedio según el uso final por parte de las viviendas en los distintos GZT, se observa que el principal uso para los GZTC y GZTD es para calefacción/climatización, mientras que, las viviendas del GZTB usa la energía principalmente para ACS.

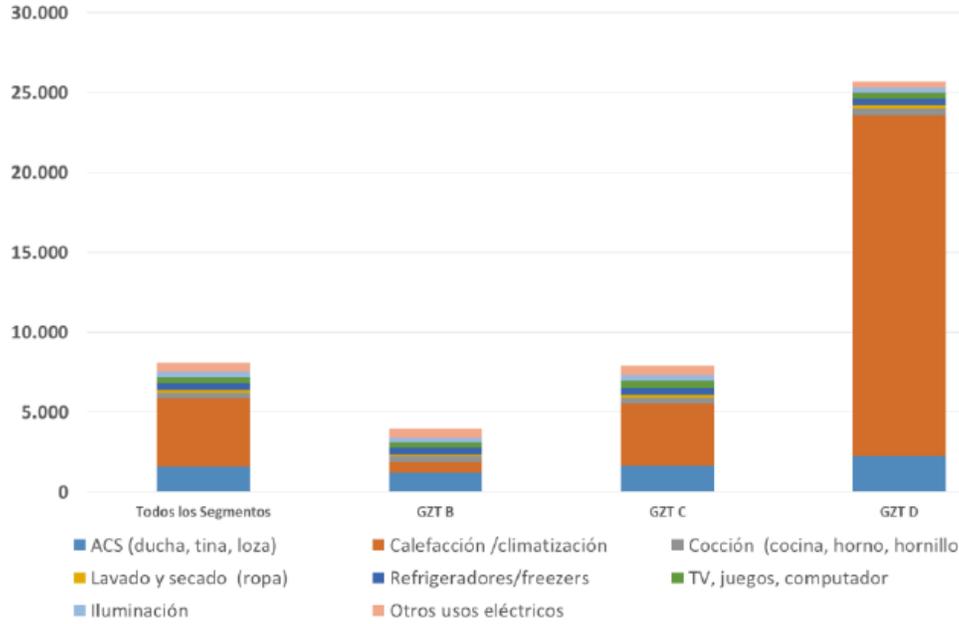


Figura 2: Consumo energético promedio [kWh/ vivienda/año] y usos, según GZT (Fuente: [1])

En la figura 3 se muestra el consumo y uso energético promedio de la vivienda según el NSE, se observa que las viviendas del NSE C1 consume más energía, debido a la mayor tenencia de aparatos consumidores de energía [1]. Mientras que el NSE D-E usa más energía en calefacción que el resto.

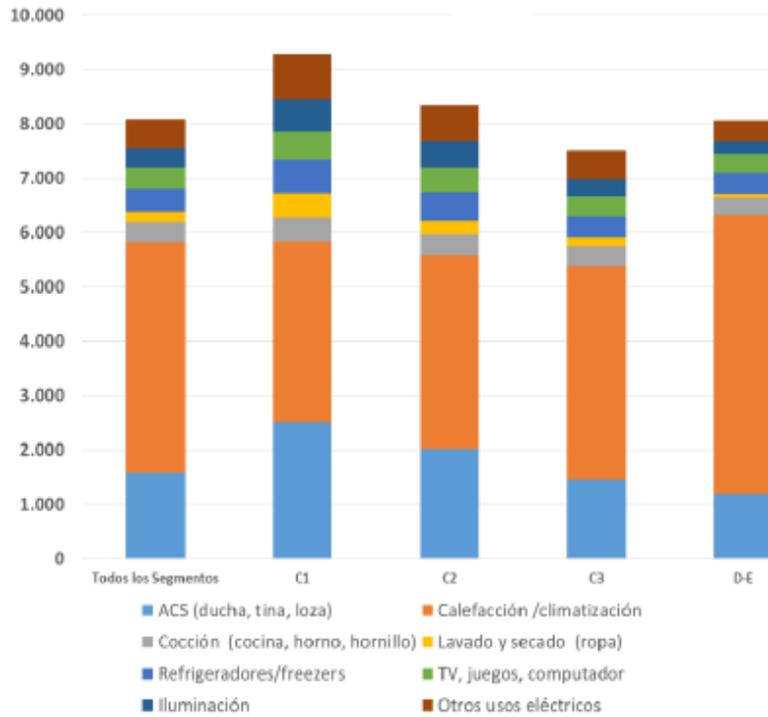
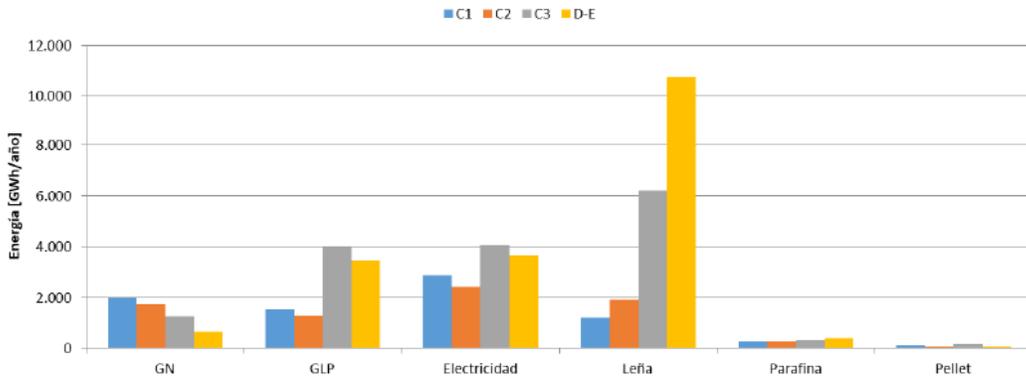


Figura 3: Consumo energético promedio [kWh/ vivienda/año] y usos, según NSE (Fuente: [1])

En la figura 4 se muestran el consumo de fuentes energéticas anual por parte de los distintos NSE, se observa que el NSE D-E usa mayoritariamente leña, lo que explica el mayor consumo en calefacción, ya que, los calefactores individuales o estufas asociados a esta fuente energética tienen un mayor consumo energético, mientras que los NSE C1 usan como fuente mayoritariamente la electricidad, la cual es la fuente energética más cara, mientras que, la leña es la más barata, lo que explica la razón por la cual, a pesar de consumir menos energía en calefacción, el NSE C1 gasta más que el NSE D-E [1].



**Figura 4: Consumo energético [GWh/año] del sector residencial según las distintas fuentes (Fuente: [1])**

Con el fin de mitigar efectos nocivos por material particulado, en las regiones más afectadas de Chile en la actualidad existe el "Plan de prevención y descontaminación atmosférica", que contiene una serie de medidas para así dar cumplimiento a la norma ambiental por MP2,5 y no sobrepasar los límites de latencia de la norma primaria de la calidad ambiental por MP10, especialmente en invierno donde se genera un escenario propicio para aumentar las concentraciones de MP2,5 debido a las bajas temperaturas, y el aumento significativo de la biomasa para calefacción domiciliaria. Algunas de las medidas que se consideran para la reducción de emisiones por parte de los sectores con mayores aportes de MP hacia la atmósfera son normas de emisión para fuentes estacionarias, restricciones al uso de calefactores a leña, subsidios de reacondicionamiento térmico, nuevos estándares de eficiencia térmica para viviendas nuevas y programas de recambio de calefactores a leña [3]. Una de las medidas para fomentar la fuente energética de electricidad en usos de calefacción es por medio de la eliminación de la tarifa de invierno en las cuentas, beneficiando así principalmente a las ciudades del sur de Chile [4].

Los aparatos de calefacción eléctrica no emiten contaminación de manera directa, se puede decir que emiten lo asociado a la producción de energía eléctrica consumida, lo que no afecta al MP, ya que, el lugar donde se produce la electricidad está fuera del radio urbano donde se presenta el problema. Dentro de estos aparatos eléctricos para calefacción encontramos a las bombas de calor, los cuales en su funcionamiento emiten mayor energía calorífica en comparación a la energía eléctrica que consumen. La eficiencia de las bombas de calor de velocidad variable es muy sensible a las condiciones específicas del momento, cargas de calefacción y temperatura exterior principalmente, lo que hace que las condiciones de borde horaria para simulación energética de viviendas en Chile sean relevantes para la evaluación del comportamiento de las viviendas.

La calificación energética de viviendas es un instrumento voluntario que califica con una etiqueta de colores y letras la eficiencia energética de una vivienda en su etapa de uso. La eficiencia energética de la arquitectura de la vivienda considera la simulación de la demanda energética en: calefacción, enfriamiento e iluminación apropiados para la vivienda, estos resultados de simulación se comparan con los resultados de una vivienda similar arquitectónicamente, y así determinan el porcentaje de ahorro [5].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

-Crear un procedimiento según base de datos para predecir las condiciones de borde horarias para simulación energética de viviendas en Chile.

### **1.2.2 Objetivos secundarios**

- Definir requerimientos de condiciones de borde para la simulación térmica de viviendas de Chile.
- Identificar las variables de un proyecto de viviendas nuevas y existentes.
- Predecir condiciones de borde de una vivienda.
- Concluir acerca del procedimiento.

## **1.3 Metodología**

La metodología que se emplea para alcanzar los objetivos enunciados anteriormente se describe a continuación:

### **1.3.1 Revisión acerca de modelos de simulación térmica**

Revisión bibliográfica y en manuales desde el punto de vista teórico de las generalidades de la simulación térmica de edificios, y los modelos que emplea la CEV y TRNSYS.

### **1.3.2 Definición de condiciones de borde para simulación térmica de viviendas**

En base a la información que se analiza acerca de los modelos se definen las condiciones de borde que permiten la simulación térmica de las viviendas de Chile.

### **1.3.3 Identificación de las variables**

Esta etapa se realiza por medio de la recolección de información que permite la adecuada identificación de las condiciones de borde para un proyecto de viviendas nuevas o existentes en los modelos que emplea la CEV y TRNSYS.

### **1.3.4 Creación de un procedimiento para predecir condiciones de borde**

Según las condiciones de borde identificadas y la recolección de información se crea un procedimiento que permite la predicción de las condiciones de borde hora a hora para la simulación térmica por medio del modelo de TRNSYS.

### **1.3.5 Análisis del procedimiento**

Comentarios y conclusión acerca del procedimiento para predecir las condiciones de borde horaria, según la aplicación del procedimiento en un proyecto de vivienda nueva.



## CAPÍTULO 2: Marco Teórico

En el presente capítulo se establecen las bases teóricas, definiciones y normas chilenas que permiten comprender el proyecto, específicamente lo referido a transferencia de calor y viviendas, comprendiendo así el comportamiento térmico de la edificación en su entorno.

### 2.1 Transferencia de calor

Es la propagación de calor en distintos medios, se produce siempre que exista un gradiente térmico, la transferencia de energía como calor se da desde la zona con mayor temperatura hacia la zona con menor temperatura, el proceso no se detiene hasta que ambas zonas alcancen similar temperatura, es decir, se encuentran en equilibrio térmico. El calor se manifiesta de dos maneras en la materia, como: calor sensible y calor latente, el cual se transfiere de tres modos distintos, por: conducción, convección y radiación.

#### 2.1.1 Conductividad térmica

Es la capacidad para conducir el calor de un determinado material a sus partículas adyacentes o en contacto, es una propiedad intensiva propia del material, sus unidades de medidas de acuerdo con el sistema internacional son:  $W/(mK)$ . La conductividad térmica se determina experimentalmente [9].

#### 2.1.2 Resistencia térmica

Es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor, la resistencia térmica de un material de caras planas y paralelas se determina mediante la ecuación 1 como:

$$R = \frac{\Delta x}{k} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] \quad (1)$$

De la expresión 1 la resistencia térmica de un material es directamente proporcional al espesor que separa las zonas térmicas e inversamente proporcional a la conductividad térmica del material.

#### 2.1.3 Resistencia térmica total

Es la capacidad de un elemento compuesto de distintas materialidades de oponerse al flujo de calor. La resistencia térmica total para un elemento de construcción formado por distintas materialidades de placas planas y paralelas en contacto entre ellas se determina mediante la ecuación 2 como:

$$R_t = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{k_i} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] \quad (2)$$

De la expresión 2 la resistencia térmica total es la suma de cada una de las resistencias de los materiales que conforman el elemento de construcción, se determina experimentalmente [9].

#### 2.1.4 Transmitancia térmica

Se define como la medida de calor que fluye por unidad de: tiempo, área de material constructivo y diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados. Para un elemento constructivo se define como:

$$U_t = \left( \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{k_i} + R_{se}} \right) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (3)$$

De la ecuación 3 se tiene que la transmitancia térmica es el inverso de las sumas de las resistencias térmicas de cada elemento que conforma el elemento constructivo con las resistencias térmicas de la superficie exterior e interior.

## 2.2 Reglamentación térmica de Chile

Programa que contemplo varias etapas de modificación a la Ordenanza General de Urbanismos y Construcciones, con el fin de establecer requisitos de acondicionamiento térmico de viviendas según la zonificación térmica desarrollada para este fin. En una primera etapa (2000) se definieron características mínimas de aislación para la techumbre. La segunda etapa (2007) hoy en día vigente, además, de establecer condiciones mínimas de aislación para techumbres establece condiciones mínimas de aislación para: muros, pisos ventilados y ventanas.

En las ciudades del norte de Chile las exigencias mínimas de aislación para viviendas son menos restrictivas que las exigencias de aislación para viviendas del sur, dado que el clima lo permite. (Véase anexo A).

## 2.3 Método grados-día

Indica cuantos grados (Celsius) y cuánto tiempo (días) ha estado la temperatura exterior por debajo o por encima de la temperatura base (interior) requerida en la vivienda. Existen los grados-día calefacción o grados día refrigeración, dependiendo de: la temperatura base y la temperatura exterior. Los grados-día calefacción ocurren cuando la temperatura exterior es inferior a la temperatura base.

## 2.4 Zonificación térmica

La zonificación térmica de Chile permite aplicar las exigencias de la RT vigente. Se basa en la temperatura de calefacción necesaria para lograr la temperatura interior de la vivienda, en función del método grados-días calefacción. Chile está dividido en siete zonas térmicas, en la tabla 4 se muestran las siete zonas térmicas con sus respectivos grados-día anuales.

Tabla 4: Grados días anuales por zona térmica (Fuente: [12])

Zona Térmica	Grados-día
Zona 1	$\leq 500$
Zona 2	$> 500 - \leq 750$
Zona 3	$> 750 - \leq 1000$
Zona 4	$> 1000 - \leq 1250$
Zona 5	$> 1250 - \leq 1500$
Zona 6	$> 1500 - \leq 2000$
Zona 7	$> 2000$

## 2.5 Plan de descontaminación atmosférica

Los PDA son instrumentos de gestión ambiental que permiten acercarse a las condiciones de las normas ambientales por MP2,5 y MP10, con el objetivo de reducir la contaminación del aire atmosférico, se establecen medidas durante los días de episodios críticos (alerta, preemergencia o emergencia) que se aplican principalmente al sector residencial e industrial, ya que, son los sectores con mayor aporte de contaminantes. Además, el plan considera el monitoreo y pronóstico de la calidad del aire para MP2,5 y MP10 el cual se comunica de manera oportuna a la población para que adopte las medidas durante los episodios críticos de contaminación. En la tabla 5 se muestran los niveles que determinan las situaciones de episodios críticos para material particulado respirable MP2,5 y MP10.

**Tabla 5: Niveles que determinan la calidad del aire (Fuente: [7])**

<b>Calidad del aire</b>	<b>MP10</b>	<b>MP2,5</b>
<b>Bueno</b>	0-149	0-50
<b>Regular</b>	150-194	51-79
<b>Alerta</b>	195-239	80-109
<b>Preemergencia</b>	240-329	110-169
<b>Emergencia</b>	$\geq 330$	$\geq 170$

Las medidas que se consideran en episodios críticos se relacionan con la prohibición de la emisión de humos por parte de aparatos que usen leña en el sector residencial, y prohibición de fuentes estacionarias que superen una potencia térmica mayor a 20 MW y fuentes estacionarias de combustión que no hayan acreditado sus emisiones por parte del sector industrial. Además, las viviendas que se construyen en una zona con PDA consideran requerimientos térmicos distintos y más restrictivos que los de la reglamentación térmica.

## 2.6 Vivienda

Las viviendas en Chile se clasifican en: viviendas aisladas, viviendas en filas, viviendas pareadas y departamentos, la clasificación depende de características de la envolvente con el entorno, y si corresponde a una vivienda unifamiliar o multifamiliar.

### 2.6.1 Vivienda unifamiliar

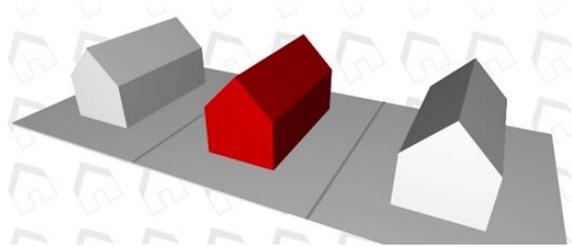
Edificación de uso residencial desarrollada para ser utilizada por una sola familia, los tipos de agrupamiento de viviendas unifamiliares son: viviendas aisladas, viviendas pareadas y viviendas en filas.

### 2.6.2 Vivienda multifamiliar

Edificación en la que se agrupan dos o más viviendas independientes entre sí, el terreno donde se emplaza la edificación es una propiedad común, además, las viviendas de la edificación comparten bienes y servicios en común, por ejemplo: ascensores, escaleras, áreas verdes y zonas sociales. El tipo de agrupamiento para la vivienda multifamiliar son los departamentos.

### 2.6.3 Vivienda aislada

Vivienda unifamiliar construida sin estar en contacto físico con ninguna otra vivienda, es decir, la envolvente de este tipo de vivienda solo se encuentra en contacto con el aire exterior. En la figura 5 se muestran viviendas del tipo aislada.



**Figura 5: Viviendas aisladas (Fuente: [13])**

### 2.6.4 Vivienda pareada

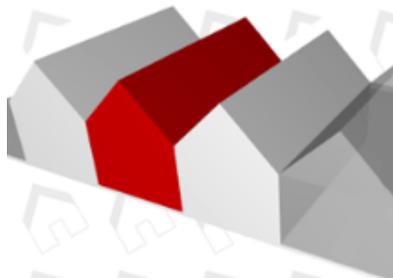
Vivienda unifamiliar unida a otra vivienda por medio de un muro medianero, es decir, un muro de la envolvente es compartido con otra vivienda. En la figura 6 se muestran viviendas del tipo pareada.



**Figura 6: Viviendas pareadas (Fuente: [13])**

### 2.6.5 Vivienda en fila

Vivienda unifamiliar unida a una o dos viviendas en fila por medio de muros medianeros, es decir, comparte un muro de la envolvente con las viviendas adosadas. En la figura 7 se muestran viviendas del tipo en fila.



**Figura 7: Viviendas en fila (Fuente: [13])**

### 2.6.6 Departamento

Vivienda multifamiliar que integra un edificio, cada departamento se encuentra unido a otro, en algunos casos por: muros medianeros, pisos ventilados y techos, es decir, puede llegar a compartir más de un elemento constructivo con los otros departamentos, dependiendo de la arquitectura y ubicación del departamento en el edificio. En la figura 8 se muestra un edificio constituido por viviendas del tipo departamento.

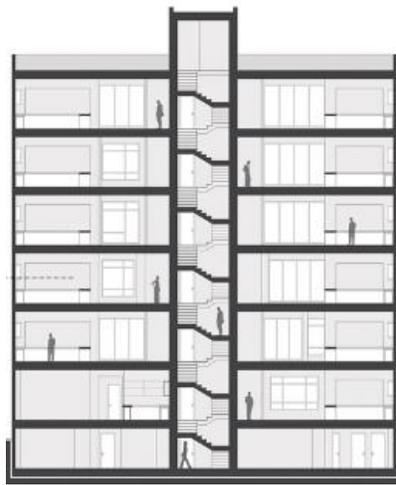


Figura 8: Edificio constituido por viviendas del tipo departamento.

### 2.7 Balance energético del edificio

El balance térmico de una edificación depende de la diferencia de temperatura entre la temperatura exterior y la temperatura del aire interior a la que se quiere mantener la edificación. En la figura 9 se muestra el flujo energético de una edificación con su entorno, ganancias internas y solares.

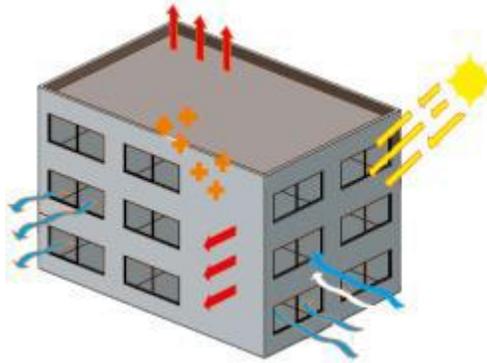


Figura 9: Interacción energética de un edificio con el exterior (Fuente: [14])

De acuerdo con [6], el balance para determinar las pérdidas o ganancias de calor en una edificación se realiza al aire interior, considerando el aire de características homogéneas al interior de la edificación, el balance energético queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{cv} + \dot{Q}_i + \dot{Q}_{air,ext} + \dot{Q}_{sac} = \rho \cdot c_{p,air} \cdot V_{air} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad [W] \quad (4)$$

Donde:

$\dot{Q}_{cv}$  : Calor por convección de las superficies [W].

$\dot{Q}_i$  : Calor convectivo por cargas internas [W].

$\dot{Q}_{air,ext}$  : Calor sensible debido a infiltraciones y ventilación de aire exterior [W].

$\dot{Q}_{sac}$  : Calor por sistemas de aire acondicionado [W].

### 2.7.1 Calor en la envolvente

Representa un flujo de calor a través de las superficies de la vivienda en contacto con el exterior (paredes, techo, ventanas, puertas y suelo), en la figura 10 se muestra el flujo energético de una superficie opaca de la vivienda en contacto con el exterior.

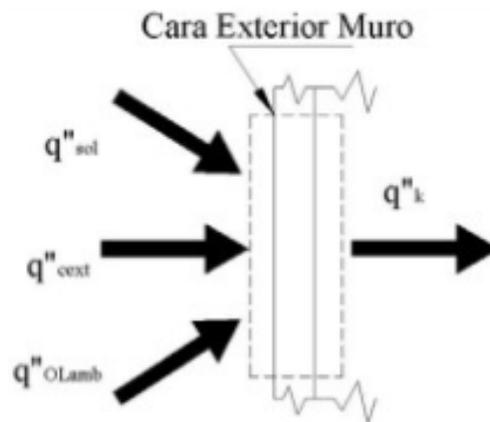


Figura 10: Flujo energético de una superficie en contacto con el exterior (Fuente: [6]).

De la figura 10 se escribe el siguiente balance:

$$q''_k = q''_{sol} + q''_{cext} + q''_{OLamb} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (5)$$

Donde:

$q''_k$  : Flujo neto de calor por conducción desde la cara exterior de la superficie al interior.

$q''_{sol}$  : Flujo de calor total por radiación absorbida (directa, reflejada y difusa).

$q''_{cext}$  : Flujo de calor por convección debido al aire exterior.

$q''_{OLamb}$  : Flujo de intercambio de radiación de onda larga con el ambiente (cielo, suelo y construcciones aledañas).

Para una ventana simple sin protecciones se asume que al tener un espesor pequeño tendrá similar temperatura en ambas caras. El flujo de calor, a través, de una ventana simple se muestra en la figura 11.

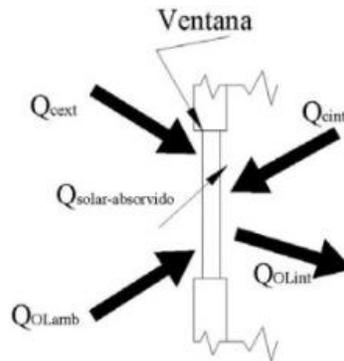


Figura 11: Flujo energético de una ventana en contacto con el exterior (Fuente: [6]).

De la figura 11 se escribe el siguiente balance:

$$Q_{solarAbsorbido} + Q_{cint} - Q_{OLint} = Q_{cext} + Q_{OLamb} \quad [W] \quad (6)$$

Donde:

$Q_{solarAbsorbido}$  : Flujo de calor solar absorbido por la ventana

$Q_{cint}$  : Flujo de calor por convección con el aire interior

$Q_{OLint}$  : Intercambio de radiación de onda larga entre las superficies interiores de la vivienda.

$Q_{cext}$  : Flujo de calor por convección entre la ventana y el aire exterior.

$Q_{OLamb}$  : Intercambio de radiación entre la cara exterior y ambiente (cielo, suelo y alrededores).

### 2.7.2 Renovaciones de aire en la edificación

Por higiene y salud es necesaria la renovación del aire en la edificación, este flujo proviene del exterior de manera controlada a través de sistemas de ventilación, o de manera no controlada en grietas de la pared, ventanas abiertas, etc. Este aire de renovación proveniente del exterior interactúa energéticamente con el aire interior de la vivienda. A continuación, se muestra el flujo energético entre el aire interior con el exterior.

$$\dot{Q}_{ren,air} = \dot{V}_{air} \times C_{p_{air}} \times \rho \times (T_{air,int} - T_{air,ext}) \quad (7)$$

Donde:

$\dot{Q}_{ren,air}$  : Flujo energético debido a renovaciones de aire  $\left[\frac{kJ}{z}\right]$ .

$\dot{V}_{vent}$  : Caudal de aire exterior  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

$C_{p_{air}}$  : Calor específico del aire  $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$ .

$\rho$  : Densidad del aire  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$ .

$T_{air,int}$  : Temperatura del aire interior [K].

$T_{air,ext}$  : Temperatura del aire exterior [K].

### 2.7.3 Calor por radiación solar en la edificación

La radiación solar que incide sobre las superficies de la edificación puede generar importantes ganancias, en la figura 12 se muestra la interacción de una superficie con la radiación que emite el sol.

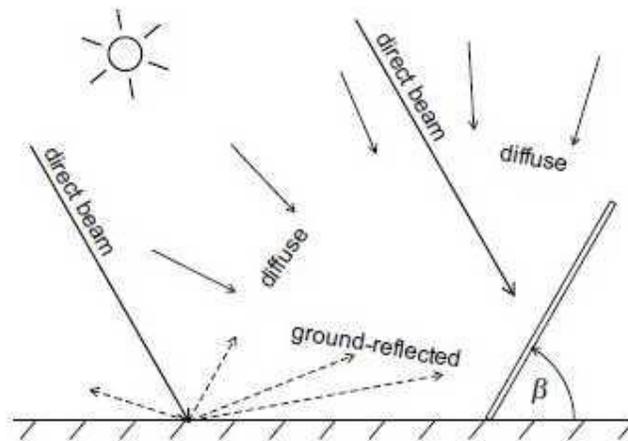


Figura 12: Interacción entre una superficie inclinada con la radiación del sol

Los conceptos que permiten la comprensión de la figura 12 son los siguientes:

- Radiación directa: Radiación solar que alcanza la superficie sin sufrir alteraciones en su trayectoria.
- Radiación difusa: Corresponde a la radiación solar que alcanza una superficie, la cual antes de que la alcance se dispersó de su dirección original a causa de moléculas de la atmósfera.
- Suelo reflejado: Se relaciona con la radiación que alcanza el suelo y es reflejada por este.

### 2.7.4 Ganancias internas en la edificación

Estas ganancias se relacionan a los siguientes parámetros contenidos en la edificación: los equipos presentes en funcionamiento, la iluminación artificial en funcionamiento y la cantidad de personas presentes en el interior de la edificación. La ganancia debido a aportaciones internas se determina mediante:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{ocupación} + \dot{Q}_{equipos} + \dot{Q}_{iluminación} \quad [W] \quad (8)$$

De la ecuación 8 se tiene que las ganancias internas es la suma de la ganancia debido a ocupación, equipos e iluminación.

La ganancia de calor que originan los ocupantes de la vivienda depende de la cantidad de personas y la actividad que se encuentren realizando, mientras más esfuerzo físico demande la actividad mayor

es la generación de calor, la norma ISO 7730 presenta la tasa de ganancia de calor según la actividad desde el ocupante a el espacio, para más detalles ver anexo (B).

La carga desprendida por los aparatos eléctricos es la carga térmica aportada por máquinas, electrodomésticos, y demás equipos en funcionamiento presentes en el interior del hogar. Se considera que la potencia integra de los aparatos eléctricos se transformaran en un aporte al calor del hogar [6], esto se representa en la ecuación 9, como:

$$\dot{Q}_{equipos} = W_{equipos} \quad [W] \quad (9)$$

## 2.8 Manual de procedimientos de calificación energética de viviendas en Chile [5].

La determinación teórica de la demanda de energía para calefacción, enfriamiento, ACS e iluminación ha sido abordada en el “Manual CEV”, donde una vez determinada la demanda teórica la comparan con la de una vivienda de referencia de similares características arquitectónicas y valores mínimos de transmitancia térmica según los que exige la RT actual, en función de la comparación califican el porcentaje de ahorro energético en uno de los ocho niveles que van desde los más eficientes “A+” a los menos eficientes “G”, figura 13.

Más eficiente	Ahorro Energético	
	≤	>
A+	100%	85%
A	85%	70%
B	70%	55%
C	55%	40%
D	40%	20%
E	20%	-10%
F	-10%	-35%
G	-35%	-
Menos eficiente		

Figura 13: Clasificación energética CEV (Fuente: [5])

El “Manual CEV” también aborda la calificación de arquitectura, la cual considera que el requerimiento de energía para la vivienda viene dado por la demanda de energía que determinan en calefacción, enfriamiento e iluminación, a diferencia de la calificación energética que también considera el consumo en ACS, rendimiento de los equipos, tipos de energía primaria y aportes de ERNC para satisfacer el consumo en actividades que considera la calificación. Además, estas calificaciones consideran que los requerimientos de demanda energética dependen de las ganancias solares, nivel de aislamiento térmico de la envolvente, inercia térmica, puentes térmicos, tipo de ventilación, nivel de infiltraciones y la ZT donde se ubica la vivienda.

El sistema CEV por medio de tres planillas determina la demanda y consumo de energía de la vivienda, estas se definen a continuación:

-PBTD Datos de arquitectura: Permite el ingreso de información general, información de arquitectura de la vivienda evaluada, materiales de la envolvente y componentes de la envolvente. Además, presenta una base de datos de elementos de la envolvente para su uso.

-PBTD Motor de cálculo demanda de energía: Permite elegir si se calcula el caso de estudio con base al caso de referencia o no, y ejecuta un balance térmico cada 60 segundos, donde se evalúa la temperatura al interior de la vivienda con base en los flujos de las distintas variables de entrada.

-PBTD Datos de equipos y resultados: Permite el ingreso de datos de equipos transformadores de energía y presenta los resultados detallados de la demanda y consumo de energía.

Los pasos y descripción de estos para la determinación de la demanda y consumo energético de la vivienda por medio de las planillas que ofrece la CEV se muestran en la figura 14.

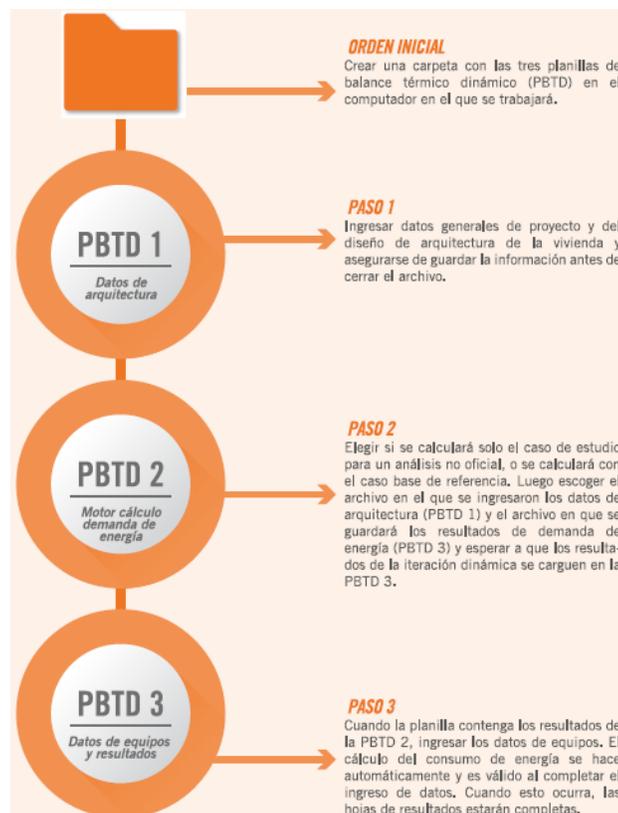


Figura 14: Pasos para la determinación del consumo energético CEV (Fuente: [5])

El flujo energético que considera la planilla del motor de cálculo se muestra en el balance de la ecuación 10.

$$\begin{aligned} \Phi = \sum_i^n \Phi_{cargas\ internas} + \Phi_{radiación} \pm \Phi_{envolvente} \pm \Phi_{infiltraciones} \pm \Phi_{ventilación} \\ \pm \Phi_{puentes\ térmicos} \pm \Phi_{inercia\ térmica} \quad [kW] \end{aligned} \quad (10)$$

Donde:

$\Phi$ : Potencia que afecta el cambio de temperatura [ $kW$ ].

$\Phi_{cargas\ internas}$ : Dependen del uso del espacio, se le asigna una potencia tabulada según normativas nacionales e internacionales [ $kW$ ].

$\Phi_{radiación}$ : Corresponde a los datos climáticos horarios de la zona asociados a la radiación del sol, estos se reducen de acuerdo con las obstrucciones cercanas y lejanas [ $kW$ ].

$\Phi_{envolvente}$ : Corresponde a la transferencia de calor a través de la envolvente [ $kW$ ].

$\Phi_{infiltraciones}$ : Corresponde al flujo energético debido a las renovaciones de aire por infiltraciones tabuladas según las distintas tipologías de viviendas [ $kW$ ].

$\Phi_{ventilación}$ : Flujo energético debido a renovaciones de aire por ventilación en función de las distintas condiciones de uso de la vivienda [ $kW$ ].

$\Phi_{puentes\ térmicos}$ : Flujo energético que ocurre en la unión entre 2 elementos constructivos [ $W$ ].

$\Phi_{inercia\ térmica}$ : Flujo energético tabulado según la densidad del material [ $kW$ ].

El balance de la ecuación 10 determina la potencia de variación de la temperatura interior, esta variación la definen como:

$$T_{i+1} = T_i + \frac{\Sigma E_i}{m \cdot C_{p\ air}} \quad [^{\circ}C] \quad (11)$$

Donde:

$T_i$ : Corresponde a la temperatura interior del aire en el instante  $i$  [ $^{\circ}C$ ].

$T_{i+1}$ : Corresponde a la temperatura interior del aire en el instante  $i+1$  [ $^{\circ}C$ ].

$\Sigma E_i = \Phi \cdot \Delta t$ : Sumatoria de energía intercambiada al interior de un recinto, durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , que es absorbida por el aire interior [ $kJ$ ].

$m$ : Es la masa del aire interior de la vivienda [ $kg$ ].

$c_p$ : Corresponde al calor específico del aire  $\left[ \frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} \right]$ .

En una primera instancia en el balance de flujo de la ecuación 10 no consideran el aporte del sistema de climatización, pero dado que uno de los objetivos del manual es la obtención de la demanda de energía necesaria para llevar la temperatura interior a los rangos de confort incorporan en la ecuación 12 un flujo que se relaciona con el del sistema de climatización, y así llevan la temperatura interior a la deseada y visualizan cuanta energía consume el sistema en dicha acción.

$$\Phi = \sum_i^n \Phi_{cargas\ internas} + \Phi_{radiación} \pm \Phi_{envolvente} \pm \Phi_{infiltraciones} \pm \Phi_{ventilación} \pm \Phi_{puentes\ térmicos} \pm \Phi_{inercia\ térmica} \pm \Phi_{climatización} \quad (12)$$

Donde:

$\Phi_{climatización}$ : Calor aportado por un sistema de climatización al recinto para llevar la temperatura interior a los rangos de confort cuando se encuentre fuera de estos [kW].

El motor de cálculo en conjunto con los datos de arquitectura que exigen las planillas realiza un balance cada 60 segundos el que se promedia para mostrar resultados horarios de demanda y consumo energético para un día representativo de cada mes del año.

### 2.8.1 Radiación

La radiación directa total y difusa es transformada en 8 direcciones: norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste. La radiación incidente sobre vidrios se calcula como:

$$\Phi_{radiación} = \sum_i^n FS_i \cdot A_i \cdot (\Phi_{directa} \cdot K + \Phi_{difusa} \cdot \beta) [kW] \quad (13)$$

Donde:

$FS_i$ : Factor solar del vidrio i.

$A_i$ : Área de la ventana i.

$\Phi_{directa}$ : Diferencia entre la radiación total y difusa en la horizontal, y transformada según orientación de la ventana.

$\Phi_{difusa}$ : Radiación difusa transformada en cada orientación.

$K$ : Valor binario, depende si se encuentra bloqueada la radiación del sol en la ventana por la obstrucción cercana FAV.

$\beta$ : Valor binario, depende si se encuentra bloqueada la radiación del sol en la ventana por la obstrucción remota FAR.

El evaluador una vez ingresa la comuna, se obtiene la latitud de la vivienda, donde determina la posición solar según un día representativo para cada mes del año, hora y la latitud.

La iluminación natural se calcula con base en la metodología de Factor Luz Día, como:

$$FLD = \frac{0.85 \cdot FS \cdot A_w \cdot \theta}{A_{rec} \cdot (1 - R^2)} \quad (14)$$

Donde:

$FLD$ : Factor luz día de la ventana.

$FS$ : Factor solar de la ventana, incluyendo tintes, protecciones cercanas (FAV) y lejanas (FAR).

$A_w$ : Área de la ventana.

$\theta$ : Ángulo de cielo visible.

$A_{rec}$ : Suma de todas las superficies interiores del recinto.

$R$ : Reflectancia media.

Con base en el porcentaje de la ecuación 14, se incorpora la radiación horaria directa y difusa en cada ventana, a través de la siguiente ecuación:

$$LUX_{vivienda} = \sum_i^n FLD_i \cdot \Phi_i \cdot \tau \quad [\text{lúmenes}] \quad (15)$$

Donde:

$LUX_{vivienda}$ : Lux que ingresa a las viviendas por todas las ventanas.

$FLD_i$ : Factor luz día de la ventana  $i$ .

$\Phi_i$ : Flujo de energía aportado a la ventana  $i$ .

$\tau$ : Transformación del flujo de energía de watts a lúmenes ( $\tau = 95 \left[ \frac{\text{lúmenes}}{W} \right]$ ).

### 2.8.2 Envoltente

Se considera el balance de calor de una superficie expuesta a la radiación solar, figura 15.

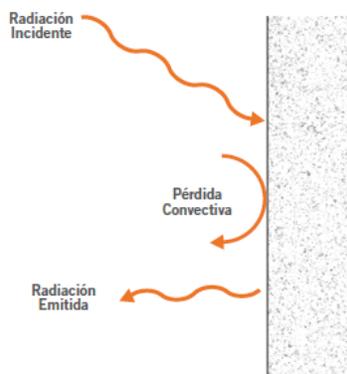


Figura 15: Superficie expuesta a la radiación del sol (Fuente: [5])

La ecuación de transferencia de calor a través de esta superficie es:

$$E_{envoltente} = U \cdot A \cdot (T_{sol} - T_{int}) \cdot \Delta t \quad [kJ] \quad (16)$$

Donde:

$E_{envoltente}$ : Energía en forma de calor a través de la envoltente.

$U$ : Transmitancia ponderada  $\left[\frac{kW}{m^2 \cdot K}\right]$ .

$A$ : Área de la envolvente opaca  $[m^2]$ .

$T_{sol}$ : Temperatura ficticia del exterior  $[^{\circ}C]$ .

$T_{int}$ : Temperatura del interior  $[^{\circ}C]$ .

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo  $[s]$ .

La temperatura ficticia del exterior considera los efectos de una mayor temperatura en el exterior del muro que el aire exterior debido a la radiación del sol, esta temperatura se determina como:

$$T_{sol} = T_{ext} + \frac{\alpha \cdot E}{h_o} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_o} \quad [^{\circ}C] \quad (17)$$

Donde:

$T_{ext}$ : Temperatura exterior  $[^{\circ}C]$ .

$\alpha$ : Absortividad de la superficie expuesta a la radiación del sol  $[-]$ .

$E$ : Radiación incidente sobre la superficie  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$h_o$ : Coeficiente de película exterior  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ .

$\varepsilon$ : Emisividad de la superficie  $[-]$ .

$\Delta R$ : Diferencia entre la radiación de onda larga incidente sobre el elemento desde el cielo y los alrededores y la de un cuerpo negro a temperatura exterior  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

### 2.8.3 Renovación de aire

La renovación de aire mínima se considera como:

$$F_{min} = F_{ventilación} + F_{infiltración} \quad [RAH] \quad (18)$$

Donde:

$F_{min}$ : Flujo de aire exterior mínimo que debe ingresar a la vivienda  $[RAH]$ .

$F_{ventilación}$ : Flujo por ventilación de aire necesario debido a higiene  $[RAH]$ .

$F_{infiltración}$ : Flujo por infiltraciones  $[RAH]$ .

El flujo por ventilación mínimo de aire necesario debido a salubridad se determina por la siguiente ecuación:

$$F_{ventilación} = \frac{(2,5 \cdot P_z + 0,3 \cdot A_z) \cdot 3,6}{VV} \quad [RAH] \quad (19)$$

Donde:

$P_z$ : Número de ocupantes de la vivienda [*Ocupantes*].

$A_z$ : Superficie de la vivienda [ $m^2$ ].

$VV$ : Volumen de la vivienda [ $m^3$ ].

Además, en caso de que la temperatura exterior se encuentre entre los 15°C y 22°C se incorpora un caudal de ventilación de 3 [RAH] extras a las infiltraciones.

El valor de renovaciones de aire a considerar, además, considera el tipo de ventilación que se disponga según distintos casos, estos son:

- No tiene sistema de ventilación
- Dispone de un extractor de aire sin control y por tanto se encuentra encendido todo el tiempo.
- Dispone de un sistema de recuperador de calor.
- Dispone de un sistema de ventilación controlado.
- Sistema de ventilación controlado con recuperador de calor.

La energía que considera la ventilación se determina de la siguiente manera:

$$E_{ventilación} = V_{air,int} \cdot \left( \frac{N}{3600} \cdot \Delta t \right) \cdot \rho \cdot C_{p,air} \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad [kJ] \quad (20)$$

Donde:

$V_{air,int}$ : Volumen de aire interior [ $m^3$ ].

$N$ : Renovaciones de aire por hora de la vivienda [RAH].

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo [s].

La energía que considera las infiltraciones se determina con la misma expresión que en 20, cambiando solo el valor de las renovaciones de aire por hora ( $N$ ).

### 2.8.4 Puentes térmicos

Los puentes térmicos típicos considerados se muestran en la figura 16.

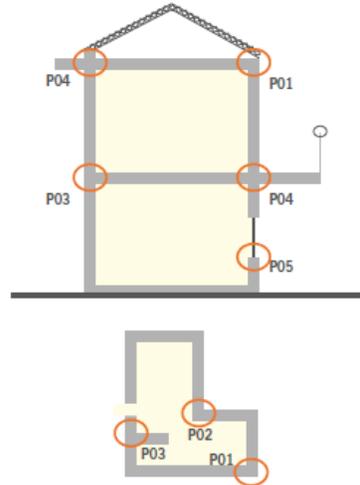


Figura 16: Puentes térmicos típicos (Fuente: [5])

El flujo de calor a través de un puente térmico se determina como:

$$\Phi_{\text{puente térmico}} = \psi \cdot L \cdot \Delta T \quad [kW] \quad (21)$$

Donde:

$\psi$ : Coeficiente lineal de transferencia de calor  $\left[ \frac{kW}{m \cdot K} \right]$

$L$ : Longitud del puente térmico  $[m]$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre el exterior e interior  $[K]$

### 2.8.5 Inercia térmica

Se considera que la masa intercambia calor con el aire interior por convección pura, la cual se rige por la siguiente ecuación:

$$\Phi_{\text{convección}} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad [kW] \quad (22)$$

Donde:

$h$ : Corresponde al coeficiente convectivo  $\left[ \frac{kW}{m^2 \cdot K} \right]$

$A$ : Área de intercambio de calor  $[m^2]$ .

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la masa y el interior de la vivienda  $[K]$ .

Se considera que la superficie de intercambio de calor corresponde a la envolvente, de lo cual se obtiene para la masa que intercambia calor la siguiente relación:

$$m_{intercambio} = A_{envolvente} \cdot e \cdot \rho_{mat} \quad [kg] \quad (23)$$

Donde:

$m_{intercambio}$ : Masa de intercambio de calor  $[kg]$ .

$A_{envolvente}$ : Área de la envolvente  $[m^2]$ .

$e$ : Espesor de la envolvente que participa en el intercambio de calor  $[m]$ .

$\rho_{mat}$ : Densidad del material  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

La temperatura de la masa se calcula como:

$$T_{i+1} = T_i + \frac{\Phi_{convección} \cdot \Delta t}{m_{intercambio} \cdot Cp} \quad [K] \quad (24)$$

Se deduce que la inercia térmica depende de la masa, calor específico, área y espesor de la envolvente. La materialidad de las masas se clasifica en: liviano, intermedio y pesado.

### 2.8.6 Cargas internas

Los aportes de cargas internas que se consideran son debido a personas e iluminación artificial, no se consideran aporte de los otros equipos.

### 2.8.7 Sistema de climatización

El calor aportado por el sistema de climatización es el necesario para llevar la temperatura interior a los rangos de confort. El sistema de climatización opera de la siguiente manera:

-De los métodos de confort adaptativo utiliza el Dear y Brager para definir la temperatura media de confort.

-Se usa un rango de confort en el cual el 90% de los usuarios sientan satisfacción térmica, esto se traduce en un rango  $\pm 2.5^{\circ}C$  con respecto a la temperatura de confort.

-Se calcula la demanda del sistema de climatización para los 12 meses del año.

-El confort se disminuye en horario nocturno en  $2^{\circ}C$  con respecto a la temperatura de confort que se obtuvo, con una mínima fija de  $17^{\circ}C$ .

La determinación de la temperatura de confort considera que esta depende linealmente de la temperatura media mensual exterior, de la siguiente forma:

$$T_n = A + B \cdot T_m \quad [^{\circ}C] \quad (25)$$

Donde:

$T_n$ : Temperatura media interior de confort  $[^{\circ}C]$

A: Constante  $[^{\circ}C]$

B: Constante [-]

$T_m$ : Temperatura media mensual exterior [ $^{\circ}C$ ]

Los valores que usa el método de confort adaptativo Dear y Brager en la ecuación 25 son 18.9 y 0.255 para A y B respectivamente.

### 2.8.8 Consumo energético primario

El cálculo del consumo energético primario se realiza luego de determinar la demanda de energía en calefacción de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CEP = \frac{DEC - AESTC}{\eta_{ec}} \cdot FEPC + \frac{DEAC - AESTAC}{\eta_{AC}} \cdot FEPAC + (CI + CV - AESF) \quad (26)$$

$\cdot FEPE \quad [kWh]$

Donde:

$CEP$ : Consumo de energía primaria [ $kWh$ ].

$DEC$ : Demanda de energía en calefacción [ $kWh$ ].

$AESTC$ : Aporte de energía solar térmica para calefacción [ $kWh$ ].

$\eta_{ec}$ : Rendimiento estacional del sistema de calefacción [-]

$FEPC$ : Factor de energía primaria usado para la calefacción [-].

$DEAC$ : Demanda de energía en agua caliente sanitaria [ $kWh$ ].

$AESTAC$ : Aporte de energía solar térmica al consumo de energía en ACS [ $kWh$ ].

$\eta_{AC}$ : Rendimiento medio anual del sistema de ACS [-].

$FEPAC$ : Factor de energía primaria usado para ACS [-].

$CI$ : Consumo de energía en iluminación [ $kWh$ ].

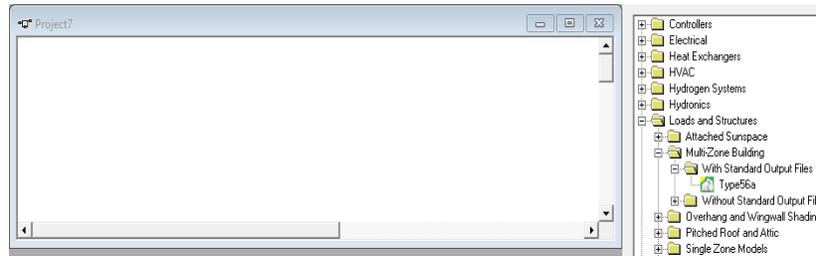
$CV$ : Consumo de energía en ventilación [ $kWh$ ].

$AESF$ : Aporte de energía solar fotovoltaica al consumo total de energía eléctrica de la vivienda en calefacción, ACS, iluminación y ventilación [ $kWh$ ].

$FEPE$ : Factor de energía primaria de la electricidad [-].

## 2.9 TRNSYS

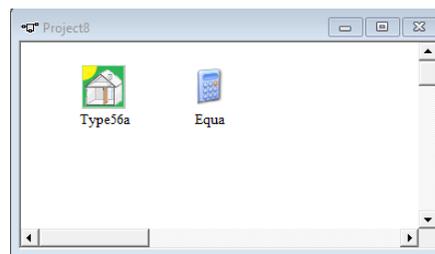
Los proyectos de simulación se crean en la interfaz gráfica de Trnsys Simulation Studio, figura 17.



**Figura 17: Interfaz gráfica para la creación de proyectos de simulación en Trnsys (Fuente: [8])**

Al lado derecho de la figura 17 se observa la biblioteca de componentes (types), las que se describen como una caja negra por medio de entradas, salidas, parámetros y otros.

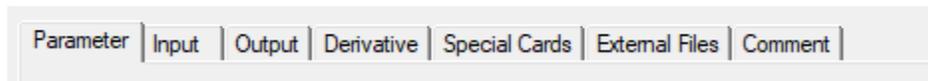
En la figura 18 se observan componentes seleccionadas en la interfaz gráfica.



**Figura 18: Componentes en la interfaz gráfica (Fuente: [8])**

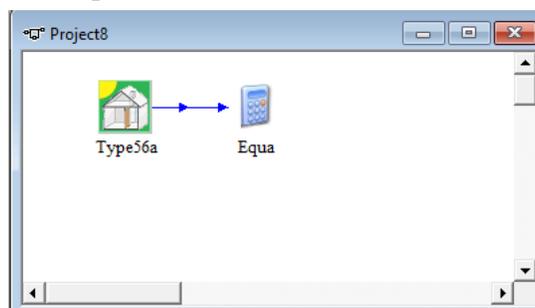
La componente se configura haciendo doble clic sobre ella en la ventana de la figura 18, lo que abre la ventana de la figura 19, en esta ventana se configuran parámetros, entradas, salidas, archivos externos y otros aspectos relacionados con la componente.

(Ejemplo) Type56a



**Figura 19: Configuración de componentes (Fuente: [8]).**

La interconexión de las componentes genera la interacción entre ellas, en la interconexión existen componentes de salida que transfieren información a la componente de entrada, en la figura 20 se observa la interconexión de las componentes.



**Figura 20: Interconexión de componentes (Fuente: [8])**

De acuerdo con la figura 20 la componente de salida (Type56a) es aquella donde se origina una línea con flechas que se dirige hacia la componente de entrada (Equa)

### 2.9.1 TRNBuild

La herramienta TRNBuild permite la modelación física de la vivienda, esta herramienta genera un archivo en formato .bui que se procesa como un archivo externo en la interfaz gráfica por la componente type56a. De acuerdo con la figura 21 la descripción de la vivienda en la ventana TRNBuild involucra: capas, paredes, ventanas, infiltraciones de aire, sistemas de ventilación, sistemas de calefacción, sistema de enfriamiento y ganancias internas. Además, en la ventana TRNBuild Manager se hace la descripción de las zonas de la vivienda, y en la ventana "Project" se define título, descripción, creador, dirección, ciudad, orientaciones, propiedades, entradas y salidas

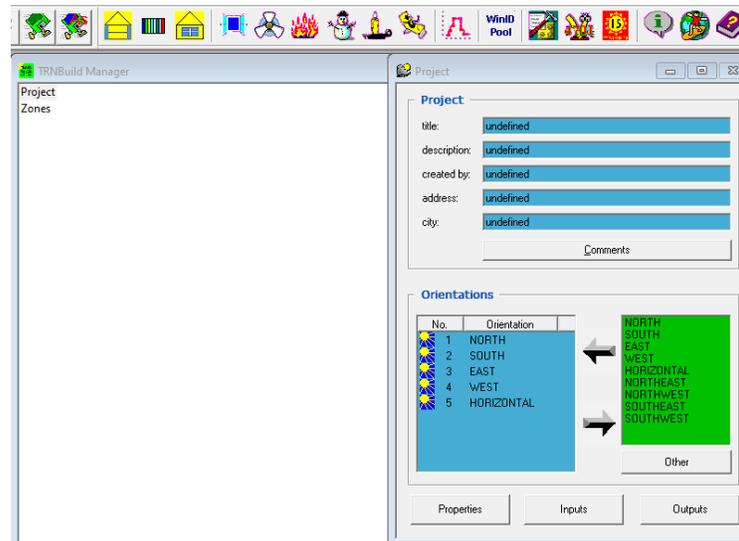


Figura 21: Ventana TRNBuild (Fuente: [8])

### 2.9.2 Definición de zonas

Las zonas térmicas de la vivienda se generan en la ventana "TRNBuild Manager" haciendo clic derecho en la sección "zones" y se selecciona "ZoneData New", figura 22 y se define un nombre para la zona.

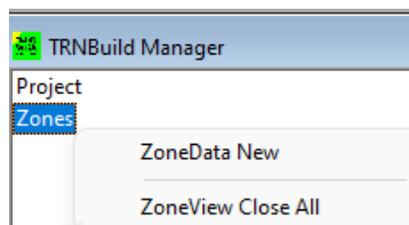


Figura 22: Ventana TRNBuild Manager (Fuente: [8])

Cada zona posee un nodo de aire representativo de las capacidades térmicas y propias relacionadas con la zona. En la figura 23 se muestra la interacción energética del nodo de aire de la zona.

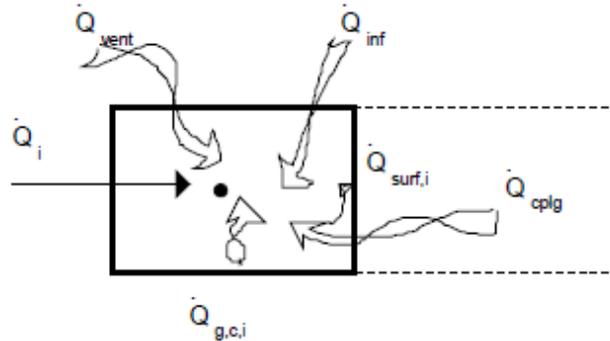


Figura 23: Interacción del nodo de aire representativo de la zona (Fuente: [8])

La interacción del nodo de aire de la figura 23 no incluye sistema de calefacción ni refrigeración, estas ganancias se pueden incluir como ganancia de convección interna o ganancia de ventilación. Por lo tanto, el flujo convectivo al nodo de aire de la figura 23 queda:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{cplg,i} + \dot{Q}_{g,c,i} \quad [\text{kJ/hr}] \quad (27)$$

Donde:

$\dot{Q}_{surf,i}$ : Flujo de calor desde las superficies internas [kJ/hr].

$\dot{Q}_{inf}$ : Ganancias por infiltración desde el aire exterior [kJ/hr].

$\dot{Q}_{vent}$ : Ganancias por la ventilación definida [kJ/hr].

$\dot{Q}_{g,c,i}$ : Ganancia convectiva interna (equipos, iluminación y personas) [kJ/hr].

$\dot{Q}_{cplg,i}$ : Ganancia debido al flujo de aire de la zona adyacente i de condiciones conocidas [kJ/hr].

### 2.9.3 Definición de orientaciones

Se definen según las distintas orientaciones de los elementos constructivos de la vivienda.

### 2.9.4 Definición de entradas

Corresponde a entradas por defecto (temperatura ambiente, temperatura aparente del cielo e información relacionada a radiación solar), o se definen nuevas, en este caso, además de las entradas por defecto, se agrega la temperatura del suelo como entrada.

### 2.9.5 Definición de capas

Se define si es una capa con o sin masa y por las propiedades físicas de esta cómo la conductividad, capacidad y densidad.

### 2.9.6 Definición de muros

La definición de muros empleados en el proyecto, se definen según el tipo de capa, espesor de capa, absorptancia solar del muro y coeficientes convectivos de transferencia de calor del muro.

### 2.9.7 Definición de ventanas

Se definen desde la biblioteca según el tipo, coeficientes convectivos de transferencia de calor de la ventana, dispositivos de sombreado, fracción de absorción solar por el nodo de aire entre el dispositivo de sombreado interno y la ventana, y características del marco de la ventana.

### 2.9.8 Definición de infiltraciones de aire

La definición de infiltraciones de aire establece un perfil de las renovaciones de aire por hora según un valor constante (Constant Value), una entrada (Input) o un calendario (Schedule).

### 2.9.9 Definición del sistema de ventilación

La definición del sistema de ventilación se realiza según un perfil de las renovaciones de aire de ventilación por hora, usando un valor constante, una entrada o calendario, además, es posible especificar la temperatura y humedad relativa del aire de ventilación, las que pueden ser distintas a las condiciones del aire exterior.

### 2.9.10 Definición del sistema de enfriamiento

Se define la configuración el aire acondicionado basado en un control de temperatura máxima, la que puede ser constante, entrada o según un calendario. Además, se define la potencia de enfriamiento y deshumidificación del sistema.

### 2.9.11 Definición del sistema de calefacción

El perfil del sistema de calefacción se define en base a un control de temperatura mínima, la que puede ser constante, una entrada o un calendario. Además, se define la potencia de calefacción y la humidificación del sistema.

### 2.9.12 Definición de ganancias

Las ganancias se definen según la potencia de radiación, potencia convectiva y humedad absoluta, estas ganancias se definen según un perfil constante, una entrada o calendario.

### 2.9.13 Descripción de zonas

El acceso a la descripción de la zona que se consideran es a través de la ventana "TRNBuild Manager", figura 24.

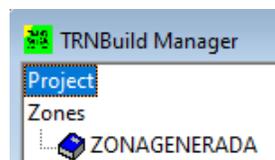


Figura 24: Zonas creadas para el proyecto (Fuente: [8])

La descripción de la zona se hace por medio de una ventana con similar nombre al de la zona, figura 25.

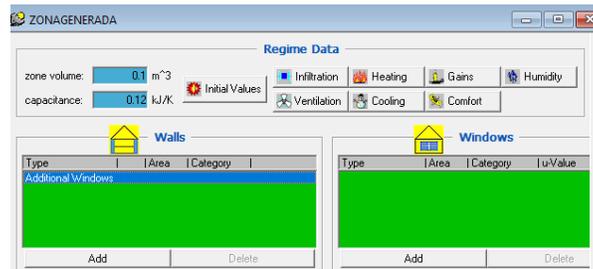


Figura 25: Descripción de las condiciones de borde de la zona (Fuente: [8])

Los datos de la descripción de la zona (figura 25) se dividen en cuatro partes, estos son: datos de régimen requeridos, paredes de la zona, ventanas de la zona y datos de equipos opcionales y especificaciones de funcionamiento, incluida la infiltración, ventilación, refrigeración, calefacción, ganancias y confort, [8].

#### 2.9.14 Datos de régimen de la zona

Se relacionan con: volumen de la zona, capacitancia térmica del aire y de cualquier elemento presente en la zona (paredes internas, muebles, etc.), temperatura inicial del aire de la zona, humedad relativa inicial del aire de la zona y un modelo simple o detallado de la humedad.

#### 2.9.15 Muros de la zona

La definición de muros de la zona implica el tipo de muro, área del muro, categoría, geosurf, ganancia del muro, orientación y factor de vista al cielo.

#### 2.9.16 Ventanas de la zona

Las ventanas se definen según el tipo, el muro, área de la ventana, geosurf, ganancias de la ventana y factor de vista al cielo.

#### 2.9.17 Datos opcionales de la zona

La definición de datos opcionales en la zona involucra: infiltraciones, ventilación, ganancias, sistema de calefacción y refrigeración.

#### 2.9.18 Type56a

El componente Type56a se encuentra en la biblioteca en la sección “Loads and structures > Multi-Zone Building > With Standart Output Files > Type56a”.

A través de la configuración del Type56a en la sección “External Files > Building Description File” marcada en rojo en la figura 26, se define el archivo .bui que contiene la modelación de la vivienda.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Building description file (*.bui)	C:\Users\Manuel\Desktop\ejemplo\Ejemplo Base TRN Curso\Project8.bui			Brows	Edit...
2	Monthly Summary File	Bldg-Monthly.out			Brows	Edit...
3	Hourly Temperatures	Bldg-HourlyTemp.out			Brows	Edit...
4	Hourly Loads	Bldg-HourlyLoads.out			Brows	Edit...

Figura 26: Descripción del archivo externo en Type56a (Fuente: [8])

La definición del archivo externo genera nuevas entradas (Input) y salidas (Output) por defecto, figura 27 y figura 28.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE)	0	C			More...	
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY)	0	%			More...	
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE)	0	C			More...	
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)	0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)	0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST)	0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST)	0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	

Figura 28: Entradas por defecto del Type56a (Fuente: [8]).

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
1- (air temperature of zone) TAIR 1		C			More...	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2- (sens. energy demand of z...) QSENS 1		kJ/hr			More...	<input type="checkbox"/>

Figura 27: Salidas por defecto del Type56a (Fuente: [8]).

### 2.9.19 Type16i

La componente Type16i (figura 29) se encarga del procesamiento de radiación solar se encuentra en la biblioteca en la sección: “Physical Phenomena > Radiation Processors > Total Horiz, Horiz Difusse Known > Type16i”.



Figura 29: Representación gráfica del Type16i (Fuente: [8])

La configuración del Type16i involucra la definición de entradas y parámetros, que se relacionan con latitud, radiación total en la horizontal, radiación difusa en la horizontal, pendiente de superficies y azimut de superficies, figura 30.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Total radiation on horizontal1	0.0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Diffuse radiation on horizontal	0	kJ/hr.m <sup>2</sup>			More...	
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Time of last data read	0.0	hr			More...	
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Time of next data read	1.0	hr			More...	
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Ground reflectance	0.2	dimensionless			More...	
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Slope of surface-1	90	degrees			More...	
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Azimuth of surface-1	0.0	degrees			More...	
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Slope of surface-2	90	degrees			More...	
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Azimuth of surface-2	180	degrees			More...	
1 How many surfaces are to be evaluated by this radiation processor? 5						

Figura 30: Entradas por defecto del Type16i (Fuente: [8])

Las salidas relacionadas con el Type16i se muestran en la figura 31, alguna de estas salidas se usa como entrada en la componente Type56a.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
33		Beam radiation on surface 6				kJ/hr.m <sup>2</sup> More... □
34		Sky diffuse radiation on surface 6				kJ/hr.m <sup>2</sup> More... □
35		Incidence angle of surface 6				degrees More... □
36		Slope of surface 6				degrees More... □
37		Total radiation on surface 7				kJ/hr.m <sup>2</sup> More... □
38		Beam radiation on surface 7				kJ/hr.m <sup>2</sup> More... □
39		Sky diffuse radiation on surface 7				kJ/hr.m <sup>2</sup> More... □
40		Incidence angle of surface 7				degrees More... □
41		Slope of surface 7				degrees More... □

Figura 31: Salidas por defecto del Type16i (Fuente: [8])

Uno de los modos que emplea la componente para obtener la radiación difusa y directa sobre una superficie es en función del índice de claridad, ángulo de altitud solar, temperatura ambiente y humedad relativa, por medio de las siguientes ecuaciones:

Intervalo:  $0 \leq k_T \leq 0.3$ ; Restricción:  $\frac{I_d}{I} \leq 1$

$$\frac{I_d}{I} = 1.000 - 0.232 \cdot k_T + 0.0239 \cdot \sin(\alpha) - 0.000682 \cdot T_a + 0.0195 \cdot \left(\frac{rh}{100}\right) \quad (28)$$

Intervalo:  $0.3 \leq k_T \leq 0.78$ ; Restricción:  $0.1 \leq \frac{I_d}{I} \leq 0.97$

$$\frac{I_d}{I} = 1.329 - 1.716 \cdot k_T + 0.267 \cdot \sin(\alpha) - 0.00357 \cdot T_a + 0.106 \cdot \left(\frac{rh}{100}\right) \quad (29)$$

Intervalo:  $0.78 < k_T$ ; Restricción:  $0.1 \leq \frac{I_d}{I}$

$$\frac{I_d}{I} = 0.426 \cdot k_T - 0.256 \cdot \sin(\alpha) + 0.00349 \cdot T_a + 0.0734 \cdot \left(\frac{rh}{100}\right) \quad (30)$$

La radiación directa total en la horizontal se determina de la siguiente manera:

$$I_b = I - I_d \quad (31)$$

Donde:

$k_T$ : Relación entre la radiación total sobre una superficie horizontal y la radiación sobre la superficie terrestre.

$I_d$ : Radiación difusa en la superficie horizontal.

$I$ : Radiación total sobre una superficie horizontal.

$I_b$ : Radiación directa en la superficie horizontal.

$\alpha$ : Ángulo de altitud solar.

$T_a$ : Temperatura ambiente.

$rh$ : Humedad relativa.

## **CAPÍTULO 3: Identificación de las condiciones de borde requeridas para simulación térmica**

Con lo que se analizó en el capítulo interior, se identifican las condiciones de borde requeridas para simulación térmica de viviendas en Chile (CEV) y las de TRNSYS.

### **3.1 Identificación de condiciones de borde para simulación térmica de viviendas en Chile.**

A continuación, se identifican las condiciones de borde con cual se lleva a cabo la simulación térmica de viviendas en Chile:

-La geometría de la vivienda se obtiene por medio de planos, de aquí se obtienen los puentes térmicos presentes, dimensiones y características de la vivienda (dormitorios).

-Lo relacionado a materiales de la vivienda se obtiene de las características técnicas de arquitectura, aquí se encuentran los materiales de importancia y jerárquicos de la obra, su procedencia (nacional o internacional), proveedor y color, lo que permite caracterizar las propiedades térmicas y físicas (inercia térmica, filtraciones y transmitancias), las cuales deben estar certificadas.

-Los datos de localización se obtienen por Google Earth, [11], estos permiten la definición de la localización de la vivienda y orientación cardinal de los elementos constructivos según el rango que se encuentre el ángulo de azimut.

-Los relacionado con equipos de climatización, se obtiene de las especificaciones técnicas (manuales), donde se obtiene el rendimiento nominal y temperatura a la que se obtuvo, permitiendo así definir el rendimiento estacional del equipo de climatización.

### **3.2 Identificación de condiciones de borde para simulación térmica en TRNSYS**

Las condiciones de borde que requiere TRNSYS para la simulación térmica de la vivienda, corresponde a la información que requiere el Type56a para la modelación de la vivienda y las entradas por defecto de esta componente. Además, se consideran las entradas de la componente que procesa la radiación solar (Type16i). Estas condiciones de borde se identifican a continuación:

#### **3.2.1 Identificación de orientación**

Se identifica por medio de planos y/o Google Earth, [11].

#### **3.2.2 Identificación de capas**

De acuerdo con [8] la capa que se usa en construcciones corresponde a la capa con masa (Massive Layer), la información referida a conductividad y densidad se obtiene de manera certificada por el “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico” y “Norma Chilena 853”, [18] y [19]. Mientras que, la capacidad se obtiene de información bibliográfica, en este caso “Control de las características térmicas de los materiales”, [20], en algunos casos estas características

son entregadas por el fabricante. Esta información se ingresa en la ventana “Layer Type Manager”, figura 32.



Figura 32: Ventana Layer Type Manager (Fuente: [8])

### 3.2.3 Identificación de muros

Las capas del muro se seleccionan según los criterios establecidos anteriormente, los espesores pueden ser medidos en terreno o bien considerar los propuestos en “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico” para los distintos materiales (capas), esta información se ingresa en la ventana “Layer Thickness”, figura 33.

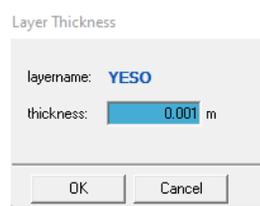


Figura 33: Ventana Layer Thickness (Fuente: [8])

En la figura 34 se muestran las capas y espesores del tipo de muro, se definen de interior a exterior según el orden (más arriba implica más interior), en función de los espesores y las capas el programa determina la transmitancia térmica del tipo de muro. En la tabla 6 se muestran valores de absorptancia solar según la superficie. Los valores más comunes y por defecto para el coeficiente de transferencia de calor por convección del muro es  $11 \left[ \frac{kJ}{h \cdot m^2 \cdot K} \right]$  y  $64 \left[ \frac{kJ}{h \cdot m^2 \cdot K} \right]$  para el interior y exterior respectivamente, [8]. Dicha información se completa en la ventana “Wall Type Manager”, figura 34.

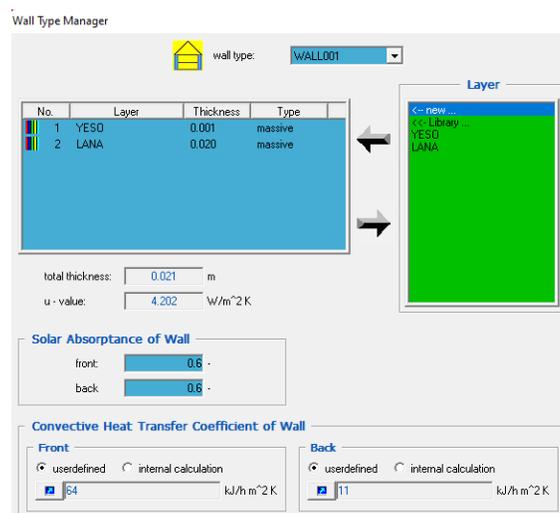


Figura 34: Ventana Wall Type Manager (Fuente: [8])

Tabla 6: Coeficientes de absorción solar según las distintas superficies (Fuente: [8])

Superficie	Coeficiente de absorción solar
<b>Teja, cerámica coloreada, pizarra, concreto</b>	
Superficie rugosa, roja oscura	0,75-0,80
Superficie lisa, color oscuro	0,70-0,75
Cemento de asbesto	0,60-0,65
Revestimiento de techo	
Verde	0,60-0,65
Color aluminio	0,40-0,45
Gris claro, brillante	0,30-0,40
Blanco, liso	0,20-0,25
<b>Muro exterior</b>	
Superficie lisa, color oscuro	0,70-0,75
Superficie rugosa, medio brillante, amarillo rojo, ladrillos	0,65-0,70
Superficie lisa, color medio brillante (arenisca, hormigón de asbesto)	0,60-0,65
Superficie rugosa y color blanco	0,30-0,35
Superficie lisa y color blanco	0,25-0,30
<b>Superficie metálica</b>	
Hoja de zinc, envejecido y sucio	0,75-0,80
Aluminio, superficie mate	0,50-0,55
Color aluminio	0,35-0,40
Superficie brillante y pulida	0,20-0,25

Los muros en la zona se seleccionan según el tipo (creados anteriormente, biblioteca o nuevo tipo). El área del muro se determina según dimensiones geométricas extraída de planos. La categoría del muro se infiere de planos, esta puede ser ADJACENT, BOUNDARY, EXTERNAL o INTERNAL. La suma del Geosurf de muros y ventanas no puede ser mayor que 1, el valor por defecto es 0, que representa que la radiación directa se distribuye de igual manera que la radiación difusa. La ganancia del muro (wall gain) depende de la potencia en caso de ser radiante, caso contrario es 0. La orientación del muro se obtiene de planos o a través de Google Earth. El factor de vista al cielo (view fac. to sky) es 0.5 para muros verticales y 1 para muros horizontal, la horizontalidad o verticalidad de muros se

obtiene de los planos. Esta información para los muros de la zona se completa en una sección de la ventana con similar nombre al de la zona, figura 35.

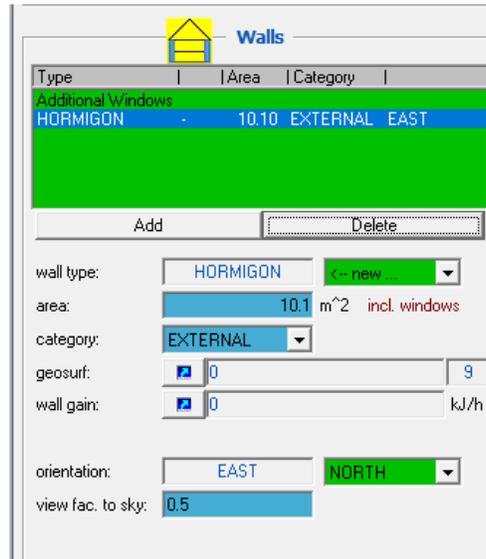


Figura 35: Definición de muros de la zona (Fuente: [8])

### 3.2.4 Identificación de ventanas

El tipo de ventana se selecciona desde la librería en la interfaz “WinID-Lib”, figura 36, esta interfaz contiene vidrios similares a los descritos en la figura 37, lo que permite su identificación.

WinID-Lib

Program Library

C:\Program Files (x86)\Tmsys16\Building\Lib\Spanish\w4-lib.dat

No.	Used	WinID	Description	Design	U-Value	g-Value	T-sol	RI-sol	T-vis
1	n	13901	Simple, claro, 2 mm	2	5.87	0.888	0.869	0.08	0.91
2	n	13902	Simple, claro, 4 mm	4	5.8	0.862	0.829	0.08	0.9
3	n	13903	Simple, claro, 6 mm	6	5.73	0.837	0.789	0.08	0.89
4	n	13904	Simple, absorbente-gris, 6 ...	6	5.73	0.58	0.438	0.05	0.408
5	n	13905	Simple, reflectante, 6 mm	6	5.73	0.527	0.463	0.304	0.322
6	n	13906	Simple, control solar, 6 mm	6	5.73	0.482	0.322	0.103	0.403
7	n	13907	Simple, bajo emisivo, 4 mm	4	5.8	0.849	0.829	0.08	0.9
8	n	13908	Simple, bajo emisivo, 6 mm	6	5.73	0.818	0.789	0.08	0.89
9	n	13910	Doble, claro, 4/8/4	4/8/4	3.25	0.76	0.692	0.135	0.815
10	n	13911	Doble, claro, 6/8/6	6/8/6	3.21	0.722	0.627	0.13	0.797
11	n	13912	Doble, claro, 6/12/6	6/12/6	3	0.722	0.627	0.13	0.797

Figura 36: Ventana WinID-Lib (Librería de ventanas) (Fuente: [8])

ANCHO DEL ESPACIADOR	U VIDRIO [W/m²K]
Vidrio monolítico (VM). Sin espaciador	5,80
DVH con espaciador de 6 mm	3,28
DVH con espaciador de 9 mm	3,01
DVH con espaciador de 12 mm	2,85
DVH con espaciador de 15 mm o mayor	2,80

Figura 37: Transmitancia térmica según el tipo de ventana (Fuente: [5])

Los valores más comunes y por defecto para el coeficiente de transferencia de calor por convección del vidrio es  $11 \left[ \frac{kJ}{h \cdot m^2 \cdot K} \right]$  y  $64 \left[ \frac{kJ}{h \cdot m^2 \cdot K} \right]$  para el interior y exterior respectivamente. Las propiedades opcionales de dispositivos de sombreados en ventanas dependen si existe una resistencia adicional al calor por medio de dispositivos internos y/o externos (cortinas, arboles, etc.). Se identifica un coeficiente de reflexión del dispositivo interno hacia la ventana y hacia la zona. El valor de CCISHADE se establece en 0 si el dispositivo de protección solar está muy cerca de la ventana, mientras que, un valor 1 representa que el dispositivo de protección solar se encuentra muy lejos de la ventana, los valores típicos de CCISHADE oscilan entre 0,3 y 0,6. La relación del área entre el marco y la ventana se infiere de los planos, mediciones en terreno o por defectos según la figura 38 que establece la relación inversa (ventana sobre marco). La transmitancia térmica del marco se establece según los valores de la figura 39. Para el coeficiente de absorción solar del marco se usan los valores de la tabla 6. Esta información para las ventanas se completa en la interfaz “Window Type Manager”, figura 40.

TIPO DE MARCO	FM
Madera	75 %
Metal sin Rotura Puente Térmico (RPT)	85 %
Metal con RPT	80 %
PVC	80 %

Figura 38: Relación Ventana/marco según tipo de marco (Fuente: [5])

TIPO DE MARCO	U MARCO [W/m <sup>2</sup> K]
Metal sin RPT	5,80
Al con RPT	3,30
PVC	2,80
Madera	2,60

Figura 39: Transmitancia térmica según tipo de marco (Fuente: [5])

Window Type Manager

window type: SINGLE

**Glazing**

ID number: 13907 WinID: Pool Lib  
 slope of window: 90 degree  
 For 1 glazing module: width: 0 m height: 0 m  
 u - value: 5.9 W/m<sup>2</sup> K  
 g - value: 0.843 %/100  
 ID spacer: 3 Butyl/Metal (fiberglass etc)

**Convective Heat Transfer Coefficient of Window**

**Front (inside)**  
 userdefined  internal calculation  
 11 kJ/h m<sup>2</sup> K

**Back (outside)**  
 userdefined  internal calculation  
 64 kJ/h m<sup>2</sup> K

**Optional Properties of Shading Devices**

**Additional Heat Resistance**  
 internal device: 0 h m<sup>2</sup> K/kJ  
 external device: 0 h m<sup>2</sup> K/kJ

**Reflection Coefficient of Internal Device**  
 towards window: 0.5 %/100  
 towards zone: 0.1 %/100

**Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)**  
 0.5 %/100

**Frame**  
 area frame/window: 0.15 %/100  
 solar absorptance: 0.6  
 u - value (1/R): 8.17 kJ/h m<sup>2</sup> K

Figura 40: Interfaz Window Type Manager (Fuente: [8])

Las ventanas en la zona se agregan según el muro, esta información se identifica por medio de planos, estos planos también permiten determinar el área de la ventana. Las ventanas se seleccionan según el tipo (creados anteriormente, biblioteca o nuevo tipo). El Geosurf por defecto es 0. El valor de la ganancia depende si la ventana posee ganancias en estas. La orientación se establece por defecto según la orientación del muro que se agregó. El factor de vista al cielo es 0.5 para ventanas verticales, 1 para ventanas horizontales y para ventanas inclinadas se determina por medio de la ecuación 32, la horizontalidad, verticalidad o pendiente de ventanas se obtiene de los planos. Esta información para las ventanas de la zona se completa en una sección de la interfaz con similar nombre al de la zona, figura 41.

$$f_{sky} = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (32)$$

Windows

Type	Area	Category	u-Value	g-Value
INSUL	0.10	EXTERNAL	2.83	0.755

Add Delete

window type: INSUL INSUL  
 area: 0.1 m<sup>2</sup>  
 category: EXTERNAL  
 geosurf: 0 2  
 gain: 0 kJ/h  
 orientation: WEST NORTH  
 view fac. to sky: 0.5

Figura 41: Definición de ventanas de la zona (Fuente: [8])

### 3.2.5 Identificación de infiltraciones

Las infiltraciones a través de la envolvente se determinan según: un ensayo de hermeticidad a 50 Pa, por defecto según el tipo de elemento (figuras 42, 43 y 44), o usar un certificado de hermeticidad de algunos elementos (puertas y ventanas) y el resto de las infiltraciones por defecto.

CASA COMPLETA EXCEPTO PUERTAS Y VENTANAS A 50 [PA]	[m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> ]
Hormigón	6,4
Ladrillo	7,2
Ladrillo – Madera	11,8
Ladrillo – Metalcón	11,8
Madera	20,4
Metalcón	14,0

Figura 42: Hermeticidad de la casa completa excepto puertas y ventanas (Fuente: [5])

PUERTAS	[m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> ]
Cholguán	140
Madera	120
Aluminio	118

Figura 43: Hermeticidad de puertas (Fuente: [5])

VENTANAS A 100 [PA]	[m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> ]
AL-PVC Abatir	5,6
AL-PVC Corredera (1M-1F)	35,0
AL-PVC Corredera (2M)	46,0
AL-PVC Guillotina	28,6
AL_PVC Proyectante	12,7
AL-PVC Fija	10,0
Madera	85,0
Madera DVH europea	4,0
Fierro	120,0

Figura 44: Hermeticidad de ventanas (Fuente: [5])

La definición de las infiltraciones que se identifican en la zona se realiza en la ventana de la zona, haciendo clic sobre la condición (infiltración de aire), se abre la ventana de la figura 45, se selecciona “on” y el tipo de infiltración que se definió.

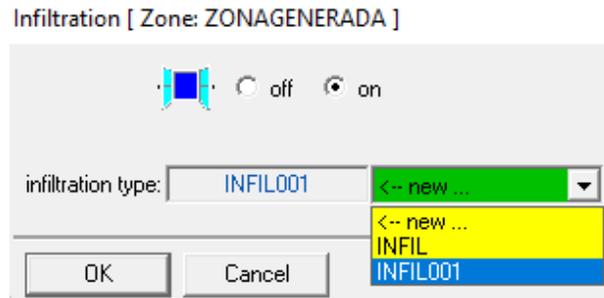


Figura 45: Definición de infiltraciones de aire exterior en la zona (Fuente: [8])

### 3.2.6 Identificación de ganancias

La cantidad de personas que vive en la vivienda se define como una persona más que un dormitorio, con un patrón típico de ocupación a diario en la vivienda adaptado a la realidad de Chile, figura 46. El calor liberado por los usuarios depende del horario, de 7:00 a 21:00 horas generan 98.4  $W$  y entre las 22:00 a 6:00 horas generan 82  $W$ .

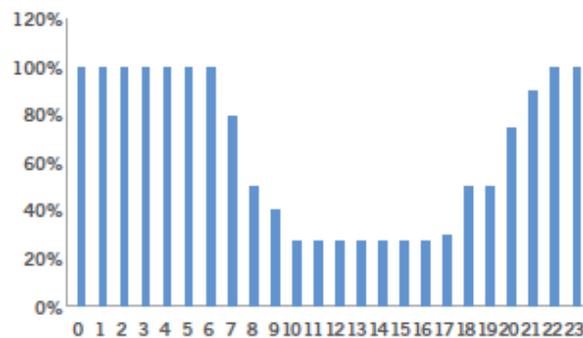


Figura 46: Perfil de ocupación a diario de una vivienda en Chile (Fuente: [5])

La iluminación se establece en  $1.5 \frac{W}{m^2}$  cuando la radiación interior según la ecuación 15 sea menor a 250  $Lux$  entre el horario de 7:00 a 21:00 horas.

El equipamiento depende de cada vivienda, de acuerdo con la tabla 1, ciertos artefactos se encuentran en más del 90% de las viviendas en Chile, por lo que se pueden considerar alguno de estos, de acuerdo con frecuencia de uso que se identifica en [1].

La definición de las ganancias que se identifican en la zona se realiza en la ventana de la zona, haciendo clic sobre la condición (ganancia), se abre la ventana de la figura 47, se selecciona “on” y el tipo de ganancia que se definió en la sección “Other gains”.

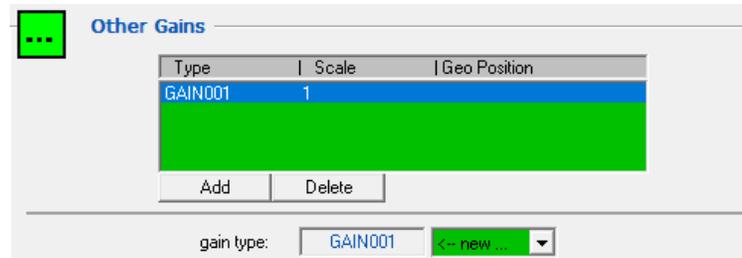


Figura 47: Definición de ganancias de la zona (Fuente: [8])

### 3.2.7 Identificación de la ventilación

De acuerdo con la ecuación 19 la ventilación mínima por higiene se determina según el número de personas (identificada anteriormente) y el área planta de la vivienda se determina por medio de planos. Si la vivienda no cuenta con equipos que permitan la ventilación, la renovación de aire en la vivienda se define como:

$$F_{min} = 1.35 \cdot (F_{vent} + F_{inf}) \quad (33)$$

Donde:

$F_{vent}$ : Flujo mínimo de ventilación por higiene.

$F_{inf}$ : Flujo debido a infiltraciones en la envolvente.

Si el equipo cuenta con ventiladores mecánicos, la renovación de aire se define como:

$$F_{min} = MAX(F_M, F_{min}) \quad (34)$$

Donde:

$F_M$ : Flujo por ventilación mecánica.

Si el equipo cuenta con intercambiador de calor, la renovación de aire se define como:

$$F_{min} = MAX(F_{IC} + F_{infiltraciones}, F_{min}) \quad (35)$$

Donde:

$F_{IC}$ : Flujo de ventilación que pasa por el intercambiador de calor.

En caso de que la vivienda se ventile con aire con propiedades similares al del exterior el flujo de ventilación (incluyendo infiltraciones) se define en TRNbuild y en la zona, de similar manera que las infiltraciones de aire. En caso de que el flujo de ventilación pase por un intercambiador de calor, se define en la ventana “Ventilation Type Manager”, figura 48, en esta ventana se define la ventilación por hora, temperatura y humedad relativa del aire de ventilación.

Figura 48: Ventana Ventilation Type Manager (Fuente: [8])

La definición del sistema de ventilación se realiza en la ventana de la zona, haciendo clic sobre la condición (sistema de ventilación), se abre la ventana de la figura 49, se selecciona “on” y el tipo de sistema de ventilación que se definió.

Figura 49: Definición de ventilación de la zona (Fuente: [8])

### 3.2.8 Identificación de sistemas de climatización

La temperatura máxima y mínima para que funcionen los sistemas de enfriamiento y calefacción respectivamente se determina por medio de la ecuación 25, la temperatura media mensual de esta ecuación (único dato) se obtiene por medio de sitios web meteorológicos

“AGROMETEOROLOGIA” [17]., figura 50. Luego se aplica el procedimiento de año típico y así emplear las temperaturas más representativas de cada mes, para más detalles ver anexo C.

The screenshot shows a web-based interface for querying meteorological data. The title is 'CONSULTAR DATOS'. The location is set to 'Carriel Sur, Concepción, DMC'. The variable is 'Temperatura del Aire'. There are dropdown menus for 'Mes', 'Desde' (set to 'Enero'), 'Hasta' (set to 'Dicie...'), and '2022'. Below these are checkboxes for 'Tabla', 'Gráfico', 'Excel', and '.CSV'. A prominent blue button labeled 'CONSULTAR DATOS' is at the bottom.

Figura 50: Consulta de datos meteorológicos (Fuente: [17])

Una vez se determinan los rangos de confort se ingresan los valores mínimos y máximos de la banda en la ventana “Heating Type Manager” y “Cooling Type Manager”, figura 51 y figura 52 respectivamente.

The screenshot displays the 'Heating Type Manager' configuration window. At the top, 'heating type' is set to 'HEAT001'. The 'Room Temperature Control' section has 'set temperature' at 20 °C. The 'Heating Power' section has 'heating power' set to 'unlimited' and 'radiative part' at 0 % / 100. The 'Humidification' section is set to 'off'.

Figura 51: Ventana Heating Type Manager (Fuente: [8])

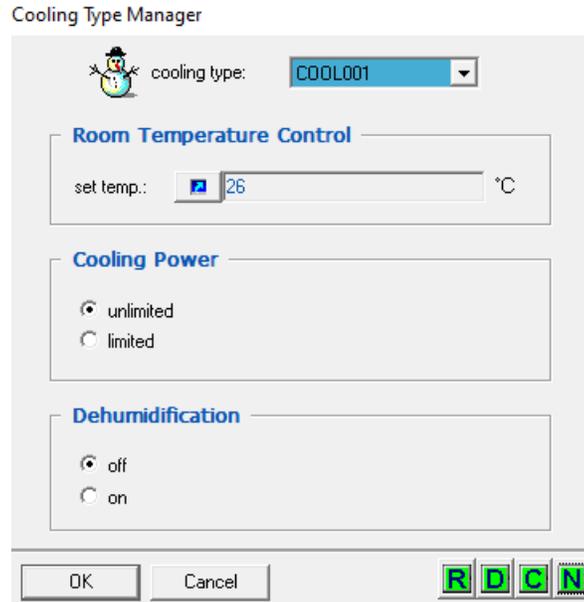


Figura 52: Ventana Cooling Type Manager (Fuente: [8])

Ambos sistemas de calefacción se consideran de potencia ilimitada, ya que, al ser una simulación térmica es de interés la magnitud de la potencia crítica del sistema de calefacción. Además, no se considera ni la humidificación ni deshumidificación por parte de estos sistemas.

### 3.2.9 Identificación de entradas a componentes

Las entradas del Type56a asociadas a la temperatura ambiente, temperatura del suelo, temperatura del cielo y a la radiación del sol se determinan por medio del procedimiento de un año típico (TMY), cuyo procedimiento requiere de información meteorológica, la que se extrae de sitios web meteorológicos “AGROMETEOROLOGIA” para temperaturas y “Explorador Solar” para la radiación del sol, [17] y [10] respectivamente. La información asociada a la radiación del sol (radiación total y radiación difusa) se entrega al Type16i, el cual la procesa y determina la radiación directa, difusa y ángulo solar en cada superficie según las distintas orientaciones, esta información es recibida como entrada por el Type56a. La latitud se identifica por medio de Google Earth, se consideran negativas las latitudes ubicadas al sur del Ecuador. La reflectancia del suelo es 0.2 para terrenos no cubiertos por nieve y 0.6 para terrenos cubiertos de nieve. El ángulo azimut usa las siguientes referencias:  $0^\circ$  = Frente al Ecuador,  $90^\circ$  = Mirando al Oeste,  $180^\circ$  o  $-180^\circ$  = De espaldas al Ecuador y  $-90^\circ$  o  $270^\circ$  = Mirando el este, estos ángulos se identifican por medio de planos y/o Google Earth. La pendiente de la superficie es positiva cuando se inclina en dirección del azimut, se considera:  $0^\circ$  = Orientación horizontal y  $90^\circ$  = Orientación vertical hacia el azimut, la pendiente de las superficies se identifica por medio de planos.

## CAPÍTULO 4: Determinación de las condiciones de borde de una vivienda

A continuación, se realiza un ejemplo de la determinación de las condiciones de borde que exigen las componentes de TRNSYS, el ejemplo se aplica a un proyecto inmobiliario en desarrollo, considerando un departamento intermedio (ni en el primer ni último piso).

### 4.1 Antecedentes de la vivienda

En la tabla 7 se muestran los antecedentes generales de la vivienda y su entorno.

Tabla 7: Antecedentes generales de la vivienda

Agrupamiento	Departamento
Ciudad	Concepción
Latitud ( $^{\circ}$ )	-36.8
Dormitorios	2
Área superficial interior ( $m^2$ )	50
Altura ( $m$ )	2.2
Superficies exteriores	1
Orientación superficie	Suroeste
Azimut de superficie exterior ( $^{\circ}$ )	120
Pendiente de superficie ( $^{\circ}$ )	90
Reflectancia del suelo	0.2

En la figura 53 se muestra la orientación del edificio respecto a la orientación norte, en la misma figura 53 se muestra la disposición del departamento en el edificio.

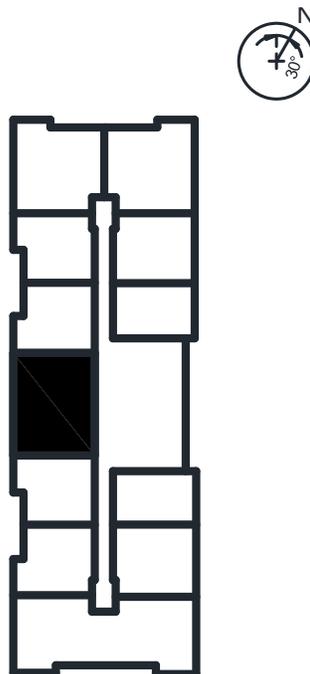
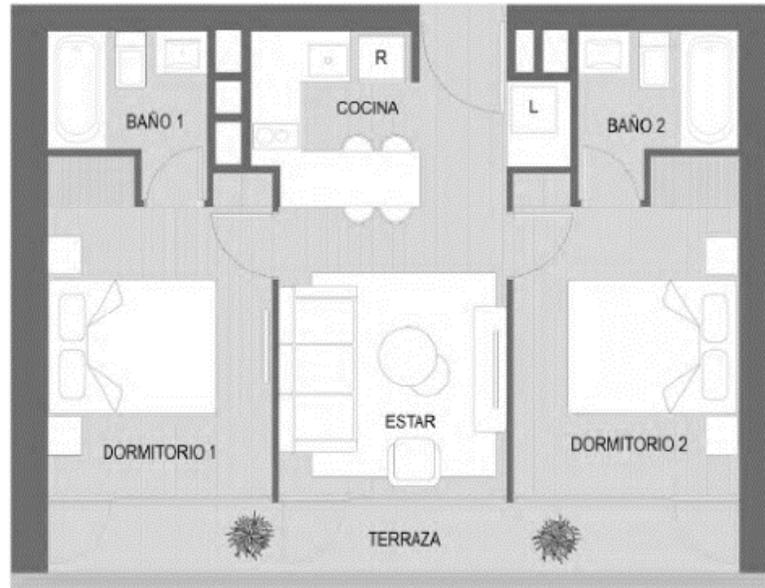


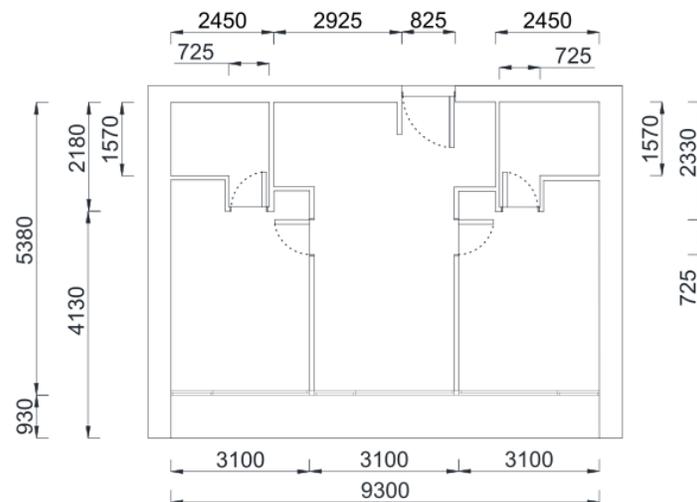
Figura 53: Disposición del departamento en el edificio y orientación de este.

En la figura 54 se muestra la distribución de espacios en el departamento sugeridos por la constructora.



**Figura 54: Distribución de espacios del departamento.**

En la figura 55 se muestra el plano planta de la vivienda.



**Figura 55: Plano planta del departamento**

## 4.2 Capas de la vivienda

En la tabla 8 se muestran las capas y las propiedades físicas de los distintos elementos constructivos de la vivienda.

Tabla 8: Capas del departamento

Elemento constructivo	Capas	Conductividad $\left(\frac{W}{mK}\right)$	Capacidad $\left(\frac{J}{kgK}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Piso, muro perimetral y techo	Hormigón armado	1.63	880	2400
Piso, muro perimetral y techo	Termopol	0.043	1100	15
Puerta	Madera	0.157	1795	800
Muro interno	Ladrillo	1	3148	2000

### 4.3 Muros de la vivienda

En la tabla 9 se describen los muros según sus capas, espesores, absorción solar y coeficientes convectivos de transferencia de calor.

Tabla 9: Muros del departamento

Muro	Capas	Espesor (m)	Absorcion solar		Coeficiente convectivo	
			Interior	Exterior	Interior	Exterior
Piso	Hormigón armado	0.1	0.6	0.6	11	11
	Termopol	0.07				
Techo	Hormigón armado	0.1	0.6	0.6	11	11
	Termopol	0.07				
Muro interno	Ladrillo	0.143	0.6	0.6	11	11
Muro perimetral	Hormigón armado	0.2	0.6	0.6	11	64
	Termopol	0.015				
Puerta	Madera	0.004	0.6	0.6	11	11

### 4.4 Ventanas de la vivienda

En la tabla 10 se muestra la ventana de la vivienda y sus características del vidrio y marco, estas son fijas y de corredera.

Tabla 10: Ventana del departamento

Tipo de ventana	Coeficiente convectivo	Propiedades opcionales	Fracción de			

DVH con espaciador 9 mm	Interno	Externo		absorción solar del nodo de aire de la zona	Tipo de marco	Área marco/ventana (%)	Absortancia solar del marco
	11	64	Por defecto.	0	Metal con RPT	20	0.6

#### 4.5 Infiltraciones de aire exterior en la envolvente

Las infiltraciones en la envolvente se determinan por defecto, a través del muro perimetral se determinan como:

$$F_{muro} = 6.4 \cdot \left( \frac{m^3}{h \cdot m^2} \right) \cdot A_{muro} = 6.4 \cdot 0.1 \cdot 9.3 = 5.95 \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad (36)$$

A través de la ventana se determinan como:

$$F_{ventanas} = 3 \cdot 46 \cdot A_{ventana,corredera} + 10 \cdot A_{ventana,fija} = 360 \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad (37)$$

Dado que las puertas no están en contacto directo con el exterior, no se consideran filtraciones a través de este elemento, las infiltraciones de aire total son:

$$F_{infiltraciones} = F_{muro} + F_{ventanas} = 365.95 \left( \frac{m^3}{h} \right) = 3.3 \text{ (RAH)} \quad (38)$$

#### 4.6 Ventilación de aire exterior en la vivienda

El flujo por ventilación se determina por medio de la ecuación 19, debido a que la ocupación en la vivienda es variable, y la ventilación depende de la ocupación, esta también varía durante el día, en la figura 56 se muestra el flujo de ventilación a lo largo del día.

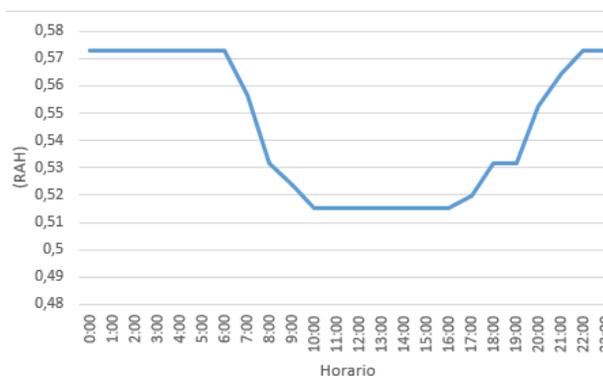


Figura 56: Ventilación mínima por higiene del departamento

Dado que la vivienda no cuenta con equipos que permitan la ventilación forzada, el flujo total de renovaciones de aire se determina mediante la ecuación 33, en la figura 57 se muestran las infiltraciones de aire (incluye ventilación) a lo largo del día en la vivienda.

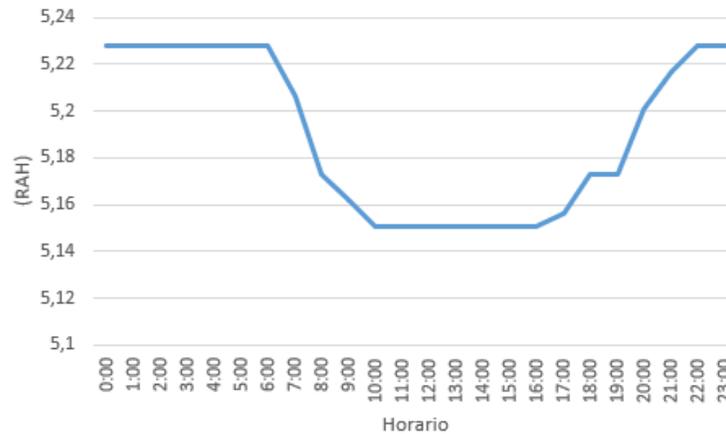


Figura 57: Infiltraciones de aire exterior en la vivienda

#### 4.7 Ganancias en la vivienda

Se establecen por ocupante en el horario de 7:00 a 21:00 horas liberan  $98.4 W$  y entre las 22:00 a 6:00 horas liberan  $82 W$ , el resto de las ganancias se establece en  $1.5 \frac{W}{m^2}$  entre el horario de 7:00 a 21:00 horas, a pesar de que la CEV establece este último valor solo cuando la radiación natural es insuficiente a través de las ventanas, en caso de no ser así se puede considerar esta ganancia por los otros artefactos eléctricos. En la figura 58 se muestran las ganancias internas de la vivienda a lo largo del día.

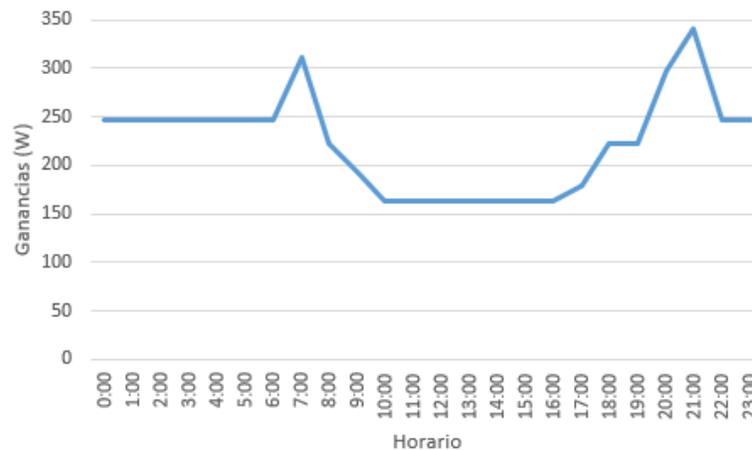


Figura 58: Ganancias a lo largo del día en la vivienda

#### 4.8 Sistema de calefacción de la vivienda

Para definir las temperaturas máximas y mínimas del sistema de climatización se emplea la ecuación 25, la temperatura media mensual para cada mes se determinó por medio del procedimiento de año típico, para más detalles ver anexo C. En la tabla 11 se muestran las temperaturas medias mensuales usadas.

Tabla 11: Temperaturas medias mensuales del año típico

Mes	Temperatura (°C)
Enero	16.9
Febrero	17
Marzo	15.6
Abril	13.3
Mayo	11.8
Junio	9.9
Julio	9.7
Agosto	9.9
Septiembre	10.8
Octubre	12
Noviembre	14.8
Diciembre	16.1

En la tabla 12 se muestra la temperatura media de confort, y los rangos de confort para cada mes del año.

Tabla 12: Rangos de confort en la vivienda

Mes	Temperatura media de confort (°C)	Temperatura mínima de confort (°C)	Temperatura máxima de confort (°C)
Enero	23.2	20.7	25.7
Febrero	23.2	20.7	25.7
Marzo	22.9	20.4	25.4
Abril	22.3	19.8	24.8
Mayo	21.9	19.4	24.4
Junio	21.4	18.9	23.9
Julio	21.4	18.9	23.9
Agosto	21.4	18.9	23.9
Septiembre	21.6	19.1	24.1
Octubre	22	19.5	24.5
Noviembre	22.7	20.2	25.2
Diciembre	23	20.5	25.5

#### 4.9 Zonas de la vivienda

La zona interior del departamento se define en 1 zona térmica, en la tabla 13 se muestran las características de los muros de categoría INTERNAL y BOUNDARY del departamento.

Tabla 13: Muros categoría INTERNAL y BOUNDARY del departamento

Tipo Muro	Categoría	Área ( $m^2$ )	Temperatura perímetro
Piso	BOUNDARY	50	Idéntica
Techo	BOUNDARY	50	Idéntica
Muro Perimetral	BOUNDARY	23.7	Idéntica
Puerta	BOUNDARY	1.7	Idéntica
Puerta	INTERNAL	6.1	-
Muro Interno	INTERNAL	37.3	-

En la tabla 14 se muestran las características del muro EXTERNAL del departamento.

Tabla 14: Muro categoría EXTERNAL del departamento

Tipo Muro	Categoría	Área ( $m^2$ )	Geosurf	Ganancia	Orientación	Factor de vista al cielo
Muro Perimetral	EXTERNAL	20.5	0	0	Suroeste	0.5

En la tabla 15 se muestran las características de la ventana contenida en el muro de la tabla 14.

Tabla 15: Ventana contenida en el muro EXTERNAL

Tipo Ventana	Categoría	Área ( $m^2$ )	Geosurf	Ganancia	Orientación	Factor de vista al cielo
DVH con espaciador 9 mm	EXTERNAL	19.5	0	0	Suroeste	0.5

El resto de las condiciones (infiltraciones, sistemas de climatización y ganancias) ya identificadas, se establecen en esta zona (interior).

#### 4.10 Condiciones del entorno

El clima horario relacionado a temperaturas se establece según un año típico, para más detalles ver anexo C. En la tabla 16 se muestran los distintos meses con su respectivo año considerado.

Tabla 16: Meses según el año considerado para año típico

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Año	2018	2018	2021	2019	2023	2020	2020	2022	2021	2019	2019	2021

El clima horario relacionado a radiaciones del sol se extrae directamente desde el año típico considerado en [10].

## **CAPÍTULO 5: Conclusión y comentarios.**

Se puede concluir que la definición de condiciones de borde de TRNSYS y la PBDT de la CEV para simulación térmica es bastante similar, lo que permite la identificación de las condiciones de borde horarias relacionadas con infiltraciones de aire exterior, ganancias, sistemas de calefacción y sistemas de aire acondicionado a través del manual dispuesto por la CEV y así ser consideradas en TRNSYS. Al ser consideradas por un instrumento de calificación oficial, son una buena fuente de identificación. Las condiciones de borde horarias relacionadas con el entorno, como las temperaturas y radiaciones del sol, no se muestra en el manual el procedimiento para identificarlas, ya que, por defecto, las asume según la ubicación de la vivienda. Pero este manual establece que los resultados se muestran de manera horaria según un día típico para cada mes del año, por lo que, las condiciones de borde horaria (temperatura y radiación del sol) luego de su identificación deben ser manipuladas para la construcción de un año típico, proceso que requiere de una base de datos de varios años. Otras condiciones de borde que son constantes en el tiempo que se relacionan con características de la vivienda (arquitectura y materialidad) son de fácil identificación para viviendas nuevas y existentes. Por otra parte, se sugiere que en un caso de estudio real de viviendas existentes se consideren encuestas sobre patrones de uso horario de equipamiento, debido a que la PBDT no considera estas ganancias, y así ser usadas en TRNSYS con el objetivo de tener condiciones de borde horaria más cercanas a la realidad.

En el caso de la vivienda considerada se mostró la manera de predecir las condiciones de borde para ser usadas en TRNSYS. Las renovaciones de aire, ganancias por ocupantes y sistemas de calefacción se consideran de similar manera que, en la CEV, mientras que las ganancias debido a equipamiento e iluminación se asume que será  $1,5 \frac{W}{m^2}$  en el horario de 7 a 21 horas, a pesar de que la CEV solo establece esta ganancia cuando la iluminación natural es menor a un cierto valor. Esta ganancia también se podría asumir en TRNSYS, pero antes realizando una manipulación de los datos de radiación entregados por el mismo software. En el caso analizado entre las 7 y 21 horas será siempre de  $1,5 \frac{W}{m^2}$ , ya que, si la iluminación natural es menor a los rangos establecidos por CEV, se asume que esta ganancia proviene de los equipos en funcionamiento en la vivienda, a pesar de que el uso de estos depende de los hábitos de los ocupantes. También se muestra el año típico, que se debe considerar para la información horaria meteorológica asociada a estos meses según el año determinado.

Por último, el procedimiento para la predicción de condiciones de borde queda abierto a que se use en otros análisis de vivienda con otras condiciones de borde horarias o constantes, donde se sugiere realizar la simulación por medio del modelo TRNSYS, debido a que entrega resultados horarios a lo largo de un año, a diferencia del procedimiento de la CEV que entrega resultados por un día representativo para cada mes del año, donde en dicho día representativo podría no considerar condiciones críticas de temperatura.

## Referencias

- [1] In - Data SpA, "Informe final de usos de la energía DE LOS HOGARES CHILE 2018", 2019.
- [2] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, "Informe balance nacional de energía 2020", Santiago de Chile, 2020.
- [3] Seremi Del Medio Ambiente, Ministerio del Medio Ambiente "PLAN OPERACIONAL 2023 PARA LA GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS EN EL MARCO DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO DS N°6/2018 del MMA", 2023.
- [4] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, "Recambia tu calor", <https://recambiatu calor.cl>, 2023.
- [5] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS EN CHILE", 2019.
- [6] R.Egas, "CREACIÓN DE UN PROGRAMA DETALLADO PARA LA SIMULACIÓN TÉRMICA DE UNA CONSTRUCCIÓN", 2006.
- [7] Ministerio del Medio Ambiente, "Establece plan de prevención y de descontaminación atmosférica para las comunas de Concepción metropolitano", 2019.
- [8] Solar Energy Laboratory, University Wisconsin-Madison, "Multizone bulding modeling with Type56 and TRNBuild", 2004.
- [9] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, "DECRETO 44", 2008.
- [10] "Explorador Solar", <https://solar.minenergia.cl/exploracion> (accessed Aug. 28, 2023)
- [11] "Google Earth", <https://earth.google.com/web/> (accessed Aug. 28, 2023)
- [12] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, "ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VIVIENDAS PARA CIUDADES DEL CENTRO Y SUR DE CHILE Y SISTEMATIZACIÓN EN LA INFORMACIÓN ASOCIADA A LA LEÑA COYHAIQUE", 2013.
- [13] M. Pérez, "TIPOS DE AGRUPAMIENTO: AISLADA, PAREADA Y CONTINUA", 2017.
- [14] S. Szokolay, "Introdution to Architectural Science", 2003.
- [15] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, "Manual DE APLICACIÓN REGLAMENTACION TERMICA", 2006.
- [16] F. McQuiston, "Calefacción, ventilación y aire acondicionado", 2003.
- [17] INIA, "RED AGROMETEOROLÓGICA", <https://www.agrometeorologia.cl> (accessed Jul. 10, 2023)
- [18] MINVU, "Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico", 2014.
- [19] INN, "Acondicionamiento térmico - Envolverte térmica de edificios - Cálculos de resistencias y transmitancias térmicas", 2007.
- [20] "Control de las características térmicas de los materiales", [https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/AO305/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=454903](https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/AO305/1/material_docente/bajar?id_material=454903) (accessed Aug. 28, 2023)

## Anexo A: Reglamentación térmica de viviendas

En la tabla 17 aparece la reglamentación térmica empleada en un principio (entre 2000 y 2007) para la techumbre.

Tabla 17: Reglamentación térmica de techumbre (Fuente: [15])

Zona térmica	Techo		
	Complejo techo		Material aislante
	$U_{max}$	$Rt_{min}$	$R100_{min}$
	$\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$	$\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$	–
1	0,84	1,19	94
2	0,69	1,67	141
3	0,47	2,13	188
4	0,38	2,63	235
5	0,33	3,03	282
6	0,28	3,57	329
7	0,25	4,00	376

En la tabla 18, tabla 19 y tabla 20 aparece la reglamentación térmica para los muros, pisos ventilados y ventanas, vigente para la RT actual, además de considerar la tabla 17.

Tabla 18: Reglamentación térmica de muros (Fuente: [15])

Zona térmica	Muros		
	Complejo muro		Material aislante
	$U_{max}$	$Rt_{min}$	$R100_{min}$
	$\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$	$\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$	–
1	4,00	0,25	23
2	3,00	0,33	98
3	1,90	0,53	126
4	1,70	0,59	150
5	1,60	0,63	183
6	1,10	0,91	239
7	0,60	1,67	295

Tabla 19: Reglamentación térmica de pisos ventilados (Fuente: [15])

Zona térmica	Pisos ventilados		
	Complejo piso		Material aislante
	$U_{max}$	$Rt_{min}$	$R100_{min}$

	$\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$	$\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$	—
1	3,60	0,28	23
2	0,87	1,15	98
3	0,70	1,43	126
4	0,60	1,67	150
5	0,50	2,00	183
6	0,39	2,56	239
7	0,32	3,13	295

La reglamentación térmica para los vidrios es de acuerdo con un porcentaje máximo respecto a parámetros verticales de la envolvente y el tipo de vidrio, la reglamentación térmica para vidrios se muestra en la tabla 20.

**Tabla 20: Reglamentación térmica de vidrios (Fuente: [15])**

Zona térmica	Vidrio monolítico	DVH doble vidriado hermético	
		$\left[ 3,6 \times \frac{W}{m^2 K} \right] \geq U$ $> \left[ 2,4 \times \frac{W}{m^2 K} \right]$	$U \leq \left[ 2,4 \times \frac{W}{m^2 K} \right]$
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

En las zonas térmicas: 3, 4, 5, 6 y 7, se puede aumentar la superficie vidriada sobre los valores de la tabla 20, puede aplicarse en el caso de los vidrios monolíticos, compensando el aumento de la superficie vidriada con el mejoramiento de la transmitancia térmica de la solución de los muros. La transmitancia térmica ponderada de acuerdo con la zona térmica debe tener un valor igual o superior al mostrado en la tabla 21.

**Tabla 21: Transmitancia térmica ponderada en caso de exceder superficie máxima vidriada (Fuente: [15])**

Zona	$U_{Ponderado} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$
3	2,88
4	2,56
5	2,36

<b>6</b>	1,76
<b>7</b>	1,22

Si la ciudad cuenta con PDA, hay exigencias térmicas más estrictas que las de la RT para la ciudad, en la tabla 22 se muestran las exigencias térmicas del PDA para la ciudad de Concepción.

**Tabla 22 Transmitancia térmica máxima para los elementos de la envolvente de la vivienda (Fuente: [15])**

<b>Elemento</b>	<b>Valor U máximo <math>\left[\frac{W}{m^2K}\right]</math></b>
<b>Techo</b>	0,33
<b>Muro</b>	0,60
<b>Piso ventilado</b>	0,60
<b>Puerta</b>	1,70

## Anexo B: Norma ISO 7730.

En la tabla 23 se muestra el calor latente y calor sensible desprendido por los ocupantes según la actividad que realizan.

Tabla 23: Calor sensible y latente desprendido por ocupación según actividad (Fuente: [16]).

Actividad	Aplicación típica	Calor sensible [W]	Calor latente [W]
<b>Sentados en un teatro.</b>	Teatro (mañana)	66	31
<b>Sentados en un teatro.</b>	Teatro (noche)	72	31
<b>Sentados haciendo un trabajo ligero.</b>	Oficinas, hoteles, departamentos.	72	45
<b>Realizando trabajo moderado de oficina.</b>	Oficinas, hoteles, departamentos.	73	59
<b>Parados, haciendo un trabajo ligero o caminando.</b>	Tiendas de departamentos, tiendas al menudeo	73	59
<b>Caminando o de pie haciendo un trabajo secundario.</b>	Farmacias o bancos	73	73
<b>Realizando un trabajo secundario.</b>	Restaurante	81	81
<b>Haciendo un trabajo de banco ligero.</b>	Fábrica	81	139
<b>Bailando a ritmo moderado.</b>	Salón de baile	89	160
<b>Caminando a 3 mph, haciendo un trabajo ligero.</b>	Fábrica	110	183
<b>Jugando a los bolos.</b>	Boliche	170	255
<b>Realizando trabajo pesado.</b>	Fábrica	170	255
<b>Manejando maquinaria pesada, levantando objetos.</b>	Fábrica	186	283
<b>Haciendo rutinas atléticas.</b>	Gimnasio	208	320

## Anexo C: Determinación de año típico

Por medio de la información meteorológica obtenida de [17] se construye el año típico, como se muestra en las siguientes figuras:

										Temp. Mensual	Temp. Min	Temp. Max		
Temp. Media mensual										40%	30%	30%		
Enero										0,4	0,3	0,3		
	2023	2022	2021	2020	2019	2018	Promedio							
Temp. Media mer	17,2	16,8	16,2	17,1	16,4	16,9	16,7666667							
Dif	0,43333333	0,033333	-0,566667	0,333333	-0,366667	0,133333			2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. %	2,58449304	0,19881	-3,37972	1,98807	-2,18688	0,79523		Dif. Pond	2,93808	2,49703	3,330051375	1,87804088	2,912891674	1,42645
Dif. Abs	2,58449304	0,19881	3,37972	1,98807	2,18688	0,79523								
	2023	2022	2021	2020	2019	2018	Promedio	año típico: enero 2018						
Temp. Mínima	12,7	12,7	11,7	12,2	11,3	11,9	12,0833333							
Dif	0,61666667	0,61667	-0,38333	0,11667	-0,78333	-0,18333								
Dif. %	5,10344828	5,10345	-3,17241	0,96552	-6,48276	-1,51724								
Dif. Abs	5,10344828	5,10345	3,17241	0,96552	6,48276	1,51724								
	2023	2022	2021	2020	2019	2018	Promedio							
Temp. Máx	21,7	20,8	20,7	22	21,5	21,9	21,4333333							
Dif	0,26666667	-0,63333	-0,73333	0,56667	0,06667	0,46667								
Dif. %	1,24416796	-2,9549	-3,42146	2,64386	0,31104	2,17729								
Dif. Abs	1,24416796	2,9549	3,42146	2,64386	0,31104	2,17729								

Figura 59: Construcción año típico: Enero

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	2,41229	0,94454	3,834718733	2,06884217	2,31378714	0,3895
año típico: febrero 2018						

Figura 60: Construcción año típico: Febrero

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	6,78515	2,86076	1,625469391	4,26929843	4,727368335	3,64807
año típico: marzo 2021						

Figura 61: Construcción año típico: Marzo

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	6,5971	8,8065	4,863044019	5,2348521	0,65200632	7,665
Año típico: abril 2019						

Figura 62: Construcción año típico: Abril

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	0,668	11,357	2,313684504	4,6925864	3,34085842	1,7772
año típico: mayo 2023						

Figura 63: Construcción año típico: Mayo

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	10,433	4,8755	3,969068976	2,3510671	2,47742035	14,804
año típico: Junio 2020						

Figura 64: Construcción año típico: Junio

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	6,8225	4,9778	8,048975672	2,4502586	7,32413196	6,3629
Año típico: Julio 2020						

Figura 65: Construcción año típico: Julio

	2023	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	9,2403	1,7426	2,589477033	3,9901214	3,00287697	3,532
Año típico: Agosto 2022						

Figura 66: Construcción año típico: Agosto

	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pond	3,6736	0,7651	1,408801264	0,9877487	5,15257008
Año típico: Septiembre 2021					

Figura 67: Construcción año típico: Septiembre

	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. pond	3,02756	3,36763	5,503052344	0,4083451	2,771454708
Año típico: Octubre 2019					

Figura 68: Construcción año típico: Octubre

	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pand	7,05046	2,46807	3,939444726	1,2499516	1,77772726
Año típico: noviembre 2019					

Figura 69: Construcción año típico: Noviembre

	2022	2021	2020	2019	2018
Dif. Pand	6,88884	0,78761	5,344208599	1,5272226	1,438552601
Año típico: Diciembre 2021					

Figura 70 Construcción año típico: Diciembre