



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ingeniería - Programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería con
mención en Ingeniería Mecánica.



Infiltraciones de Aire en la Vivienda.

Tesis para optar al grado de magister en Ciencias de la Ingeniería
con mención en Ingeniería Mecánica.

SERGIO ANTONIO NAVARRETE BOUTAUD
CONCEPCIÓN-CHILE
2016

Profesor Guía: Adelqui Fissore Schiappacasse
Dpto. de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

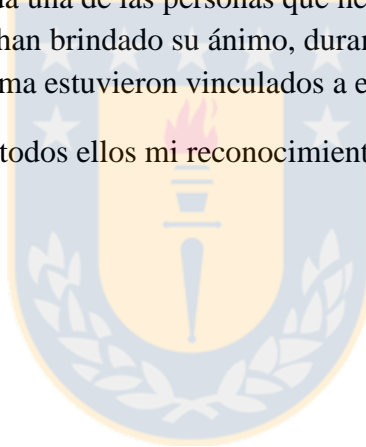
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a toda mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional, durante toda mi vida.

A mi profesor, por toda la paciencia y las numerosas oportunidades en que me brindó su apoyo para poder llevar a cabo este trabajo.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que he conocido durante la realización de este trabajo y que me han brindado su ánimo, durante altos y bajos y que de alguna forma estuvieron vinculados a este proyecto.

A todos ellos mi reconocimiento y gratitud.



SUMARIO

En el área de la vivienda, la climatización corresponde a uno de las principales fuentes de consumo de energía. Uno de los factores que más influyen en este consumo es el deficiente nivel de hermeticidad de la envolvente de una construcción. Es frecuente encontrar viviendas con grandes tasas de renovación de aire, cuya principal causa son las infiltraciones de aire por la envolvente.

El objetivo de este trabajo es validar un modelo matemático de simulación energética como una manera de estudiar medidas de eficiencia sobre la construcción, de modo de disminuir las cargas térmicas relacionadas a las infiltraciones y que inciden sobre el comportamiento de una vivienda.

Como primer paso se trata la teoría general de las infiltraciones de aire. Luego se enumeran los modelos de cálculo utilizados y su aplicación. En el desarrollo del trabajo se definen 2 viviendas a estudiar, explicando las mediciones y ensayos realizados en ellas (Prueba de Presurización, Ensayo de Dilución de Contaminantes). Además se explican los conceptos básicos del software de simulación térmica y energética utilizado y la manera en que se ingresa la información levantada desde las dos viviendas, para finalmente lograr el cálculo de infiltraciones de aire en cada una de ellas, el que es comparado con los resultados obtenidos a través del ensayo de Dilución de Contaminantes.

El uso de programas de simulación energética que consideran el aporte de las infiltraciones de aire dentro de los cálculos de pérdidas energéticas se convierte en una importante herramienta a la hora del diseño de nuevos proyectos habitacionales. De esta manera es posible corregir problemas de diseño y constructivos con antelación, que permitan reducir el consumo energético por concepto de calefacción y así convertirse en un aporte a las políticas de Eficiencia Energética en el país.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	1
SUMARIO.....	2
ÍNDICE GENERAL.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
NOMENCLATURA.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO 1. INFILTRACIONES DE AIRE.....	11
1.1 Definición de Infiltraciones de aire.....	11
1.2 Consecuencias de las Infiltraciones de Aire.....	12
1.2.1 Efectos en el Confort Térmico y Mayor Consumo Energético.....	12
1.2.2 Efectos en la Humedad.....	13
1.2.3 Efectos en la Calidad del Aire.....	13
1.2.4 Efectos Acústicos.....	13
1.3 Tipos de Infiltraciones.....	14
1.4 Flujos de aire a través de una grieta.....	15
1.4.1 Diferencia de Presión debido al viento.....	15
1.4.2 Diferencia de Presión debido a la diferencia de densidades del aire...	16
1.5 Modelos matemáticos para flujos de aire en recintos.....	17
1.5.1 Modelo de 1 zona.....	17
1.5.2 Modelo multizona.....	19
1.5.2.1 El modelo COMIS.....	20
CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN VIVIENDAS A ESTUDIAR.....	22
2.1 Vivienda 1.....	22
2.1.1 Descripción de la vivienda.....	22
2.1.2 Características de la envolvente.....	23

2.2	Vivienda 2.....	23
2.2.1	Descripción de la vivienda.	23
2.2.2	Características de la envolvente.	24
CAPÍTULO 3. ENSAYO DE PRESURIZACIÓN.....		26
3.1	Definición Ensayo de Presurización.....	26
3.2	Herramientas.....	26
3.3	Procedimiento.....	28
3.4	Resultados.....	29
CAPÍTULO 4. ENSAYO DE DILUCIÓN DE CONTAMINANTES.		32
4.1	Definición Ensayo de Dilución de Contaminantes.....	32
4.2	Técnicas de medida con gases trazadores.....	32
4.3	Método de la caída de la concentración.....	33
4.4	Procedimiento.....	35
4.5	Resultados.....	36
CAPÍTULO 5. DESARROLLO MODELO DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA CON APORTE DE INFILTRACIONES DE AIRE EN TRNSYS.....		39
5.1	TRNSYS.....	39
5.2	Descripción modelo.	39
5.3	Aplicación modelo.	40
5.3.1	Modelación en TRNBuild.	40
5.3.2	Infiltraciones de aire.	41
5.3.2.1	Red de Flujo de Aire.	41
5.3.2.2	Coeficientes Experimentales.	44
5.3.3	Información meteorológica.	44
5.3.4	Modelo en TRNSYS.	45
CAPÍTULO 6.		47
6.1	Resultados Vivienda 1.....	47
6.1.1	Comparación de Resultados Vivienda 1.....	47

6.2 Resultados Vivienda 2..... 49

6.2.1 Comparación de Resultados Vivienda 2. 49

6.3 Fuentes de Error. 50

CONCLUSIONES. 52

Bibliografía. 54

ANEXO 1. Descripción Viviendas a Estudiar..... 57

ANEXO 2. Equipo Blower Door Test y descripción pruebas de presurización... 64

ANEXO 3. Equipo Ensayo Dilución de Contaminantes..... 71



ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página
Figura 1.1 Ejemplos de infiltraciones de aire en la vivienda.	11
Figura 1.2 Coef. de Presión en función del ángulo de incidencia.	16
Figura 1.3 Representación gráfica modelo de 1 zona.	18
Figura 1.4 Modelo multizona.	19
Figura 2.1 Vivienda 1.	22
Figura 2.2 Plano característico vivienda 1.	23
Figura 2.3 Vivienda 2.	24
Figura 2.4 Esquema vivienda 2.	25
Figura 3.1 Equipo para Ensayo de Presurización.	27
Figura 4.1 Gráfico Concentr. CO ₂ v/s tiempo, Ensayo dilución de Cont. Vivienda 1.	36
Figura 4.2 Gráfico Concentr. CO ₂ v/s tiempo, Ensayo dilución de Cont. Vivienda 2.	38
Figura 5.1 Navegador zonas vivienda 1, TRNBuild.	40
Figura 5.2 Ventana definición red flujo de aire, TRNFLOW.	41
Figura 5.3 Red Flujo de Aire Vivienda 1.	42
Figura 5.4 Red Flujo de Aire Vivienda 2, primer nivel.	43
Figura 5.5 Red Flujo de Aire Vivienda 2. 2do nivel.	43
Figura 5.6 Modelo en TRNSYS a utilizar en ambas viviendas estudiadas. ...	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Resumen de test de presurización realizados en vivienda 1.	29
Tabla 3.2 Datos obtenidos en el test de presurización vivienda 1.	30
Tabla 3.3 Resumen de test de presurización realizados en vivienda 2.	30
Tabla 3.4 Datos obtenidos en el test de presurización vivienda 2.	31
Tabla 4.1 Métodos de Ensayos de Dilución de Contaminantes.	33
Tabla 4.2 Ensayo de dilución de Contaminantes Vivienda 1.	37
Tabla 4.3 Ensayo de dilución de Contaminantes Vivienda 2.	38
Tabla 6.1 Comparación resultados vivienda 1.	47
Tabla 6.2 Comparación resultados vivienda 2.	49



NOMENCLATURA

Símbolo	Definición	
ρ	Densidad del aire	kg/m ³
ρ_0	Densidad del aire en el exterior.	kg/m ³
ρ_i	Densidad del aire en el interior.	kg/m ³
C	Coeficiente de Flujo.	m ³ /h*Pa ⁿ
C_p	Coeficiente de Presión	
DP	Diferencia de Presión.	Pa
Dt	Promedio de Temp. interior y exterior del intervalo de tiempo de cálculo	°C
EDC	Ensayo de Dilución de Contaminantes.	
f	Coeficiente de infiltración por rendija	W/m*K
G	Flujo de gas trazador en el recinto	mg/s
g	Aceleración de gravedad	m/s ²
h	Diferencia de alturas entre plano de ref. y orificio	m
l	Largo de rendija	m
M	Flujo de aire.	m ³ /h
n	Exponente de Flujo	
P	Presión	Pa
P_{i1}	Presión del aire interna en zona 1.	Pa
P_{i2}	Presión del aire interna en zona 2.	Pa
P_{atm}	Presión Atmosférica	Pa
Q_c	Flujo de aire.	m ³ /h
t	Tiempo	h
V	Volumen de aire en el recinto	m ³
v	Velocidad del viento	m/s
X	Concentración de gas trazador en el aire del recinto	mg/ m ³
X₀	Concentración de gas trazador que ingresa al recinto	mg/ m ³

INTRODUCCIÓN.

Entre los aspectos a considerar para el diseño de una vivienda, adquiere relevancia el considerar los costos asociados a la ventilación, calefacción y acondicionamiento de aire de esta. Por una parte, la preocupación en la calefacción y ventilación tiene relación en como poder disminuir las pérdidas de energía que se generan hacia el ambiente; por otra parte en el caso del acondicionamiento de aire, la preocupación va por proporcionar un ambiente interior confortable y a su vez saludable para los individuos que habitan en la construcción. Por lo general, esto implica estudios de la transferencia de calor desde y hacia el ambiente, y análisis de los flujos de aire que se generan por elementos como ventanas, puertas, etc. Sin embargo existe una cantidad de aire que no es posible de cuantificar directamente y que debe estudiarse como un concepto por separado de los cálculos de ventilación natural. Estas son, las infiltraciones de aire.

Las infiltraciones de aire, corresponden a una característica de la envolvente de un recinto y tiene que ver con la hermeticidad de este, es decir, la capacidad de contener el aire interior de la vivienda, y no permitir el intercambio de este con aire exterior a distinta temperatura. En la última década a nivel nacional el esfuerzo en mejorar la hermeticidad de los edificios en Chile ha sido materializado en un proyecto de Establecimiento de Clases de Infiltración Aceptables de Edificios para Chile (CITEC, UBB, 2013). En él, se han involucrado diversas instituciones con el fin de poder normar los criterios de medición de infiltraciones así como a su vez crear herramientas para verificar la conformidad del cumplimiento de esos estándares (eHed, 2015).

Es así como se redacta el anteproyecto de norma NTM 011/3 en el año 2014, como una manera de actualizar la Reglamentación Térmica de la Edificación a nivel nacional, de modo de asegurar un estándar de calidad del aire al interior de las edificaciones.

Todos estos esfuerzos han ido dirigidos a la medición del nivel de hermeticidad de las construcciones, sin embargo y lo que se pretende en este trabajo es poder además, caracterizar de manera detallada las infiltraciones de aire en la vivienda en base a modelos matemáticos multizona que permitan un estudio a cabalidad de estas infiltraciones a través del uso de un programa computacional que incorpora el cálculo de estas y su aporte en la demanda de energía por conceptos de calefacción y/o ventilación en la vivienda.

Visto desde un punto de vista sanitario, las infiltraciones de aire permiten una renovación de aire fresco dentro de la vivienda, por lo que podrían considerarse hasta cierto punto como de efecto positivo. Sin embargo, se debe considerar que las infiltraciones de aire al no estar controladas, no son un sistema eficiente para permitir esta renovación, y por lo tanto se hace necesario cuantificarlas para incorporarlas al estudio del comportamiento de la vivienda.

Objetivos Generales.

Establecer un modelo matemático de simulación energética validado como una manera de estudiar medidas de eficiencia sobre la construcción, de modo de disminuir las cargas térmicas relacionadas a las infiltraciones y que inciden sobre el comportamiento de una vivienda.

Objetivos Específicos.

Realizar modelos de cálculo de las infiltraciones de aire de dos viviendas unifamiliares. Para ello, se utiliza el software de simulación de sistemas térmicos y energéticos TRNSYS.

Validar los resultados del modelo, a través de la realización de ensayos de dilución de contaminantes de manera paralela al modelo, cuyos resultados serán posteriormente comparados.

CAPÍTULO 1. INFILTRACIONES DE AIRE.

1.1 Definición de Infiltraciones de aire.

Las infiltraciones de aire en una vivienda se producen por una diferencia de presiones que actúa sobre alguna abertura en la construcción. Aberturas pueden ser ranuras, orificios, rendijas por donde exista un paso de aire entre dos zonas, ya sean ambas zonas interiores, o entre el interior y el exterior de una vivienda. Ejemplos de esto podemos ver en la figura 1.1, y corresponden a ventanas, rendijas alrededor de las ventanas, rendijas alrededor de instalaciones eléctricas, rendijas en la unión muro- suelo, entre otros. Estas zonas representan las grietas o aberturas de la envolvente de la vivienda, donde el flujo de aire que existe está condicionado por diversos factores, como

- El tamaño y forma de la grieta y/o abertura.
- Las características del flujo a través de la grieta.
- La diferencia de presión a través de la grieta
- La temperatura de la grieta.

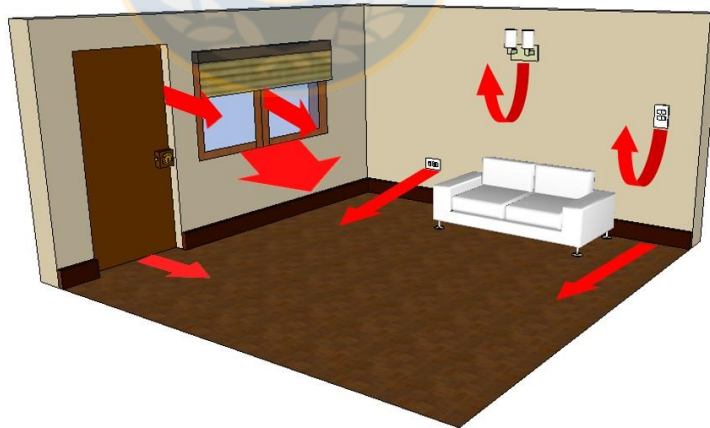


Figura 1.1. Ejemplos de infiltraciones de aire en la vivienda. *Elaboración Propia.*

La mayoría de estas aberturas no han sido creadas intencionalmente, y por lo tanto, corresponden a defectos en la construcción o instalación de componentes de la vivienda. Esta no-intencionalidad implica una característica de descontrol, y es por esta

razón que cuantificar las infiltraciones de aire se hace relevante para determinar el grado de pérdidas térmicas derivadas de las infiltraciones.

1.2 Consecuencias de las Infiltraciones de Aire.

Existen numerosos efectos producidos por no poder controlar las infiltraciones de aire en una vivienda: desde corrientes de aire que afecten al confort de la zona interior de la vivienda, aumento del consumo de energía en calefacción u otros problemas. A continuación se enumeran algunos de ellos.

1.2.1 Efectos en el Confort Térmico y Mayor Consumo Energético.

La principal consecuencia de un alto número de infiltraciones de aire es el incremento en el consumo de energía para calefacción, que radica en la cantidad de calor que se pierde con el flujo de aire a través de las fugas de la envolvente del edificio hacia el exterior. Además y en sentido contrario, el aire frío que entra a la vivienda por estas aperturas también debe ser calentado para mantener una temperatura interior constante, lo que implica a su vez una mayor cantidad de energía utilizada para esto.

Por otra parte, la presencia de un alto nivel de infiltraciones puede generar zonas con un alto movimiento de aire, por lo general, a diferentes temperaturas del resto de la vivienda. Si esta cantidad de aire se encuentra a menor temperatura que el deseado, se transforman en una molestia para el confort de los habitantes de la vivienda, lo que implicaría la necesidad de aumentar la temperatura del recinto mediante el uso de la calefacción, aumentando así también los costos por concepto de consumo de Energía.

1.2.2 Efectos en la Humedad.

El flujo de aire por las infiltraciones acarrea también una cantidad de humedad que influye sobre la calidad del aire interior y también sobre la estructura de la construcción, ya que la acumulación de humedad en el interior de esta, promueve la generación de hongos y moho en las paredes interiores, lo que conlleva a un deterioro de las condiciones internas del recinto y pone en riesgo sanitario a las personas en el interior de él.

1.2.3 Efectos en la Calidad del Aire.

Si bien un mayor ingreso de aire puede resultar en un mejor intercambio del aire fresco en la vivienda, por lo general cuando se diseña una vivienda, este concepto se calcula en las necesidades de ventilación de ella, por lo que la cantidad de aire que ingresa producto de las infiltraciones no inciden de mayor manera a permitir una mejor renovación de aire. Sin embargo, el tener una vivienda con baja hermeticidad puede ser fuente de ingreso de contaminantes que sí afectan a la calidad del aire, como por ejemplo en viviendas ubicadas cerca de zonas industriales.

1.2.4 Efectos Acústicos.

Junto con el flujo de aire, viajan en forma de vibraciones las ondas de sonido. Si una construcción posee un alto nivel de infiltraciones de aire, son esas mismas vías por donde se transporta el sonido, lo que causa “una disminución del nivel de aislación acústica de la envolvente de la construcción” (Madrid, Opazo y Parada, 2012).

1.3 Tipos de Infiltraciones.

Las infiltraciones de aire se producen por la diferencia de presión entre el exterior y el interior de una construcción interactuando sobre alguna apertura. Esta diferencia de presión puede ser producida por el viento, por la diferencia de presión debido a la diferencia de densidades del aire entre el interior y el exterior de la vivienda y por la operación de aparatos de ventilación mecánica.

- a. **Infiltración producida por el viento:** Este tipo de infiltración se crea como efecto de la presión de viento sobre la envolvente de la vivienda. El grado de infiltración en este caso, está relacionado a las características geométricas de la construcción, su grado de exposición al viento (existencia o no de obstáculos que “protejan” la construcción) y la velocidad del viento que incide sobre la vivienda.
- b. **Infiltraciones por efecto de diferencia de presión debido a la diferencia de densidades del aire:** Este tipo de infiltraciones se producen cuando existe una diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el aire del interior de la vivienda, donde a mayor temperatura, menor es la densidad del aire y con ello menor es el peso que ejerce la columna de aire sobre la grieta. Este tipo de infiltración es también conocido como efecto chimenea o Stack (CITEC UBB, 2012).
- c. **Infiltración por sistemas mecánicos de ventilación:** Este tipo de infiltración es producido por la sobrepresión en el caso de un sistema de impulsión de aire o por la depresión producida por un sistema de extracción (CITEC UBB, 2012).

1.4 Flujos de aire a través de una grieta.

Cuando se habla de infiltraciones de aire, se refiere a la entrada de cierta cantidad de aire dentro de la vivienda que es de nuestro interés calcular. En su determinación, este flujo de aire queda expresado por la siguiente expresión

$$M = C \cdot DP^n \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

M	=	Flujo de aire.	[m ³ /h]
DP	=	Diferencia de Presión.	[Pa]
C	=	Coefficiente de Flujo.	[m ³ /h Pa ⁿ]
n	=	Exponente de Flujo	[-]

C y n corresponden a coeficientes experimentales relacionados a la grieta. C es proporcional a la superficie de la abertura y n es proporcional a la forma. Ambos valores son posibles de determinar para cada grieta de forma individual, o bien se puede considerar una zona donde se requiera calcular la cantidad de infiltraciones de aire y determinar estos coeficientes de la construcción completa como conjunto.

Por otra parte, la diferencia de presión se produce por una superposición del efecto del viento sobre la envolvente de la vivienda, y las diferencias de densidades del aire debido a la temperatura.

1.4.1 Diferencia de Presión debido al viento.

El viento al encontrarse con un obstáculo (en este caso la construcción) transforma parte de su energía cinética en energía de presión, quedando entonces la presión en el lado exterior de la pared representado por la siguiente expresión:

$$P = C_p \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} + P_{\text{atmosférica}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

C_p	=	Coeficiente de Presión	[-]
v	=	Velocidad del viento	[m/s]
ρ	=	Densidad del aire	[kg/m ³]

El coeficiente de presión se determina principalmente en base a la relación entre el ángulo de incidencia entre la velocidad del viento y la normal a la pared. La figura 1.2 (Fissore, 2007) muestra la relación entre C_p para paredes verticales y el ángulo de incidencia del viento. El método con que se obtuvo esta gráfica fue promediando distintos resultados referentes a distintas geometrías, por lo que los valores que ahí se muestran representan un promedio de casos.

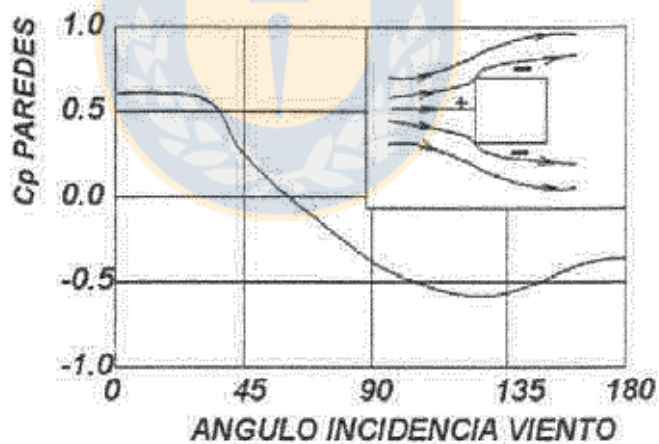


Figura 1.2. Coef. de Presión en función del ángulo de incidencia. *Extraído de Apuntes de Ventilación Industrial, Fissore, 2007*

1.4.2 Diferencia de Presión debido a la diferencia de densidades del aire.

Otro componente en la diferencia de presión existente entre el exterior y el interior de una vivienda hace relación a la diferencia de densidades del aire, que se

produce principalmente debido a la diferencia de temperaturas entre la columna de aire interior y exterior de una construcción. De este modo, la expresión queda definida como

$$DP = g \cdot h \cdot (\rho_0 - \rho_i) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde

h = Diferencia de alturas entre plano de ref. y el orificio considerado [m]

ρ_0 = Densidad del aire en el exterior. [kg/m³]

ρ_i = Densidad del aire en el interior. [kg/m³]

1.5 Modelos matemáticos para flujos de aire en recintos.

1.5.1 Modelo de 1 zona.

Por lo general, los modelos para cálculo de infiltraciones se caracterizan por estudiar el recinto como 1 sola zona, no considerando la existencia de resistencias internas dentro de distintas habitaciones del recinto y considerando a toda la vivienda con una presión interior idéntica, a la que se le asigna un nodo interno único. En la siguiente figura podemos apreciar una representación gráfica de un modelo de 1 zona, con un nodo interno de presión y que se conecta a distintos nodos externos. La conexión se realiza considerando la existencia de obstáculos o resistencias al flujo del aire en la envolvente del recinto, y donde el paso del aire es a través de grandes aberturas o bien por grietas o rendijas en la envolvente.

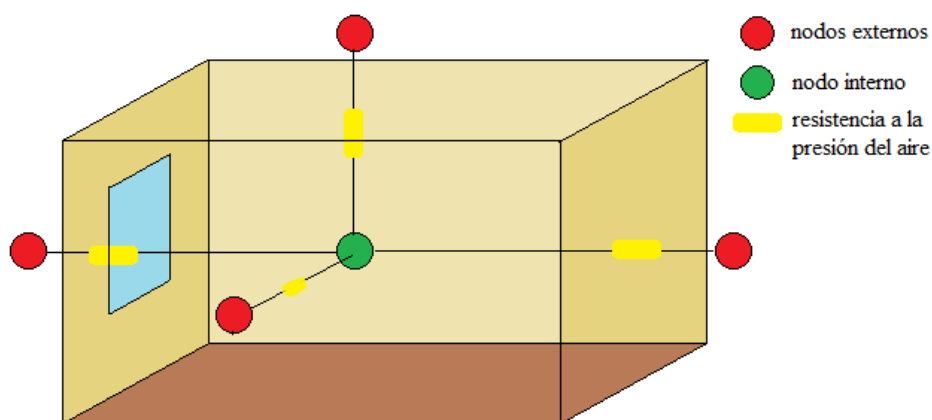


Figura 1.3. Representación gráfica modelo de 1 zona. *Elaboración propia.*

Para poder realizar el cálculo de las infiltraciones de aire, se utiliza información relacionada a las condiciones climáticas al exterior del recinto y datos de condiciones internas de él, así como las características constructivas de la estructura y su envolvente.

Entre los modelos existentes para cálculo de infiltraciones de una vivienda como 1 zona podemos encontrar que muchos de ellos recurren a utilizar las ecuaciones ya definidas en este trabajo (ecuaciones 1, 2 y 3) y que de acuerdo a la información que le entregan al modelo varían en la precisión de sus resultados.

En la recopilación de Odriozola (2008), se presentan dos modelos matemáticos de 1 zona para el cálculo de infiltraciones: El modelo BRE (Building Research Establishment) calcula el aire infiltrado para las condiciones del interior y exterior en función de la permeabilidad de la envolvente, que se determina mediante ensayos Blower-Door. El modelo LBL (Lawrence Berkeley Laboratory) en tanto, para calcular el flujo de aire infiltrado necesita conocer la distribución de las áreas de fugas en las superficies verticales y horizontales. (p. 43-45)

En su texto, Berge (2011), estudia el modelo de estimación de infiltraciones de Sherman, que es una simplificación del modelo LBL. Usando el flujo de aire a 50 [Pa], obtenido por ensayos *Blower Door*, afirma que existe un relación lineal entre ese flujo y

la tasa de infiltración a condiciones reales, donde el valor de la constante dependerá de las condiciones y la localización del recinto estudiado (p. 44).

1.5.2 Modelo multizona.

En este tipo de modelos, sí se consideran distintas zonas dentro de un recinto con diferentes presiones interiores entre ellas. Esto se hace definiendo al recinto en una red de nodos para cada zona, cada una con presión y temperatura uniforme, como se observa en la figura 1.4. Estructuras multizona pueden ser desde viviendas familiares sencillas (con una o más habitaciones) hasta edificios de gran tamaño y con numerosas separaciones. A continuación se muestra un ejemplo de esto, con un recinto de 2 habitaciones.

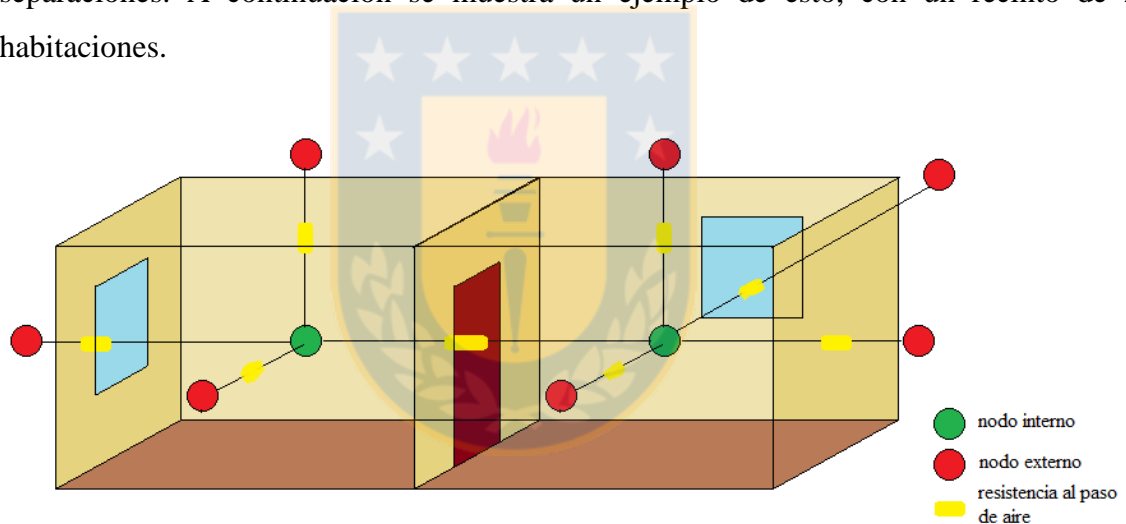


Figura 1.4. Modelo multizona. *Elaboración propia.*

La ventaja de utilizar modelos multizona, además de la posibilidad de simular infiltraciones en grandes edificios, es su habilidad para calcular la interacción del flujo de masa de aire entre las diferentes zonas de una construcción (Feustel y Dieris, 1991, p.3)

Cuando se utiliza este tipo de modelo, se hace necesario estudiar la relación que existe entre dos o más zonas interiores, considerando la existencia de aperturas que conectan 2 zonas internas. Cada zona se trabaja como un modelo de 1 zona, obteniendo

ecuaciones propias y relativas a cada zona; luego se resuelve todo el recinto de manera simultánea, estableciendo conexiones entre nodos adyacentes.

El movimiento de aire entre 2 zonas se da por la diferencia de presión, donde para el orificio entre las 2 zonas conectadas el diferencial de presión se define de acuerdo a la ecuación 4

$$DP = P_{i1} - P_{i2} + g \cdot h \cdot (\rho_2 - \rho_1) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Con respecto a los modelos matemáticos para cálculos de infiltraciones de aire, Feustel y Dieris (1991) ya enumeraban al menos 15 modelos matemáticos diferentes desarrollados alrededor del mundo, y entre ellos menciona a los modelos NRCC, LEAK, STROM, ELA, VENT 1 y 2, BREEZE siendo todos ellos desarrollados en la década de 1970 (p.5). En la actualidad, diversos software se basan en estos modelos para realizar simulaciones, siendo utilizados por ejemplo CONTAM, AIOLOS y COMIS, siendo este último el que nos importa en este trabajo.

1.5.2.1. El modelo COMIS.

Luego de la utilización de modelos de 1 zona para cálculos en recintos de alta complejidad, como grandes edificios, se hizo necesario un avance en el estudio de modelos multizonales. Es así como nace COMIS en un esfuerzo internacional de expertos en el área quienes desarrollaron un modelo que estudia el fenómeno físico causado por el flujo de aire y contaminantes en edificios multizona, elaborando el modelo matemático a través de la incorporación de distintos módulos, que incluyen ecuaciones para diversos casos de aperturas existentes en las paredes que conectan dos zonas, o estas con el exterior.

La ventaja del uso de COMIS, radica en su capacidad de ser usado como un modelo independiente con entradas y salidas, o bien como un módulo de cálculo de infiltraciones de aire para ser incorporado a programas de simulación térmica de

edificios (Feustel, 1998, p.1). La simulación realizada en este trabajo se basa en esta teoría, utilizando datos de presión y temperatura externa, así como interna, y las características de la envolvente del edificio, y cada subdivisión dentro de él, y va inserto en la simulación realizada en el programa TRNSYS a través de la herramienta complementaria TRNFLOW que integra los cálculos de flujo de aire del modelo COMIS, en la simulación energética de TRNSYS.



CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN VIVIENDAS A ESTUDIAR.

Para poder demostrar la aplicabilidad del modelo matemático en la realidad regional, se escogieron viviendas de distintas características ubicadas todas dentro de un marco geográfico local. La primera vivienda corresponde a mediciones realizadas el año 2013 el informe de Título “Análisis Teórico Experimental de las Infiltraciones en viviendas Sociales” (Benitez, 2013), mientras que la segunda vivienda corresponde a mediciones realizadas durante el transcurso de esta tesis. Ambas viviendas están situadas en el área metropolitana del Gran Concepción.

2.1 Vivienda 1.

2.1.1 Descripción de la vivienda.

La primera vivienda, corresponde a una casa de 1 nivel, y consta de 3 zonas internas, compuestas de 1 baño, cocina y sala principal. La fachada principal, donde se encuentra la puerta de acceso principal está orientada hacia el Nor-Oeste, girada en 30° con respecto al Norte, en sentido horario. Posee una segunda puerta de acceso, ubicada en la pared Sur-Oeste de la vivienda. El volumen interno total de la casa es de 46 [m³].



Figura 2.1. Vivienda 1. *Fuente: Benitez, 2013.*

2.1.2 Características de la envolvente.

La envolvente de la casa está fabricada de hormigón y ladrillo. En el contorno existe una aislación de poliestireno, así como también en el cielo de la vivienda. En la figura 2.2 se muestra una vista de la vivienda, con identificación de las zonas interiores, además de las dimensiones generales de esta. Para mayor detalle, ver ANEXO 1.

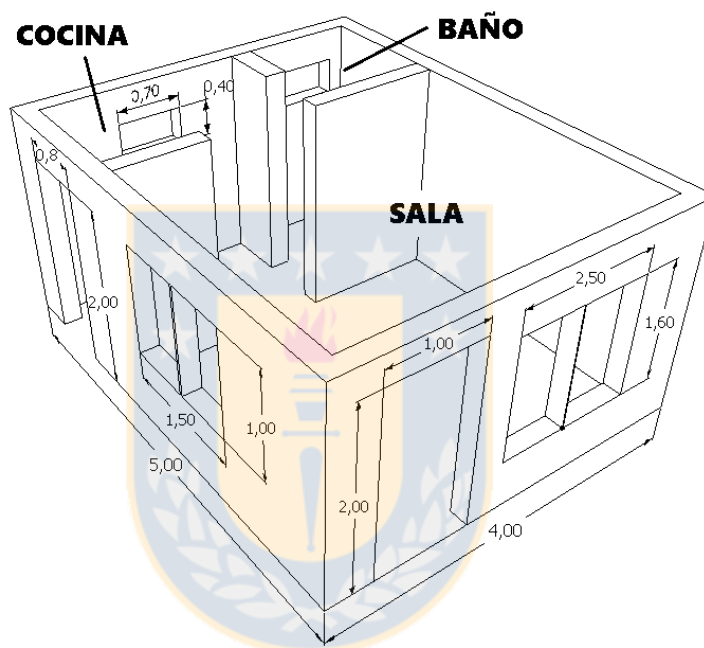


Figura 2.2. Plano característico vivienda 1.

2.2 Vivienda 2.

2.2.1 Descripción de la vivienda.

La vivienda a estudiar, que se muestra en la figura 2.3, es una casa pareada de dos niveles, con un garaje abierto, donde el primer nivel consta de 4 zonas (cocina, baño, 1 habitación y living-comedor). En el área denominada living-comedor, también se encuentra la escalera de acceso al segundo piso que inmediatamente comunica con un área de estar, creando una zona abierta y conectada con el primer piso. Además de esta,

en el segundo nivel se encuentran 3 habitaciones más. El volumen interno de la casa es de 230 [m³].



Figura 2.3. Vivienda 2.

2.2.2. Características de la envolvente.

El primer nivel de la vivienda está construido principalmente de ladrillo, mientras que el segundo está fabricado íntegramente de madera. También considera componentes de aislación, y dado la antigüedad del hogar se desconoce su real estado. Al ser una vivienda que ha sufrido modificaciones debido a ampliaciones, posee parte de la envolvente de distinta antigüedad, misma situación con el techo. En la figura 2.4 se resumen las dimensiones geométricas, y composición de la vivienda, descompuesto por cada zona a estudiar. Para mayor detalle, ver ANEXO 1.

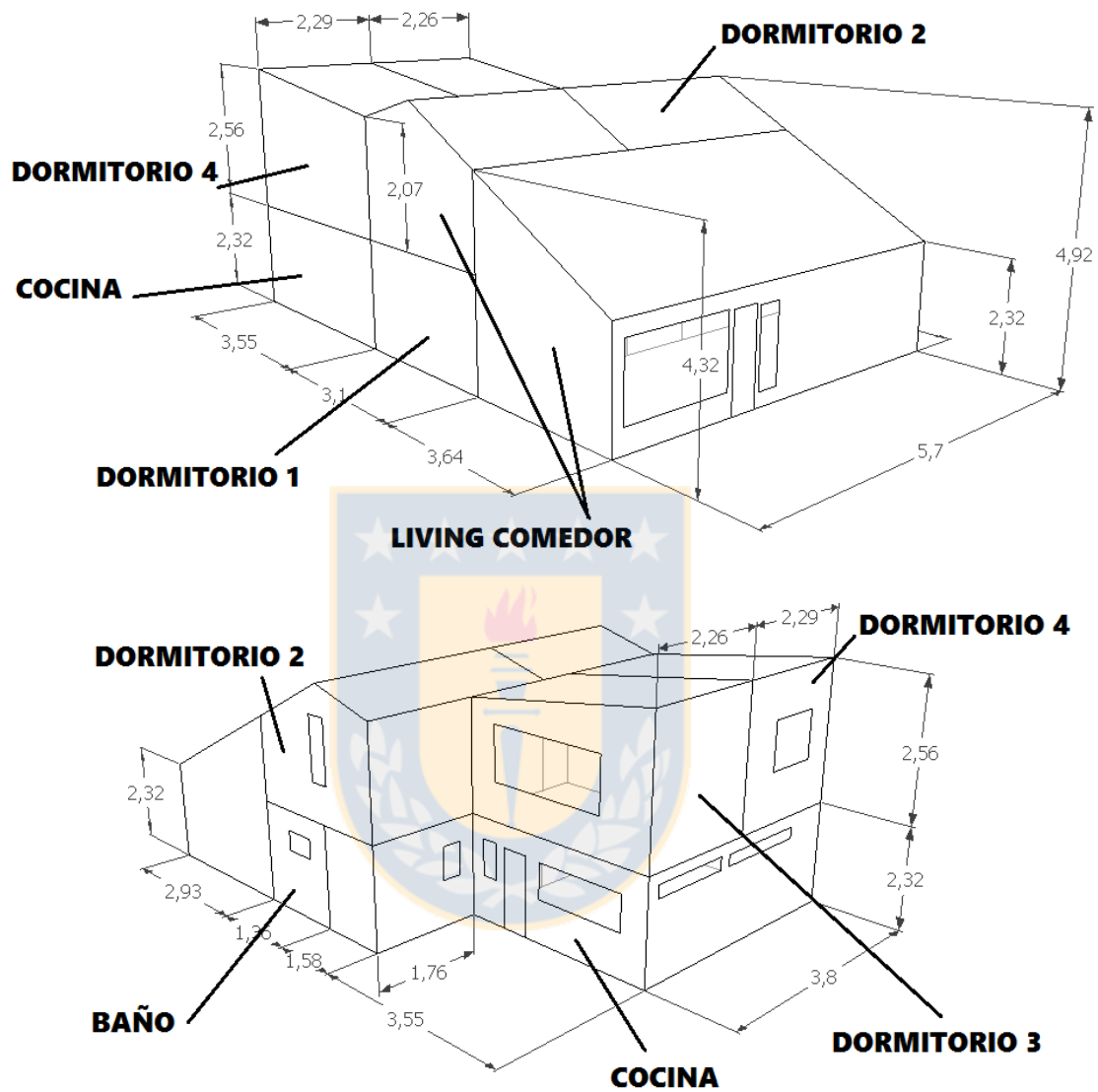


Figura 2.4. Esquema vivienda 2. *Arriba*, fachada frontal. *Abajo*, fachada posterior

Como se puede observar en la figura anterior, la puerta principal se encuentra en la zona denominada “living-comedor”, con su fachada orientada hacia el Oeste. Al ser una casa pareada, por el lado Norte la vivienda se encuentra adosada a otra vivienda, de dimensiones idénticas.

CAPÍTULO 3. ENSAYO DE PRESURIZACIÓN.

3.1 Definición Ensayo de Presurización.

Con el fin de incorporar datos empíricos dentro del modelo matemático desarrollado en TRNSYS para cada vivienda, es necesario realizar pruebas que nos permitan conocer el grado de infiltración de aire que posee cada vivienda, en este caso, esas pruebas corresponden al ensayo de presurización. Esta técnica se basa en medir el flujo de aire necesario que pasa a través de un ventilador para mantener una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior de una vivienda (Ossio, Deherde, 2009).

Esta prueba es conocida también como *Blower Door Test*, ya que la medición se realiza a grandes rasgos, utilizando un ventilador instalado en la puerta del recinto. A través de esta técnica, determinaremos el coeficiente de flujo y el exponente de flujo que se requiere en el modelo a desarrollar basado en la ecuación 1. La prueba nos permite determinar el flujo de aire necesario para compensar el aumento de presión impuesto al recinto, lo que junto a las dimensiones ya conocidas de este nos permitirá calcular los parámetros antes indicados.

3.2 Herramientas.

Para poder efectuar el ensayo en la vivienda es necesario contar con un equipamiento específico. Este consiste, a grandes rasgos, en un ventilador de velocidad variable que se utiliza para establecer la diferencia de presión interior/exterior y un sistema para medir la diferencia de presiones interior/exterior.



Figura 3.1. Equipo para Ensayo de Presurización.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el equipo (que se instala en una puerta al exterior de la vivienda) se compone de 4 elementos.

Panel de tela ajustable: Quien cierra la apertura de la puerta y que posee un agujero donde se instala el ventilador.

Marco ajustable: Que se adapta a las dimensiones del marco de la puerta y que permite un cierre hermético de la vivienda.

Ventilador: Una de las unidades principales del equipo y que permite la creación de las presiones adicionales entre el interior y el exterior de la vivienda.

Medidor digital: Instrumento que permite el control del sistema y donde se muestran los datos de las mediciones.

En particular para el trabajo de esta tesis se ocupará el modelo Retrotec DoorFan Q46, cuyos detalles se entregan y se pueden ver en el ANEXO 2.

3.3 Procedimiento.

Como primer paso en el test de presurización, es necesario establecer una línea base (*Baseline*) en el equipo, lo que se realiza con el controlador o medidor digital para obtener una medición, que se lleva a cabo en el periodo de 2 minutos. Esto permite que se establezca la presión.

Luego, en el controlador, es necesario ingresar el volumen de la vivienda, lo que debe medirse con antelación. A su vez, se necesita establecer un rango de funcionamiento de flujo del ventilador, de modo que el medidor digital pueda obtener mediciones significativas. En este trabajo, se utilizaron los rangos C8 y B dependiendo del volumen de la vivienda medido.

Hecho esto, resta por ingresar en el controlador la depresión deseada, dando inicio al funcionamiento del ventilador. Al ingresar la presión, el ventilador automáticamente tratará de crear la depresión generada. A partir de este momento, se puede realizar la toma de mediciones, registrando los valores que muestra el dispositivo, siendo estos:

- **PrA:** Es la depresión del recinto [Pa]
- **PrB:** Es la presión de operación del ventilador [Pa]
- **Flow:** Es el flujo de aire que circula por el ventilador [cfm]. Este dato es el que nos interesa obtener y el que será ingresado en el programa de simulación.
- **EqLa:** Área equivalente de infiltración, que se calcula del total de fugas que tenga la envolvente de la vivienda. Usualmente es tomada a 10 Pa.
- **EfLa:** Área efectiva de infiltración, que se calcula del tamaño total de fugas de la envolvente. Usualmente es tomada a 4 Pa.
- **AirChg.** Número que define el intercambio de aire por hora en la vivienda.

3.4 Resultados.

Se realizan diversos test en la vivienda, modificando algunas aperturas, ya sea sellándolas o bien en el caso de puertas, cambiando el equipo de puerta, desmontando toda la instalación y rearmándola en la puerta secundaria de la vivienda, para poder identificar y aislar las mayores pérdidas por infiltración. Las tablas 3.1 y 3.3 describen los ensayos realizados para ambas viviendas.

3.4.1 Vivienda 1.

En esta vivienda se realizan cuatro ensayos, los que se describen a continuación. En especial, se pone atención en los ensayos C y D, pues en ellos se realizó un sellado de agujeros presentes en una de las paredes de la vivienda, que debiesen ser fuente de infiltración de aire.

Tabla 3.1. Resumen de test de presurización realizados en vivienda 1.

Test	Características
A	Montaje de equipo en puerta principal
B	Montaje de equipo en puerta trasera
C	Montaje de equipo en puerta trasera, sellado de puerta principal y agujero.
D	Montaje de equipo en puerta delantera, sellado agujero.

Una vez realizados los ensayos, se procede a resumir los resultados de ellos, tal como se aprecia en la tabla siguiente.

Tabla 3.2 Datos obtenidos en el test de presurización vivienda 1.

Test	PrB [Pa]	PrA [Pa]	Flow [cfm]	Q [m ³ /h]	EqLa [in ²]	Ef La [ft ²]	AirChg [ren/h]
A	57,4	-50	604	1026	79,2	0,336	22,35
B	67	-50	686	1165	84,8	0,36	25,32
C	33,8	-50	348	591	61	0,247	12,8
D	54,0	-50	587	997	77,1	0,334	21,6

3.4.2. Vivienda 2.

En el caso de la segunda vivienda se da una situación especial dado que por las dimensiones de las puertas de la vivienda el ensayo sólo pudo ser realizado en la puerta principal. De todas maneras, se realizan distintos ensayos que permitan identificar otras fuentes de infiltración. El test B en particular, se realiza ya que la ventana del dormitorio 2 en la vivienda carece de manilla de cierre y se espera que a causa de esto sea uno de los componentes donde se genera más infiltración de aire.

Tabla 3.3 Resumen de test de presurización realizados en vivienda 2.

Test	Características
A	Montaje de equipo en puerta principal
B	Montaje de equipo en puerta principal, sellado ventana dormitorio 2.
C	Montaje de equipo en puerta principal, sellado ventana y puerta trasera.

Una vez realizados los ensayos, sus resultados, medidos de forma directa, se resumen en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 3.4 Datos obtenidos en el test de presurización vivienda 2

Test	PrB [Pa]	PrA [Pa]	Flow [cfm]	Q [m ³ /h]	EqLa [in ²]	Ef La [ft ²]	AirChg [ren/h]
A	81,9	-50	1585	2692,9	208	0.8825	11,7
B	77,8	-50	1540	2616,5	202,5	0,859	11,4
C	72,4	-50	1490	2531,5	195,5	0,829	10,95



CAPÍTULO 4. ENSAYO DE DILUCIÓN DE CONTAMINANTES.

4.1 Definición Ensayo de Dilución de Contaminantes.

Se ha seleccionado el método del Ensayo de Dilución de Contaminantes como una manera de comparar la información obtenida mediante este método y la simulación realizada en TRNSYS, y poder validar de esta forma los resultados de esta última. Este método consiste en la dispersión de una cantidad de un gas (que hace las veces de contaminante) y que en este trabajo corresponde a dióxido de Carbono producto de la combustión de gas licuado, en un recinto a estudiar, de manera de poder analizar el comportamiento del volumen de gas en la habitación. Para esto es necesario medir la concentración de este y la evolución en el tiempo.

La ejecución de este ensayo, permite realizar distintos tipos de estudios y mediciones sobre la ventilación, como los citados en NTP345 (INHST) entre los que se encuentran:

- Estudiar los movimientos del aire y la dispersión de los contaminantes.
- Medir la eficacia de los extractores de humo.
- Medir el caudal de aire en los conductos.
- Medir la infiltración y renovación del aire existente en un edificio en las condiciones normales de trabajo.

Es en este último punto donde este trabajo tiene interés, de modo de poder determinar las infiltraciones de aire de las viviendas estudiadas.

4.2 Técnicas de medida con gases trazadores.

Existen tres métodos diferentes para evaluar los caudales de aire mediante gases trazadores: el método de la caída de la concentración, el método de la inyección constante y el método de la concentración constante. La selección del método adecuado, está relacionado a las circunstancias que requieran de la utilización de este ensayo. A continuación se muestra un resumen de estos tres métodos.

Tabla 4.1. Métodos de Ensayos de Dilución de Contaminantes.

Método	Caída de la Concentración	Inyección Constante	Concentración Constante
Definición	Se introduce una cantidad de gas, se mezcla con el aire del recinto y se observa la caída de concentración en el tiempo.	Se mantiene una emisión constante de gas contaminante durante todo el ensayo.	Se dosifica el gas contaminante durante el ensayo para mantener una concentración constante.
Uso	Medir velocidad de ventilación, infiltraciones de aire.	Medir velocidad de ventilación, caudal en conductos. Seguimiento de la contaminación	Medir velocidad de ventilación, caudal en conductos. Seguimiento de la contaminación
Equipo	- Fuente Contaminante - Ventilador - Medidor Concentración de Gas.	- Fuente Contaminante - Medidor de Flujo - Ventilador - Medidor Concentración de Gas	- Fuente Contaminante - Medidor de Flujo. - Ventilador. - Medidor Concentración de Gas. - Dosificador.

En particular, para este proyecto, se utiliza el método de la caída de la concentración.

4.3 Método de la caída de la concentración.

Para medir las infiltraciones de aire, se introduce una cantidad conocida de gas “contaminante” en la vivienda, procurando que este y el aire interior se mezclen de manera uniforme en todo el recinto donde se van a realizar las mediciones. Luego de

esto, se procede a medir en intervalos de tiempo la concentración de este contaminante en la vivienda observando su disminución en el tiempo.

Este método está basado en la ecuación del balance de masas, según el cual la variación de la cantidad de trazador presente se obtendrá de la diferencia entre el generado más el introducido y el eliminado: (Benítez, 2013)

$$V \frac{dX}{dt} = M \cdot X_0 + G - M \cdot X_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde

- V = volumen de aire en el recinto [m³]
 X = Concentración de gas trazador en el aire del recinto [mg/ m³]
 t = tiempo [h]
 G = flujo de gas trazador en el recinto [mg/s]
 X₀ = concentración de gas trazador que ingresa al recinto [mg/ m³]
 M = Caudal de aire a través del recinto [m³/ s]

Si se reagrupa la ecuación anterior, tenemos

$$\frac{V}{G - M(X - X_0)} dX = dT$$

Integrando con respecto del tiempo, se tiene que

$$\ln \frac{G - M(X_2 - X_0)}{G - M(X_1 - X_0)} dX = \frac{M}{V} (t_2 - t_1)$$

Donde existe una Concentración de contaminante X_1 en el tiempo t_1 y una concentración X_2 en el tiempo t_2 . Luego, y asumiendo que no existe una fuente contaminante en la vivienda, $G=0$, por lo que al despejar X_2 , se obtiene que

$$X_2 = X_0 + (X_1 - X_0)e^{-\frac{M}{V}(t_2-t_1)}$$

Se desea obtener el flujo de aire que ingresa a la vivienda en función a los gases trazadores, por lo que se despeja M , obteniendo

$$M = \frac{V}{(t_1-t_2)} \ln \frac{(X_2-X_0)}{(X_1-X_0)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

A partir de esta ecuación es posible calcular el número de renovaciones por hora, dividiendo el caudal del aire de entrada por el volumen efectivo de la vivienda.

4.4 Procedimiento.

Para obtener el flujo o caudal de aire, se necesita llevar a cabo el ensayo de dilución, de en este caso CO_2 en la vivienda, cuyas mediciones se realizan con un medidor de partículas de CO_2 . Para detalles del equipo ver ANEXO 3.

En el ensayo, se contamina una vivienda durante un lapso prolongado de tiempo, de manera de que la concentración del contaminante sea alta y permita observar la caída de la concentración en el instrumento en numerosas mediciones.

Para ello, se procura cerrar ventanas y puertas exteriores de la vivienda, de modo que el flujo de aire sea sólo el que se produce por las infiltraciones. Además se limita cualquier fuente contaminante que pueda alterar los resultados, dejando sólo en funcionamiento una fuente contaminante, que en este caso es una estufa a gas, por un período que va a depender del volumen de la vivienda. Luego de realizar este proceso de “contaminación”, se retira la fuente, procediendo a iniciar la etapa de mediciones, que se realizan cada 5 minutos, tiempo suficiente para observar la curva de decrecimiento.

4.5 Resultados.

El primer valor a medir fue la condición inicial de la experiencia, lo que se realiza antes de comenzar el proceso de contaminación del recinto. A continuación se presentan los gráficos para las dos viviendas con los resultados obtenidos en el ensayo de dilución de contaminantes. A su vez, junto a ellos las tablas 4.2 y 4.3 resumen las condiciones externas y los resultados finales de cada ensayo.

4.5.1 Vivienda 1.

La concentración de contaminantes al inicio del ensayo es $X_0 = 455$ [ppm]. El ensayo se realizó por un período de aproximadamente 4 horas, donde el decrecimiento en la concentración de CO_2 se observa en el gráfico de la figura 4.1.

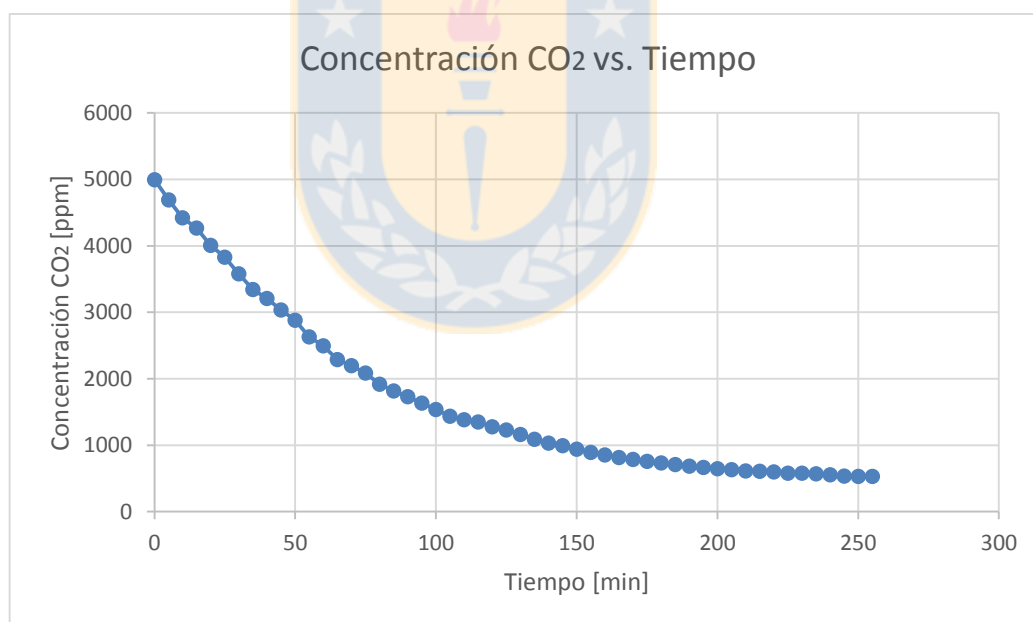


Figura 4.1. Gráfico Concentr. CO₂ v/s tiempo, Ensayo dilución de Cont. Vivienda 1.

Para poder ocupar los resultados de este ensayo y compararlos con los obtenidos en la simulación en TRNSYS es necesario realizar mediciones adyacentes al ensayo durante todo el tiempo en que se realiza este. Estas mediciones correspondientes a velocidad del viento y temperatura del aire exterior, se muestran en la tabla 4.2, donde

además se añaden los resultados del ensayo de dilución de contaminantes para los puntos a simular.

Tabla 4.2. Ensayo de dilución de Contaminantes Vivienda 1.

Medición [min]	T exterior [°C]	V viento [m/s]	X ppm	T interior [°C]	M [m ³ /h]	Ren/hr
30	19,0	1,4	4993	26,5	36,3	0,79
60	18,0	1,4	2496	25,5	53,8	1,17
90	18,1	1,7	1276	24,8	26,8	0,58
120	17,8	1,9	733	24,2	29,2	0,63
150	17,6	1,8	555	23,6	35,3	0,77

De la tabla podemos ver la evolución de las condiciones durante toda la realización del ensayo. Cada 30 minutos se realizaron mediciones que nos permiten puntualizar los datos que se ingresarán al modelo matemático (Temperatura exterior y Velocidad del viento) y además los resultados del ensayo vistos en la última columna de la tabla, serán los que se comparen con lo obtenido de los cálculos en TRNSYS.

4.5.2 Vivienda 2.

La concentración de contaminantes al inicio del ensayo es $X_0 = 534$ [ppm]. El ensayo en la vivienda 2 también se efectuó por alrededor de 4 horas. Los resultados obtenidos se pueden observar en el gráfico de la figura 4.2.

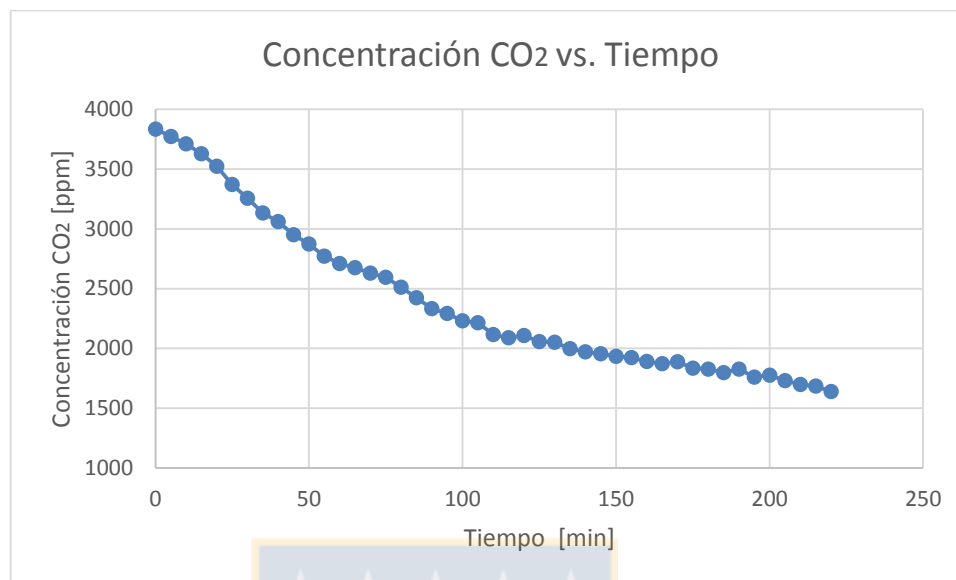


Figura 4.2. Gráfico Concentr. CO₂ v/s tiempo, Ensayo dilución de Cont. Vivienda 2.

Se resumen a continuación en la tabla 4.3 los resultados y datos principales de la experiencia.

Tabla 4.3. Ensayo de dilución de Contaminantes Vivienda 2.

Medición [min]	T exterior [°C]	V viento [m/s]	X ppm	T interior [°C]	M [m ³ /h]	Ren/hr
30	13,8	1,4	3835	15,5	51,48	0,22
60	13,3	1,4	2711	14,6	44,73	0,19
90	12,5	1,9	2108	15,0	89,09	0,38
120	12	1,8	1827	15,1	62,61	0,27

Se realizaron mediciones anexas al ensayo de dilución sobre las condiciones externas al ensayo, de temperatura en el exterior y velocidad del viento cada 30 minutos desde el inicio de la realización del ensayo, mediciones resumidas en la tabla anterior y que serán ocupadas directamente como condiciones meteorológicas en la simulación en TRNSYS, permitiendo de esta manera la comparación de los resultados de renovación de aire en la vivienda del modelo matemático con los resultados obtenidos en este ensayo.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO MODELO DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA CON APORTE DE INFILTRACIONES DE AIRE EN TRNSYS.

5.1 TRNSYS.

TRNSYS es un software de simulación de sistemas térmicos y energéticos en estado transitorio, cuya estructura modular permite una amplia gama de aplicaciones para el programa, que van desde la simulación de sistemas de energía solar (colectores y paneles PV), edificios de bajo consumo de energía, sistemas de ventilación y aire acondicionado, edificios multizona, entre otras. Los proyectos que se realizan con este programa, se construyen conectando componentes de manera gráfica en un ambiente de simulación llamado “*Simulation Studio*”. Cada componente, llamados en el programa “*Type*”, consiste en un modelo matemático con datos de entrada, salida, parámetros, etc.

El proceso de construcción del modelo se resume básicamente en dibujar un diagrama del sistema del problema a resolver, en nuestro caso del estudio del comportamiento térmico de una vivienda. Se escoge el correspondiente *type* en TRNSYS para la entrada de datos climáticos, parámetros pertinentes a la vivienda y de impresión de resultados, para luego conectarlos y de este modo poder ejecutar la simulación.

5.2 Descripción modelo.

Para las dos viviendas estudiadas en este trabajo, la implementación del modelo se hace de manera análoga, utilizando la información existente para cada una de ellas con respecto a geometría, dimensiones, materiales de construcción, localización, condiciones climáticas y los datos recolectados en la ejecución de las pruebas de presurización realizadas.

Las dos viviendas se simularán como proyectos multizona, utilizando cada habitación como un nodo distinto para el modelo. Es importante señalar que para la simulación del modelo de infiltraciones de aire, se utiliza el complemento del software, TRNFlow.

5.3 Aplicación modelo.

De manera resumida se explica a continuación los pasos esenciales para desarrollar en TRNSYS el modelo de simulación para las 2 viviendas estudiadas. El proceso consta del ingreso de las características físicas del recinto, la definición de parámetros en el programa, de la creación de la red de flujo de aire existente, y del diseño del programa en sí.

5.3.1 Modelación en TRNBuild.

El primer paso para la simulación en TRNSYS es definir la geometría y características de la vivienda. Esto se hace en el programa TRNBuild, donde mediante el ingreso de toda la información relativa a la casa en estudio, se crea un archivo .BUI donde toda la información será llevada y utilizada para la simulación.

Siendo nuestra meta, estudiar el aporte de las infiltraciones de aire en el cálculo de las demandas de energía de una vivienda, se requiere calcular el flujo de aire que atraviesa la envolvente de la vivienda. Para ello ocuparemos TRNFlow que es un complemento del programa TRNSYS.

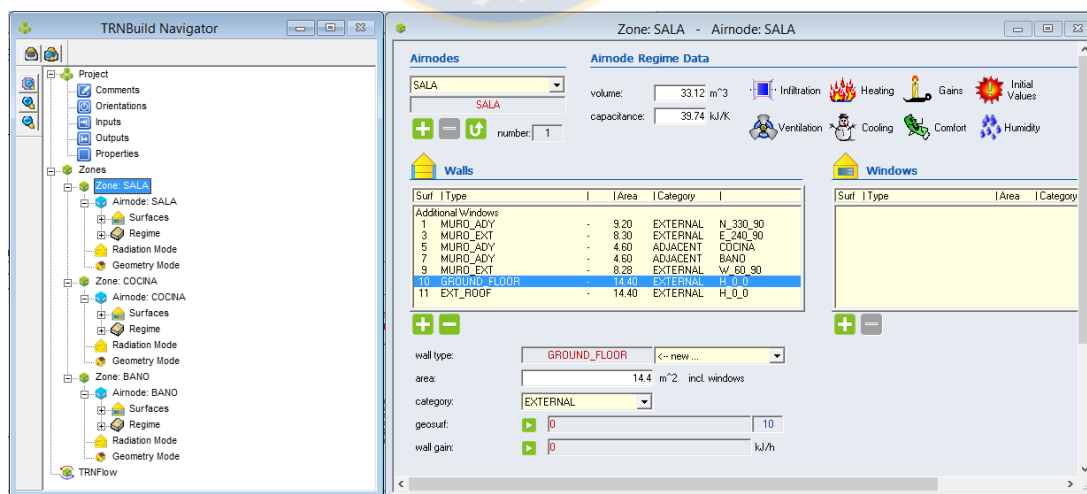


Figura 5.1. Navegador zonas vivienda 1, TRNBuild.

Como se aprecia en la figura, en el navegador de TRNBuild también se encuentra la sección TRNFlow que es donde posteriormente se integra la red de flujo de aire de la vivienda.

5.3.2 Infiltraciones de Aire.

La definición de las fuentes de infiltración de aire en TRNFlow implica 2 pasos, por una parte la creación de una red de flujo que representa la circulación de aire en la vivienda y como segundo paso, el cálculo de las variables a ingresar.

5.3.2.1 Red de Flujo de aire.

La definición de una red que represente la circulación de aire en la vivienda es una característica agregada a TRNSYS que puede ser o no utilizada en la simulación y que corresponde a la decisión de calcular las infiltraciones de aire en la vivienda estudiada. A través de un sistema on/off la información ingresada es utilizada o no en el cálculo. La siguiente figura, muestra el entorno de ingreso de la información.

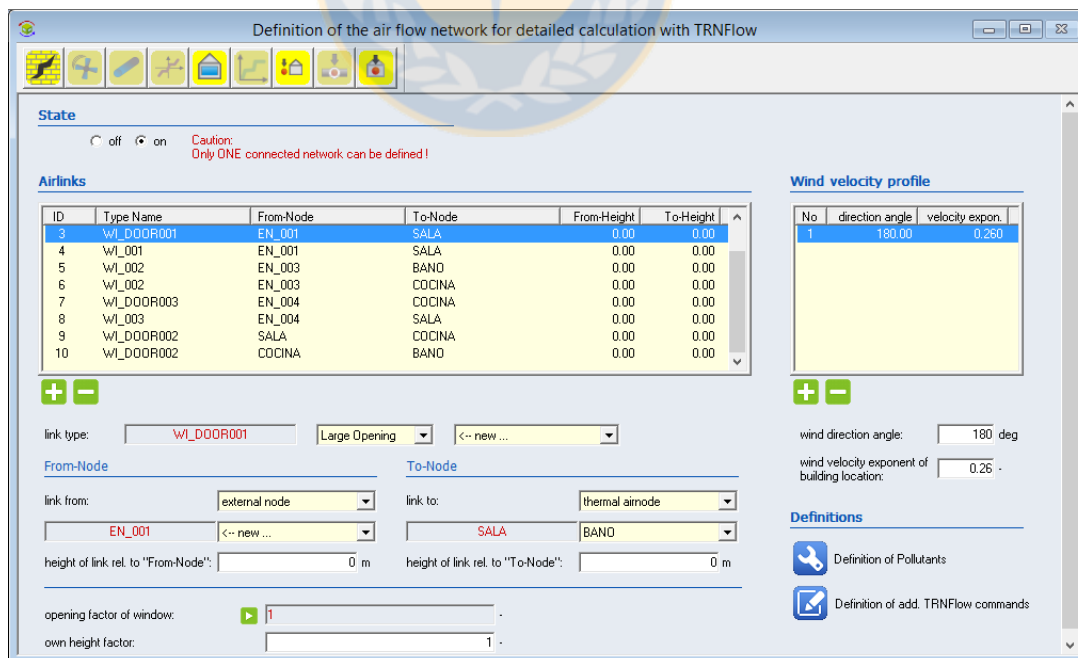


Figura 5.2. Ventana definición red flujo de aire, TRNFLOW.

Para cada vivienda, es necesario definir con anterioridad un modelo de la circulación de aire, ya sea entre el exterior y el interior, como en todas las zonas internas. A continuación se presenta un esquema de planta con el modelo de red de flujo de aire para cada una de las viviendas estudiadas.

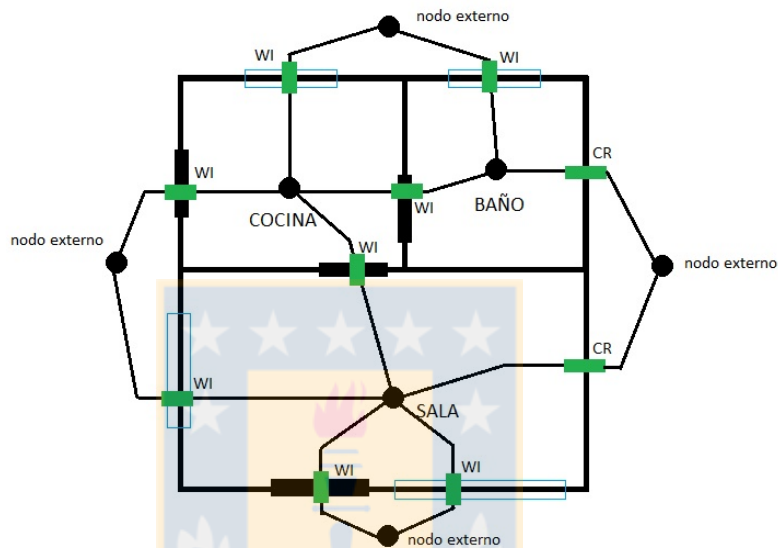


Figura 5.3. Red Flujo de Aire Vivienda 1.

La segunda vivienda, consta de 2 niveles, con la existencia de 1 zona que en el modelo es identificada como LIVING COMEDOR y que comprende un volumen tanto en el primer piso de la vivienda, como así también en el segundo. Esto se ve representado en las figuras 5.4 y 5.5 donde el nodo se repite en ambos niveles.

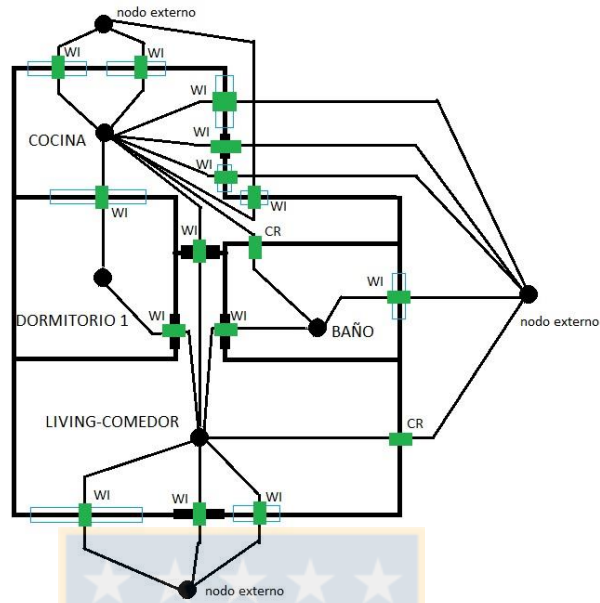


Figura 5.4. Red Flujo de Aire Vivienda 2, primer nivel

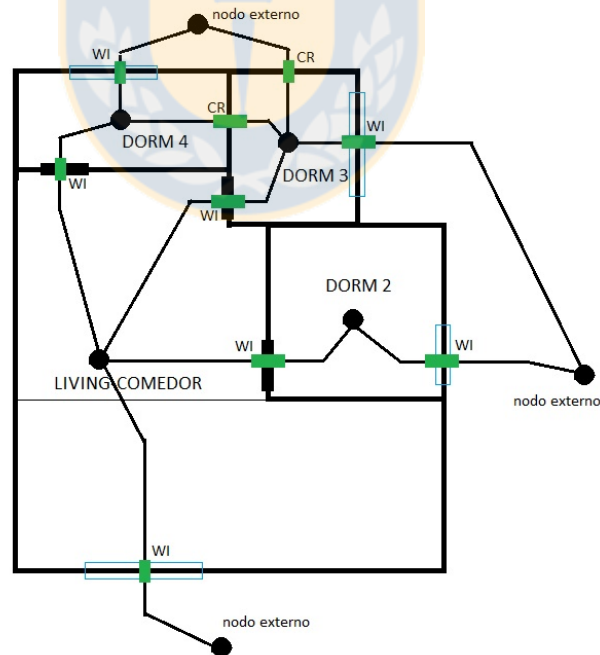


Figura 5.5 Red Flujo de Aire Vivienda 2. 2do nivel.

5.3.2.2 Coeficientes experimentales.

Junto con el diseño de la red, se debe incluir información relativa al tipo de conexión existente entre dos zonas, ya sea por ventanas, puertas, o rendijas en las paredes; información respecto a los nodos ya sean externos o internos, y es aquí donde se ingresan los coeficientes y exponentes de flujo obtenidos a través de la realización del ensayo de presurización descrito en el capítulo 3. Dependiendo del tipo de conexión entre dos nodos, es necesario ingresar información de entrada adicional al modelo. Cada conexión existente en la vivienda, ya sea del tipo de rendijas (CR), o bien en grandes aperturas (WI) como ventanas y/o puertas requiere conocer coeficientes relativos al flujo de aire que circula a través de ellos y que se relacionan a las ecuaciones descritas para el cálculo del flujo de aire por infiltración, y que son pedidos dentro de TRNFlow.

En rendijas o aberturas en la envolvente, el coeficiente de flujo y el exponente de flujo deben ser conocidos e ingresados al modelo. El exponente de flujo varía entre 0,5 para flujos turbulentos y 1,0 para flujo laminar. La mayoría de las aberturas poseen un flujo mixto con un exponente de flujo entre 0,6 y 0,7. (TRNFlow manual, p.21). En el caso de ambas viviendas, se ha utilizado exponentes de 0,65 para todas las aberturas.

Valores para el coeficiente de flujo de aire para componentes del edificio se encuentran normalmente en la literatura. Manuales como ASHRAE lo incluyen en base a promedios de numerosas mediciones experimentales. En este caso, donde se estudia 2 viviendas existentes, y fue posible realizar ensayos de presurización en ambas viviendas, se pueden calcular estos coeficientes de manera experimental utilizando los resultados de estos ensayos.

5.3.3 Información meteorológica.

Junto con el desarrollo del ensayo de dilución de contaminantes, de manera paralela se realizaron mediciones de temperatura y viento en el exterior de la vivienda. Para integrarlos a la simulación se elabora un archivo *.met* para cada una de las viviendas donde se incluye esta información que será leída por el programa TRNSYS (a

través de la incorporación en la simulación del type9a) y que finalmente permitirá realizar la comparación de los resultados obtenidos en la simulación con los datos obtenidos en el ensayo de dilución de contaminantes.

5.3.4 Modelo en TRNSYS.

Finalmente con todos los pasos anteriores desarrollados, estos se incorporan a la simulación energética, conectándolos en el entorno principal de TRNSYS, tal como lo muestra la figura 5.6 donde se aprecia los componentes que utiliza este modelo.



Figura 5.6. Modelo en TRNSYS a utilizar en ambas viviendas estudiadas.

Los elementos que componen el modelo corresponden a:

Type9a: Lector de datos meteorológicos en intervalos de tiempo determinados.

Type16a: Procesador de radiación solar. En base a la radiación solar horizontal que es entregada al type9a, este procesador de datos estima la radiación incidente en todas las superficies de la vivienda a simular.

Type56-TRNFLOW: Este componente permite la modelación del comportamiento térmico de una vivienda (dividida en varias zonas térmicas) incorporando los cálculos de infiltraciones de aire en ella. Toda la información ingresada en el archivo .BUI generado con TRNbuild son leídos por este componente.

Type 65c: Este componente representado por una pantalla y una impresora, entrega los resultados de manera gráfica mostrándolos de manera instantánea cuando se

efectúa la simulación, mientras que a la vez genera un archivo en donde se “imprimen” los resultados.



CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez ejecutada la simulación, y en base a los resultados se realiza la comparación entre las tasas de renovación de aire obtenidas mediante la simulación en TRNSYS y lo obtenido en el Ensayo de Dilución de Contaminantes (EDC).

6.1 Resultados Vivienda 1.

Considerando las 5 mediciones puntuales de las variables climáticas, se realiza la ejecución del programa en TRNSYS simulando las condiciones del ensayo, con lo que se obtiene los resultados que se muestran en la siguiente tabla, y se compara con los resultados obtenidos a través del ensayo de dilución de contaminantes, descrito en el capítulo 4.

Tabla 6.1. Comparación resultados vivienda 1.

Tasa renovación de aire calculada en TRNSYS. [ren/hr]	Tasa renovación de aire Ensayo de Dilución de Cont. [ren/hr]	Diferencia porcentual. [%]
1,36	0,79	41,9
1,27	1,17	7,8
1,37	0,58	57,6
1,47	0,63	57,1
1,52	0,76	50,0

6.1.1 Comparación de Resultados Vivienda 1.

Al analizar los resultados obtenidos en TRNSYS y los del Ensayo de Dilución de Contaminantes (EDC) se obtiene que existe una diferencia entre un 40 – 60 %, a excepción de la segunda medición. Este dato, que escapa de esta tendencia, está relacionado a los resultados del ensayo de Dilución de Contaminantes, tal como se observa en la tabla 6.1, mientras que los resultados obtenidos en TRNSYS, por otra parte, demuestran coherencia entre sí. Como los resultados del ensayo de dilución de contaminantes fueron extraídos de mediciones realizadas con anterioridad y para otro

trabajo, no se puede confrontar a cabalidad la información y se trabajó en base al material existente.

Como también se puede observar en la Tabla 6.1 los resultados obtenidos en TRNSYS duplican el valor obtenido en el EDC, lo que significa una mayor tasa de renovación de aire en la vivienda calculada por el modelo teórico a la esperada. Sin embargo, y tal como se aprecia en la segunda medición la diferencia porcentual decrece significativamente. Esto habla de ciertas irregularidades con los resultados obtenidos en el EDC y que se relacionan con la mezcla de contaminante en el volumen completo de la vivienda y como esto pudo afectar las mediciones realizadas en el ensayo.

Sin embargo, y el factor de mayor relevancia para la diferencia en los resultados en el cálculo de infiltraciones en TRNSYS, es porque el sistema necesita de la determinación de coeficientes de flujo de aire para cada conexión entre nodos. Esto incluye a paredes, ventanas, puertas. En el ensayo de presurización se pudieron identificar ciertos coeficientes de flujo de aire para los componentes de la envolvente, sin embargo para el resto se utilizan coeficientes y exponentes teóricos, lo que implica la generación de una diferencia de los resultados en base a estos. A mayor precisión en poder identificar cada componente de fuga de aire en la envolvente menor será la desviación en los resultados que se obtienen en el modelo teórico.

6.2 Resultados Vivienda 2.

Considerando las 4 mediciones puntuales realizadas cada 60 minutos durante la ejecución del ensayo de dilución de contaminantes, descritas en el capítulo 4, se realiza la ejecución del programa en TRNSYS simulando las condiciones del ensayo, con lo que se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.2. Comparación resultados vivienda 2.

Tasa renovación de aire calculada en TRNSYS. [ren/hr]	Tasa renovación de aire Ensayo de Dilución de Cont. [ren/hr]	Diferencia porcentual. [%]
0,28	0,22	21,4
0,23	0,19	17,4
0,29	0,38	31,0
0,34	0,27	20,1

6.2.1 Comparación de Resultados Vivienda 2.

De la tabla 6.2 se puede observar una diferencia porcentual promedio de 22,5%. A diferencia de la primera vivienda aquí se conserva una coherencia entre ambos ensayos que se mantiene en todas las mediciones. Los resultados siguen siendo mayores en el modelo teórico en comparación a los resultados del ensayo de dilución de contaminantes, lo que se explica al igual que en la vivienda anterior, por la utilización de coeficientes teóricos en partes del programa, junto con los obtenidos mediante el ensayo de presurización. Como se mencionó en el capítulo 3, dada las dimensiones de las puertas exteriores de la vivienda, sólo se pudo realizar el ensayo de presurización en una de las dos puertas que posee la vivienda, lo que impide calcular experimentalmente el coeficiente de flujo para una de las dos puertas. En este caso, se utilizaron datos teóricos recomendados por el mismo programa TRNSYS y que pueden haber resultado en una de las fuentes que generan esa diferencia porcentual en los resultados.

Una mejora en este sentido tiene relación con poder identificar de mejor manera las fugas de aire en la envolvente, de modo de que el ensayo de presurización pueda

representar de modo más preciso a cada una de las fuentes de infiltración de aire. Mientras más completo sea el ensayo de presurización, más preciso serán los datos que se ingresan al programa y por consiguiente los resultados de la simulación.

6.3 Fuentes de Error.

La comparación de los resultados obtenidos en el modelo teórico se realiza en base a los resultados del ensayo de dilución de contaminantes. Este también acarrea sus propios niveles de error que están relacionados por una parte al instrumental de medición y por otra parte al procedimiento de medición. Las mediciones se realizan de forma estática, en un punto fijo de la vivienda, y asume una composición uniforme del gas contaminante en el volumen completo de esta. Asegurar esto requiere de poder generar una mezcla correcta del aire al interior de la vivienda con el contaminante inyectado lo que dada las condiciones, al momento de realizar las mediciones afecta a los resultados.

Otra de las razones de porque se presenta el nivel de error en los resultados, tiene relación con el desconocimiento real del estado de los materiales de la vivienda. Ambas viviendas estudiadas son construcciones antiguas, o incluso, en la segunda vivienda estudiada, dentro de la misma construcción existen zonas de distinta edad, ya sea por ampliación, reparación u otro motivo. El desconocimiento del estado de los materiales constructivos, y de los componentes de la vivienda tales como cierres de ventana, puede incurrir en una diferencia de resultados entre la realidad y los obtenidos en la simulación y es a partir de esto que se puede concluir que mejores resultados se obtendrán en construcciones nuevas, donde se cuente con información como la memoria de materiales, o bien en construcciones antiguas pero donde sí se tengan detalles a cabalidad de su envolvente.

En particular en el caso de la vivienda 1, al trabajar con información obtenida de un trabajo anterior, no se pudo contar con la total geometría de la vivienda, lo que

implicó que algunas mediciones fueron estimadas de acuerdo a lo posible de observar. Esto acarrea una fuente de error que se puede sumar a lo observado en los resultados.



CONCLUSIONES.

- A través del trabajo se establece la utilización de un modelo matemático de cálculo de infiltraciones de aire que se incluye en una simulación térmica y energética de una vivienda a través del programa TRNSYS. En vista a los resultados, y a la diferencia obtenida para su validación, se puede afirmar que en la medida de poder contar con la mayor información posible acerca de la vivienda en estudio, el programa incide de forma positiva al estudio del comportamiento de la vivienda, pudiendo así disminuir las cargas térmicas relacionadas a las infiltraciones, una vez que con el uso de TRNFlow estas pudieron ser cuantificadas.
- Si bien el uso de un modelo multizona para el cálculo de infiltraciones adquiere relevancia para grandes construcciones (como recintos industriales o edificios), para viviendas unifamiliares es necesario evaluar su idoneidad, toda vez que su utilización requiere contar con una mayor cantidad de información en comparación con modelos de 1 zona, siendo tal vez los resultados conseguidos no muy diferentes entre sí. Esto, teniendo en cuenta que se trata de construcciones donde todas sus zonas interiores no poseen grandes diferencias de comportamiento térmico. De no ser así, será apropiado y preciso usar modelos multizona que permitan estudiar la interacción del flujo de masa de aire entre las zonas de una construcción.
- La utilización del equipo Blower Door Test para el ensayo de presurización, está orientada en la actualidad como método de medición para la acreditación de un nivel máximo de infiltraciones en la envolvente de una construcción. Las normas técnicas actuales así lo establecen y bajo ese criterio se aprueban la calidad del aire al interior de una vivienda. Sin embargo en lo que concierne a este trabajo se utilizó como herramienta para obtener datos empíricos que ingresar al modelo teórico de cálculo de infiltraciones. Definir una metodología detallada para la

realización de este ensayo permite traspasar de manera precisa las condiciones reales de la envolvente de la vivienda al modelo y de este manera identificar y calcular las infiltraciones de aire que existen en ella.

- Si bien el programa permite la simulación del comportamiento térmico de la vivienda incluyendo el aporte de las infiltraciones de aire en las pérdidas energéticas, se hace necesario un gran nivel de información que debe ser levantada desde la construcción. Esto es posible cuando la simulación se realiza en construcciones nuevas, ya que por lo general se dificulta conocer a cabalidad los materiales constructivos y su estado actual en viviendas antiguas, lo que afectará a los resultados de la simulación tal como sucedió en este trabajo.



Bibliografía.

[01] Benitez, M. (2013). *Análisis Teórico Experimental de las Infiltraciones en Viviendas Sociales*. Memoria de Título, Ingeniería Civil Mecánica, Universidad de Concepción.

[02] Berge, A. (2011) *Analysis of Methods to Calculate Air Infiltration for Use in Energy Calculations*. Tesis de Grado, Master en Ciencias, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suecia.

[03] Campaña, C (2014) *Estudio de Optimización Energética de una Vivienda Unifamiliar ubicada en La Eliana mediante Simulación Transitoria*. Trabajo de Fin de Grado, Ingeniería en Tecnologías Industriales, Universitat Politècnica de València.

[04] CITEC UBB. (2013, Junio) Establecimiento de Clases de Infiltración Aceptables de Edificios para Chile. *SUSTENTABIT* [en línea], n°17. Recuperado de <http://www.sustentabit.cl/sustentabit/Uploads/17/36181543369068114926-29.pdf>

[05] CITEC UBB. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. Santiago.

[06] Contreras, J. (1994). *Validación de los Modelos de Cálculo de Infiltración con mediciones en vivienda prototipo*. Memoria de Título, Ingeniería Civil Mecánica, Universidad de Concepción.

[07] Deboo, O. y Bertrand E. (2013-2014). *Passive house standard in a warm climate. Analysis of closures with tests in a university building. Passive house modelling with advanced computer tools*. Tesis de Grado, Master en Ciencias en Ingeniería en Tecnologías de la Construcción. Universidad Politécnica de Valencia.

[08] Documentación TRNSYS 17. (2012) Universidad de Wisconsin – Madison.

[09] eHED. Evaluación de Hermeticidad en Diseño (2015) CITEC UBB – Concepción. Chile. <http://www.ehed.cl>

- [10] Fissore, A. (2007). *Ventilación Natural: Ventilación Industrial*. (Apuntes de clase Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad de Concepción, Concepción, Chile)
- [11] Fissore, A. [afissore@udec.cl]. *Diseño y Cálculo de Ventilación Natural en Construcciones*. 1998.
- [12] Feustel, H. (1998) *COMIS – An International Multizone Air-Flow and Contaminant Transport Model*. Recuperado de <http://epb.lbl.gov/publications/pdf/lbnl-42182.pdf>
- [13] Feustel, H y Dieris, J. (1991) *A survey of Air Flow Models for Multizone Structures*. Recuperado del sitio Web del US Dept of Energy, Office of Scientific and Technical Information (OSTI). Recuperado de <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5065105-bpDOJv/>
- [14] González, G. y Hope, J. (2009) *Estudio de Pérdidas Energéticas por Infiltración de Aire en Viviendas, a través del Blower Door Test*. Trabajo de Título, Ingeniería en Construcción, Universidad de la Frontera, Temuco.
- [15] INSHT. NTP345: “*El control de la ventilación mediante gases trazadores*”, en http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_345.pdf
- [16] Madrid, Opazo y Parada. (2012). “*Impacto de las infiltraciones de aire en el desempeño energético y térmico de las viviendas*”. Recuperado de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=63&edi=3&xit=impacto-de-las-infiltraciones-de-aire-en-el-desempeno-energetico-y-termico-de-las-viviendas>
- [17] Odriozola Maritorena, Moises. (2008). “*Cálculo y Medida de Infiltraciones de Aire en Edificios*”.

- [18] Ossio, F. y De Herde, A. (2012). “*Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile*”. Revista de la Construcción 11:54-63.
- [19] Rojo, M. (2009, marzo). *BlowerDoor. Test de Estanqueidad en Edificios. S.LOW ENERGY* [en línea]. Recuperado en http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=470&Itemid=50
- [20] SERVIU. Anteproyecto de Norma NTM 011/3 2014. Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. *Extraído de* http://xi.serviu.cl/vivienda/ANEXOS%20CONCURSO/NTM%2011_3.pdf
- [21] Vásquez, L. (2012) *Estudio Térmico de un Edificio Vidriado ubicado en la Ciudad de México y Evaluación de su Habitabilidad para el Confort*. Tesis de Grado, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, CENIDET, México.
- [22] Weber, A., Koschenz, M., Holst, S. y Hiller, M. *TRNFLOW: Integration of COMIS into TRNSYS TYPE 56*. EMPA, Dubendorf.

ANEXO **1**

DESCRIPCIÓN VIVIENDAS A ESTUDIAR.



Características vivienda 1.

La vivienda 1 corresponde a mediciones realizadas para la presentación de la memoria de título “Análisis Teórico Experimental de las infiltraciones en viviendas sociales” de autoría de Miguel Benitez Avendaño, 2013.

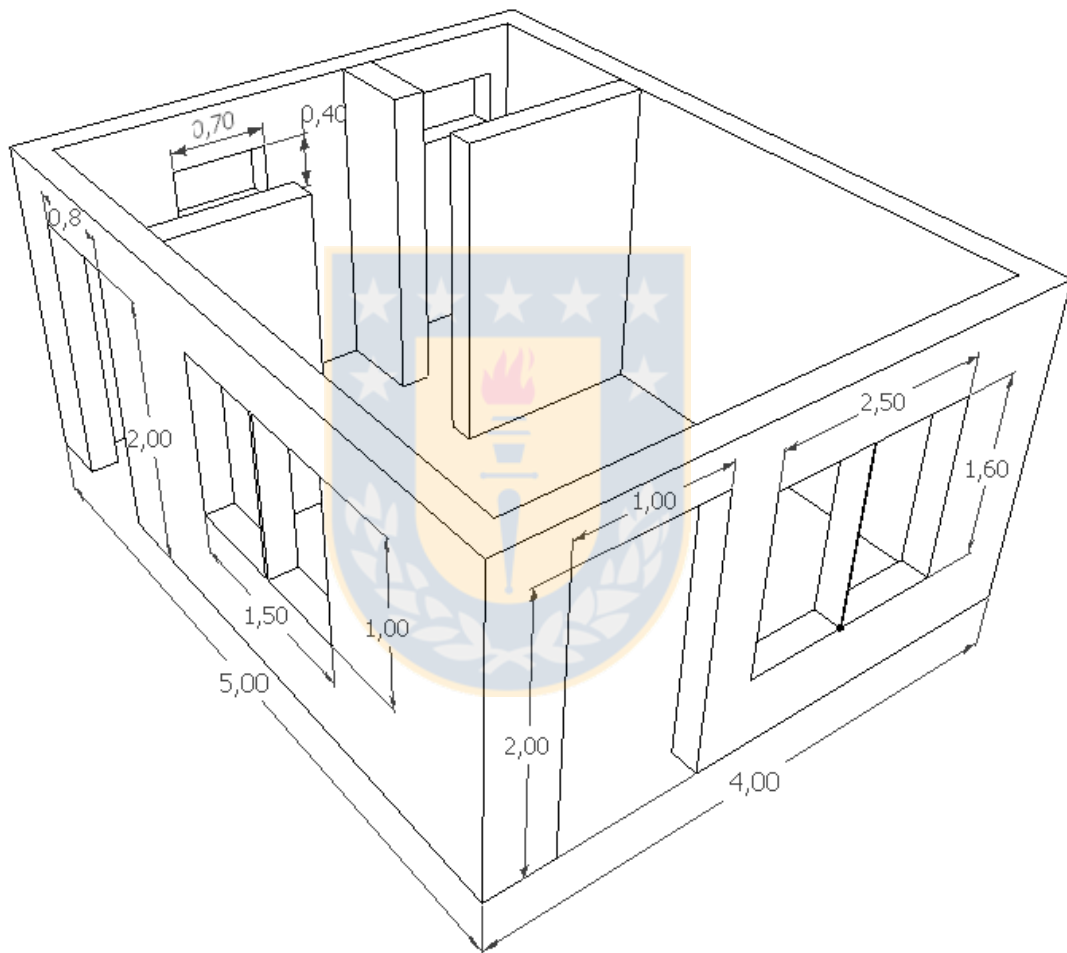


Figura 1. Plano característico vivienda 1.

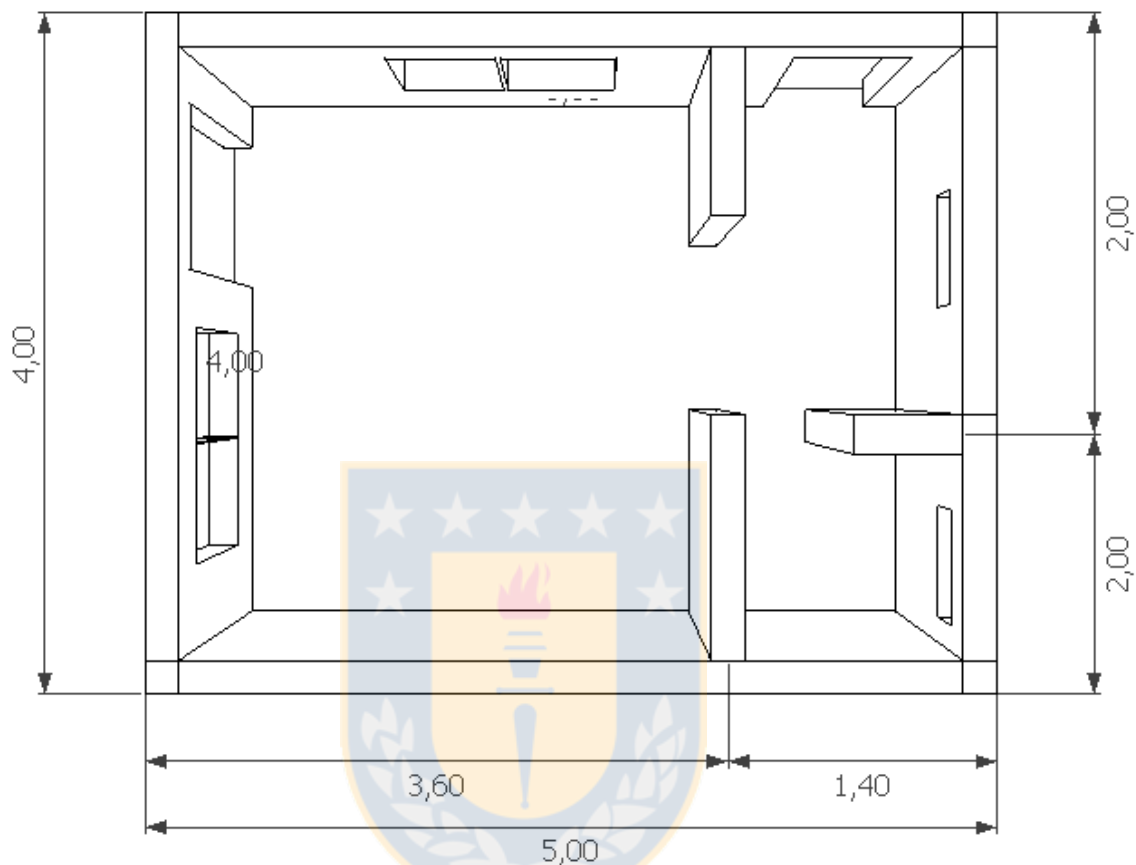


Figura 2. Vista Planta vivienda 1.

En la siguiente tabla, se especifican los elementos vidriados que componen la vivienda.

Tabla 1. Elementos Vidriados Vivienda 1.

Componente	Tipo	Material	Área [m ²]
Ventana SALA	Fija	Vidrio y marco de aluminio.	4,0
Ventana 2 SALA	Corrediza	Vidrio y marco de aluminio.	1,5
Ventana COCINA	Corrediza	Vidrio y marco de aluminio	0,28
Ventana BAÑO	Corrediza	Vidrio y marco de aluminio	0,28

Características vivienda 2.

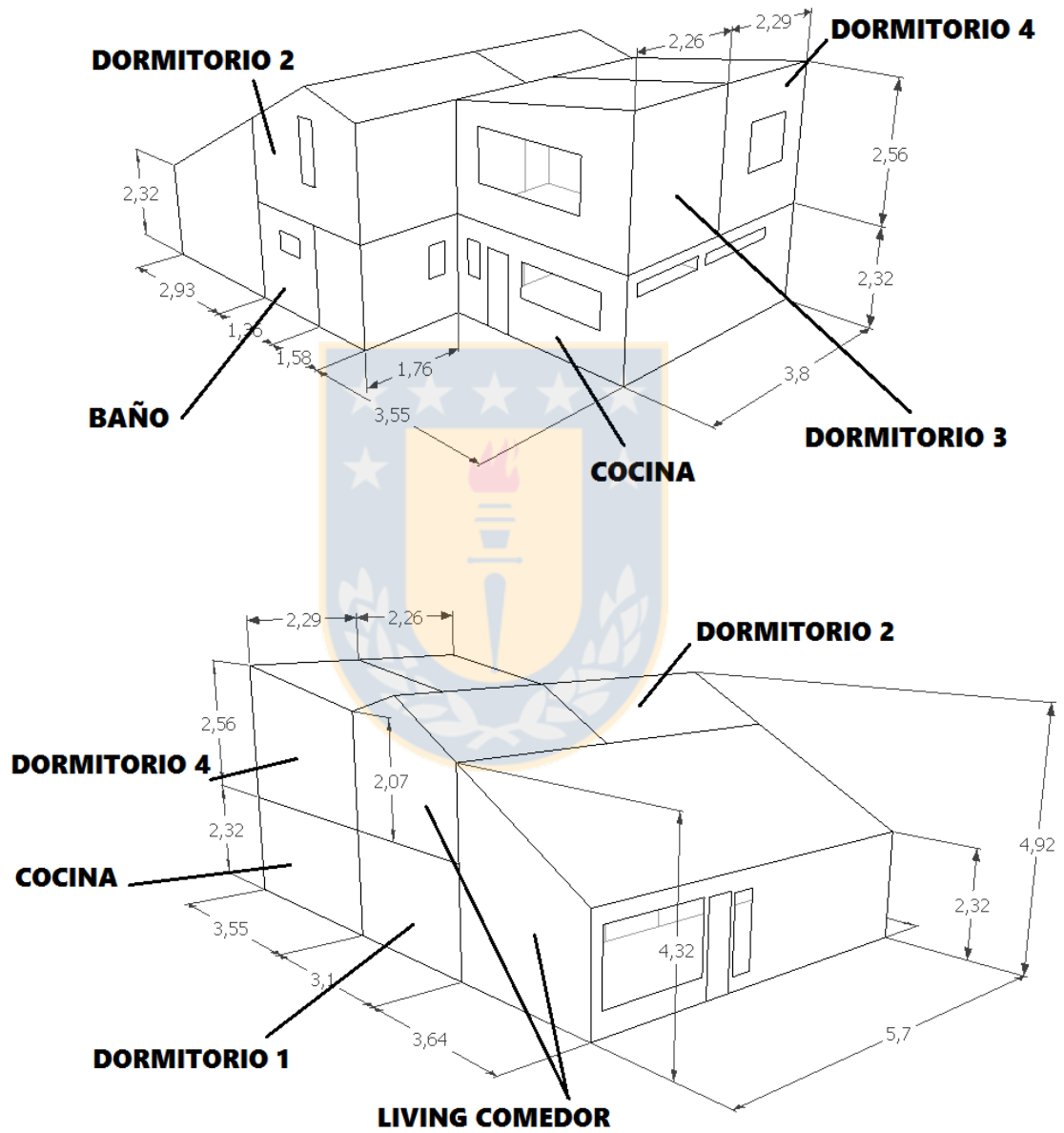


Figura 2. Vivienda 2.

En la siguiente tabla, se especifican los elementos vidriados que componen la vivienda.

Tabla 2. Elementos vidriados Vivienda 2.

Componente	Tipo	Material	Área [m ²]
Ventana Living - Comedor	Fija	Vidrio Simple c/marco de fierro.	0,87
Ventana Living - Comedor	Fija	Vidrio Simple c/marco de fierro.	3,47
Ventana baño	Corrediza	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	0,32
Ventana Cocina	Abatible	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	0,38
Ventana Cocina	Corrediza	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	2,14
Ventana Cocina	Fija	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	0,32
Ventana Cocina	Fija	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	0,44
Ventana Cocina	Fija	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	0,44
Ventana Dormitorio 1	Fija	Vidrio Simple c/marco de fierro.	1,35
Ventana Dormitorio 2	Abatible	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	1,35
Ventana Dormitorio 3	Corrediza	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	2,03
Ventana Dormitorio 4	Corrediza	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	1,12
Ventana Techo	Fija	Vidrio Simple c/marco de aluminio.	1,98

Orientación.

Cuando se crea un archivo en TRNBuild el primer requisito es definir orientaciones que serán usadas en el modelo. Se agregan una a una, por cada orientación necesaria que posea uno de las fachadas, techos y piso de la vivienda que serán definidos. La siguiente tabla resume las orientaciones utilizadas para cada una de las viviendas.

Tabla 3. Orientaciones definidas en TRNSYS.

Vivienda 1			Vivienda 2		
	Acimut	Inclinación		Acimut	Inclinación
Piso	0	0	Piso	0	0
Pared NO	60	90	Pared N	0	90
Pared SO	150	90	Pared O	90	90
Pared SE	240	90	Pared S	180	90
Pared NE	330	90	Pared E	270	90
Techo SO	150	30	Techo O	90	30
Techo NE	330	30	Techo E	270	18
			Techo O	90	10

Zonas.

En la ventana principal de TRNBuild se define el número de zonas que compone la vivienda pudiendo añadir nuevas zonas, las cuales deben ser descritas como se observa en la figura 3, ingresando dimensión, orientación, y composición (grosor y materiales) de cada muro, techo y piso que conforma la zona. Además se establece la conexión entre zonas, ya sea de adyacencia entre dos zonas internas a través de una pared en común, o bien con el exterior, cuando sea un muro de la envolvente. Se agregan también, la definición de elementos vidriados de cada muro.

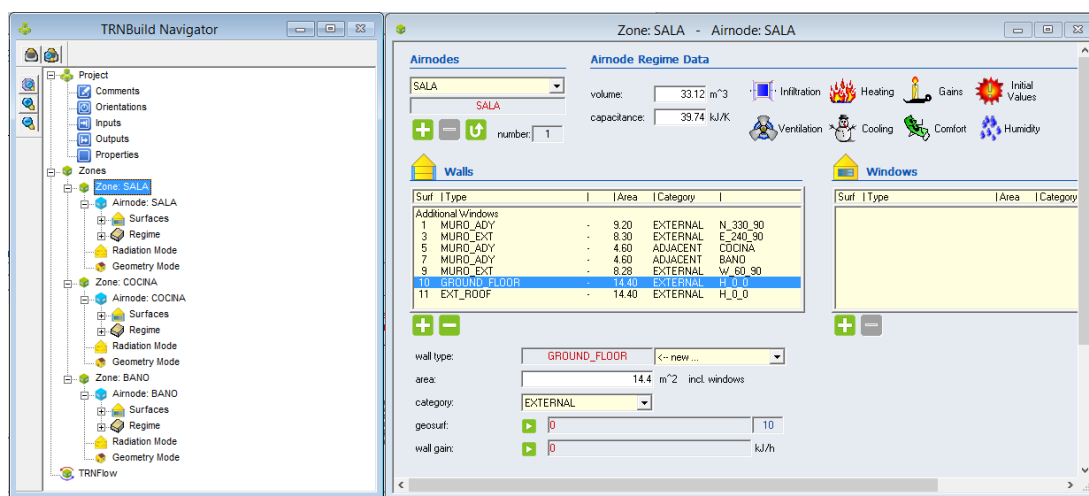


Figura 3. Ventana zonas vivienda 1, TRNBuild.

En este caso, las viviendas se dividieron de acuerdo a la información recolectada en el capítulo 2 del trabajo, creando en TRNSYS cada zona térmica e identificándola con un nombre único, los que se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Definición zonas térmicas para ambas viviendas.

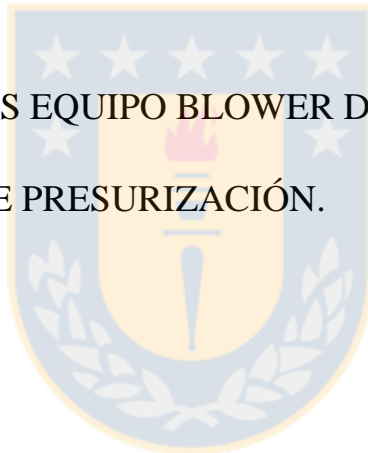
Vivienda 1	Vivienda 2
SALA	LIVING_COMEDOR
COCINA	BATHROOM
BANO	DORMITORIO1
	DORMITORIO2
	DORMITORIO3
	DORMITORIO4
	COCINA

Luego, se deben agregar piso, techo y todos los muros, que definen el cerramiento para cada zona. Se solicita el área de cada muro, y su constitución, información que se obtiene de los planos de las viviendas, y de la información recabada con respecto a la caracterización de sus muros (materiales, orientación, presencia de ventanas).

ANEXO 2

ESPECIFICACIONES EQUIPO BLOWER DOOR TEST.

RESUMEN TEST DE PRESURIZACIÓN.



Retrotec Model Q46 Automated Blower-Door

Quality and accuracy with Automatic Pressure & Flow Control



Retrotec Model Q46 consists of a DM-2, a 2200 Fan and a cloth door panel. Many fan case options to choose from.



Aluminum Frame and Cloth

- Door Panel for 30 to 42 inch (xx to xx cm) wide doorways.
- With Case

The Q46 is a commercial quality automated blower-door. Use for super tight to super leaky houses, small commercial buildings or enclosures with 9 ft² (0.8 m²) of leakage or less.



DM-2A Automatic Micro-manometer

- Controls pressure or flow
- Results without a computer!
 - flow at any pressure, CFM50
 - air-changes / hour
 - leakage area, ELA
 - air-flow / area



2200 Automatic Calibrated Fan

- computer controller built in
- 7 calibrated flow ranges for leakage measurement of super tight to super leaky buildings
- Available in 110 and 240 Volts
- Strongest fan housing made

Retrotec Model Q46 Specifications

Fan Flow (accuracy +/- 5%, +/- 3% with Auto-Correct in Retrotec software)

	CFM	Liters/s	m ³ /h
Maximum Flow in Free Air	6,300	2,973	10,705
Maximum Flow at 50 Pascal test pressure	5,600	2,643	9,514
Minimum Flow on Range Configuration C1 at 10 Pa	38	18	65

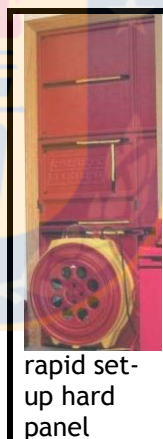
Dimensions	inches	cm	inches	cm	
Fan height	26	66	Fan Depth	9.5	24.1
Fan Inlet diameter	22	56	Panel height	76.5 to 87	194 to 221
Panel Case (included)	31 x 30 x 7	77 x 76 x 18	Panel width	28.5 to 41.5	72.4 to 105.4
Fan weight	34 lb.	15.4 kg.	Fan Motor	0.75 hp, 9.8 amps at 120 V 4.5 amps at 240 Volts	
Panel weight	21.5 lb.	9.8kg.			

Calibration meets:	Canadian CGSB-149.1-2002 & SuperE, USA ASTM E 779 - 03, European EN 13829 & CEN, UK TM-23 Energy Standards, Rain Penetration Standards. NFPA 2001- 01, ISO 14520 and UBC-905 fire standards.
--------------------	--

Specifications are subject to change without notice. Infiltrometer is a registered trademark of Retrotec.

See literature on gauges, fans, software, accessories and panels for additional information and options.

Other Infiltrometer™ products from Retrotec



Available from:-

BSRIA Instrument Solutions

Tel No. 01344 459314

www.bis.fm

E-mail sales@bis.fm

Descripción Prueba de Presurización.

Como una manera de poder determinar coeficientes de flujo en toda la envolvente de la vivienda se realizan diferentes test de presurización, intentando identificar y relacionar coeficientes para aberturas específicas o bien para un conjunto de estas. Para cada una de las dos viviendas en estudio se realizaron los siguiente test.

Resumen de test de presurización realizados en vivienda 1.

Test	Características
A	Montaje de equipo en puerta principal
B	Montaje de equipo en puerta trasera
C	Montaje de equipo en puerta trasera, sellado de puerta principal y agujero.
D	Montaje de equipo en puerta delantera, sellado agujero.

El Test A contempla el flujo de aire que ingresa por cada orificio de la vivienda salvo la puerta principal. Esto debido a que se realiza el montaje del equipo precisamente en esta puerta tal como lo muestra la siguiente imagen.



Para aislar y poder identificar el flujo de aire y coeficiente de flujo de la puerta principal se realiza el test B, donde se sella la puerta trasera de la vivienda con la estructura metálica y repetir el procedimiento anterior, mostrado en la siguiente imagen.



El test C consiste en montar el equipo de presurización en la puerta trasera y sellar la puerta principal. Además se procede a sellar un agujero de gran tamaño. Ambas cosas se muestran a continuación.



Por último, el test D consiste en mantener el sellado del agujero y montar el equipo en la entrada principal.

Tabla 2. Resumen de test de presurización realizados.

Test	Características
A	Montaje de equipo en puerta principal
B	Montaje de equipo en puerta principal, sellado ventana dormitorio 2.
C	Montaje de equipo en puerta principal, sellado ventana y puerta trasera.

Para la segunda vivienda en estudio se realizan 3 test, siendo el primero denominado Test A el que se realiza una vez montado el equipo Blower Door Test en la puerta principal.



Dentro de las posibilidades de realización del test, dada las condiciones de la vivienda sólo se procede a desarrollar los test en la puerta principal. Sin embargo, y dado a la existencia de una ventana en la vivienda con un defectuoso sistema de cierre, se procede a sellar esa ventana, lo que se aprecia en la siguiente imagen.



El test C consiste en junto con el sellado de la ventana mostrada anteriormente, se suma el sellado de la puerta trasera de la vivienda.

ANEXO 3

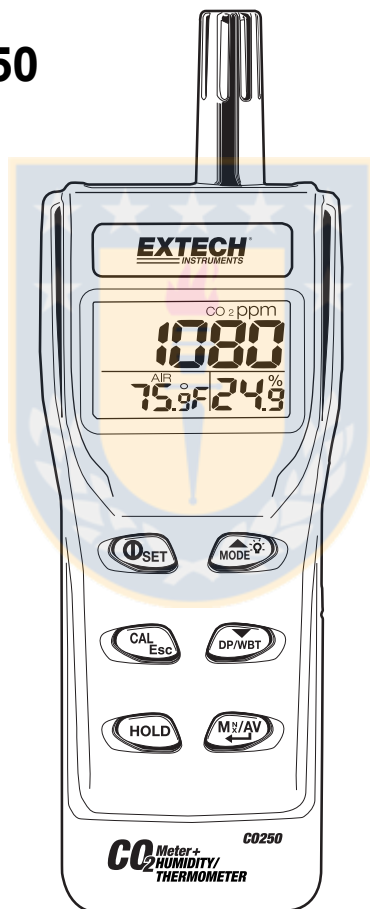
EQUIPO ENSAYO DE DILUCIÓN DE CONTAMINANTES
EXTRACTO MANUAL DE OPERACIÓN Y ESPECIFICACIONES

Manual del usuario

EXTECH[®]
INSTRUMENTS

Medidor de CO₂

Modelo CO250



CE

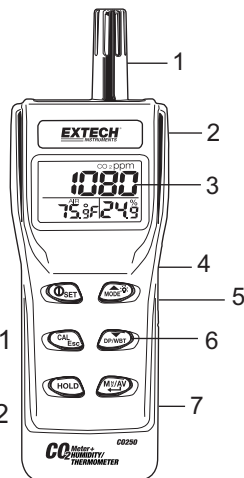
Introducción

Agradecemos su compra del medidor Modelo CO250. Este medidor mide el nivel de CO₂ (Dióxido de carbono), temperatura del aire, punto de rocío, temperatura de termómetro de bulbo húmedo y humedad, y es un instrumento ideal para el diagnóstico de la calidad del aire interior. Este medidor se embarca probado y calibrado y con uso adecuado le proveerá muchos años de servicio confiable.

Descripción del medidor

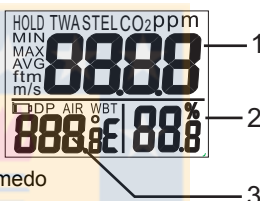
MEDIDOR

1. Sensor de temperatura y humedad
2. Sensor de CO₂ (atrás)
3. Pantalla LCD
4. Conector del adaptador CA
5. Puerto RS232
6. Teclado
7. Compartimiento de la batería (atrás)



Pantalla LCD

1. Concentración de CO₂ en ppm
2. Humedad relativa en %
3. Temperatura del aire, punto de rocío o temperatura de termómetro de bulbo húmedo



SÍMBOLOS



TWA	Media ponderado en el tiempo (8 horas)
STEL	Límite de exposición a corto plazo (15 minutos promedio)
RETENCIÓN (hold)	congela la lectura actual en pantalla
MIN/MAX	lecturas Mínima/Máxima
☐	Indicador de batería débil
DP	Temperatura de punto de rocío
AIR	Temperatura del aire
WBT	temperatura de termómetro de bulbo húmedo
%	Unidad de humedad relativa
C o F	Celsius/Fahrenheit

TECLADO

- Enciende/apaga el medidor
- Entra al modo de configuración
- Ajuste sin modo de suspensión temporal con
- Sale de configuración de página/modo
- Entra a modo de calibración de CO₂ con
- Entra a calibración de HR con
- Congela la lectura actual en pantalla
- Cancela la función de retención de datos
- Activa o desactiva la retroiluminación
- Selecciona las unidades o aumenta el valor en configuración
- Selecciona el indicador de AIR, DP, WBT
- Selecciona o disminuye el valor en configuración
- Activa la función MIN, MAX, STEL, TWA
- Guarda y termina la configuración

Operación


BATERÍA INSTALACIÓN

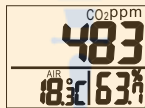
El medidor es alimentado por 4 baterías AA o un adaptador de CD. Instale las baterías atrás en el compartimiento de la batería y con la polaridad correcta. Cuando se usa el adaptador, las baterías son desconectadas del medidor. El adaptador no se puede usar como cargador de baterías. Cuando el voltaje de la batería es menor al nivel requerido,  y en la pantalla aparece "Lob", suena un zumbador y no se muestran las lecturas. (Presione cualquiera tecla excepto  para detener los pitidos). Reemplace las baterías para continuar la operación normal.



¡Usted, como el usuario final, es legalmente atado (ordenanza de Batería de UE) volver todas las baterías utilizadas, la disposición en la basura de la casa es prohibida! ¡Puede entregar sus baterías utilizadas/acumuladores en puntos de colección en su comunidad o dondequiera baterías/acumuladores son vendidos! La disposición: Siga las estipulaciones legales válidas en el respeto de la disposición del dispositivo a fines de su ciclo vital Desecho

Apagado y encendido

Presione  para encender y apagar el medidor. Al encender, el medidor emite un pitido corto y corre una cuenta regresiva de 30 segundos para calentar el medidor. Luego entra al modo de operación normal e indica las lecturas del nivel actual de CO², temperatura y humedad.



TOMA DE MEDIDAS

El medidor comienza a medir al encender y actualiza las lecturas cada segundo. Si cambia el ámbito de operación (ej., de temperatura alta a baja), el sensor de CO² demora 30 segundos para responder y 30 minutos para HR.

NOTA: No sostenga el medidor próximo a su boca o cualquier otra fuente de CO₂.


Medidas de AIR, DP y WBT

Presione el botón **DP/WBT** para cambiar la indicación de temperatura. Abajo a la izquierda de la pantalla cambiará de "AIR" para temperatura del aire, "DP" para temperatura de punto de rocío y "WBT" para temperatura de termómetro de bulbo húmedo.

RETENCIÓN DE DATOS

Presione el botón **HOLD** para congelar las lecturas, arriba a la izquierda de la pantalla se muestra el icono "HOLD" (RETENCIÓN). Todas las lecturas actuales se retienen sin cambio, excepto STEL y TWA. Presione "RETENCIÓN" (HOLD) para cancelar la función de retención.

RETROILUMINACIÓN

Presione el botón **MODE/▲**  durante más de 1 segundo para activar o cancelar la retroiluminación.

MIN, MAX, STEL, TWA

En el modo normal, presione el botón **Max/AV** para ver las lecturas mínima, máxima y promedio ponderado. Cada vez que presione el botón **Max/AV**, el medidor indica MIN, MAX, STEL y TWA en secuencia y luego regresa a modo normal.

Especificaciones

Función	Escala	Resolución	Precisión
CO ₂	0 a 5000 ppm	1ppm	±(5%rdg + 50ppm)
	5000 a 9999 ppm	1ppm	No especificada
	Dependencia a la presión: +1.6% de la lectura por kPa de desviación de la presión normal, 100kPa		
Temperatura	-10 a 60°C 14 a 140 °F	0.1°	±0.6°C/0.9°F
Humedad	0.0 a 99.9%	0.1%	±3% (10 a 90%) ±5%(< ó > 10 a 90%)
Bulbo húmedo	-5 a 60°C 23 a 140 °F	0.1°	Calculado a partir de HR y Temperatura
Punto de rocío	-20 a 60°C -4 a 140 °F	0.1°	

Pantalla LCD triple con retroiluminación

Sensor tipo CO₂: Tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo)
Humedad: Sensor de capacitancia;
Temperatura (aire): Termistor

Condiciones de operación 0 a 50°C (32 a 122°F); < 95% RH sin condensación

Condiciones de almacenamiento -20 a 60°C (-4 a 140°F); <99% RH sin condensación

Fuente de tensión 4 baterías 'AA' 1.5V o adaptador CA (9V/1A)

Vida de la batería Aprox. 24 horas (baterías alcalinas)

Dimensiones / Peso 200x70x57mm mm (7.9x2.7x2.3")/100g (6.7 oz.)