



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PUNTOS CRÍTICOS DE INFILTRACIÓN DE AIRE
PRODUCIDOS EN VIVIENDAS TÍPICAS DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: RODRIGO ALEJANDRO ESPINOZA MALDONADO

**Profesor Guía: Doctor Sr. Ariel Bobadilla Moreno
Profesor Co-Guía: Máster Sr. Roberto Arriagada Bustos**

CONCEPCION, Noviembre de 2014

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda el análisis y estudio de los puntos críticos de infiltración de aire que se producen en las envolventes de edificaciones con sistemas constructivos típicos de la ciudad de Concepción. Su objetivo es definir y caracterizar experimentalmente las principales fuentes de infiltración de aire de sistemas y/o elementos constructivos de viviendas, junto con proponer y evaluar diferentes soluciones de sellado para reducir las infiltraciones de aire, de manera de alcanzar los estándares de hermeticidad aceptables recomendados por el proyecto Fondef D10I1025.

El estudio contempla el desarrollo de trabajo experimental, en base a técnicas de laboratorio y utilización de procedimientos estandarizados de normas de ensayo.

Para los ensayos de Laboratorio, se determinan las propiedades de permeabilidad al aire de elementos y puntos críticos de infiltración, con el objetivo de levantar información base, para reducir las infiltraciones de aire.

Respecto de los ensayos de terreno, se determinan las propiedades de hermeticidad al aire para cada una de las viviendas representativas evaluadas, definiendo su estructura de infiltraciones de aire de la envolvente. Se evalúa además, en etapa de construcción y principalmente post-construcción, la incidencia de algunas técnicas de sellados en la disminución de las infiltraciones de aire de las viviendas.

Finalmente, se realiza un estudio y análisis de factibilidad técnica y económica de la inversión inicial, en función de la aplicación de las soluciones de sellado evaluadas, en el cumplimiento de niveles aceptables de hermeticidad al aire de las viviendas, según clases recomendadas por el proyecto Fondef D10I1025.

Respondiendo a la hipótesis planteada y conforme al estudio técnico-económico desarrollado en esta tesis, se determina que al aplicar algunas de las soluciones de sellado evaluadas, en las viviendas construidas de sistema constructivo pesado (hormigón) y mixto (albañilería-acero liviano y albañilería-panel SIP), es posible alcanzar niveles adecuados de hermeticidad al aire para la ciudad de Concepción, a un bajo costo inversión inicial que va desde los 0,05 UF/m² a 0,073 UF/m². Por el contrario, al aplicar todas las medidas estudiadas de reducción de

infiltraciones de aire en la vivienda construida de sistema liviano (madera), no es posible lograr los niveles aceptables de hermeticidad al aire para la ciudad de Concepción, alcanzando un costo de inversión inicial de $0,41 \text{ UF/m}^2$, superior al valor planteado en la hipótesis de esta tesis, correspondiente a $0,082 \text{ UF/m}^2$.

Palabras claves: Hermeticidad, permeabilidad, puntos críticos de infiltración, sistemas constructivos, clases de infiltración aceptable.

Abstract

This research addresses the analysis and study of the critical points of air infiltration occurring in the envelopes of buildings with typical construction systems of the city of Concepción. Its aim is to define and experimentally characterize the main sources of air infiltration systems and/or construction elements of housing, along with proposing and evaluating different sealing solutions to reduce air infiltration, in order to reach acceptable standards recommended tightness Fondef D10I1025 by the project.

The study includes the development of experimental work, based on laboratory techniques and procedures using standardized testing standards.

Laboratory tests for the properties of air permeability and critical elements infiltration points are determined, in order to lift based information, to reduce air infiltration.

On field tests, the air tightness properties for each of the representative evaluated housing defining structure air infiltration envelope are determined. The incidence of some techniques sealed in reducing air infiltration housing was also evaluated under construction and mainly post-construction.

Finally, a study and analysis of technical and economic feasibility of the initial investment, depending on the application of sealing solutions evaluated in compliance with acceptable levels of airtightness of homes, as recommended classes for the project is implemented Fondef D10I1025 .

Responding to the hypothesis and according to the technical - economic study developed in this thesis, is determined to implement some of the sealing solutions evaluated in homes built of heavy construction system (concrete) and mixed (masonry - steel lightweight masonry -Panel SIP), it is possible to achieve adequate levels of airtightness for the city of Concepcion, at a low initial investment cost ranging from 0,050 UF/m² to 0,073 UF/m². By contrast, applying all studied measures to reduce air infiltration in housing built lightweight system (wood), it is not possible to achieve acceptable levels of airtightness for the city of Concepción, reaching an initial investment cost 0,410 UF/m², higher than the value set in the hypothesis of this thesis, corresponding to 0,082 UF/m².

Keywords: Airtightness, permeability, critical points of infiltration, building systems, acceptable classes infiltration.

Índice

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
Figura N°1: Consumo energético sectorial año 2012.....	1
1.1 Hipótesis.....	7
1.2 Objetivo general.....	7
1.3 Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2. FENOMENOLOGÍA DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE.....	8
2.1 Términos y definiciones.....	8
2.2 Variables físicas del movimiento del aire en las edificaciones:.....	10
2.2.1 Presiones de viento	11
2.2.2 Diferencial de temperatura.....	12
Capítulo 3. DIAGNÓSTICO DE LA HERMETICIDAD AL AIRE DE LA VIVIENDA EN CHILE.	14
3.1 Permeabilidad al aire de ventanas y puertas	14
3.1.1 Experiencias e investigaciones en el área	14
3.1.2 Exigencias y normativas de permeabilidad al aire de elementos	17
3.2 Hermeticidad al aire de las edificaciones.....	21
3.2.1 Experiencias e investigaciones en el área	21
3.2.2 Exigencias y normativas de hermeticidad al aire de edificaciones	24
Capítulo 4. ESTRUCTURA DE PUNTOS DE FUGAS DE AIRE DE LA EDIFICACIÓN	26
4.1.1 Puntos críticos de infiltración en las edificaciones:	26
4.1.2 Estructuras de puntos de fugas de edificaciones:.....	29
Capítulo 5. TÉCNICAS DE SELLADO	31
5.1 Materiales y técnicas de sellado	31
Capítulo 6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	40
6.1 Definición de los principales puntos de fugas, conforme al estudio del	41
estado del arte nacional e internacional:.....	41
6.2 Definición de prototipos y puntos de infiltración de interés:	42
6.2.1 Prototipos de laboratorio:.....	42
6.2.2 Definición de prototipos de viviendas.....	44
6.3 Evaluaciones experimentales	46
6.3.1 Ensayos de laboratorio	47
6.3.2 Ensayos de terreno.....	49
6.4 Expresión de resultados	51
6.5 Evaluación técnica – económica.....	51
Capítulo 7. ANÁLISIS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	52
7.1 Evaluaciones a nivel de laboratorio	52
7.2 Evaluaciones experimentales de terreno.....	57
7.3 Evaluación técnica y económica.....	67
Síntesis y conclusiones	74
Referencias bibliográficas	79

Anexo	82
1	Ensayo de laboratorio 82
2.	Ensayo de terreno 83
3	Protocolos de medición en laboratorio..... 85
4	Especificaciones técnicas de materiales de sellado (principales materiales utilizados en ensayo)..... 89

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Desde principios de la década de los noventa, la demanda de energía eléctrica en Chile ha mostrado un crecimiento sostenido en el tiempo (Díaz et al., 2000 y 2001; Galetovic et al., 2004).

Durante el año 2008, nuestro país vivió unos de los escenarios energético más vulnerables, debido principalmente a las restricciones de gas natural desde Argentina, el alto precio de los hidrocarburos y los bajos niveles de los embalses para generación por las escasas lluvias. A raíz de esta crisis, el gobierno chileno tomó una serie de medidas para reducir el consumo de energía eléctrica, buscando evitar los cortes en el abastecimiento. Algunas de estas se orientaron hacia la demanda residencial, promoviendo el uso de ampolletas de bajo consumo, prorrogando el horario de verano y buscando incentivar el ahorro de energía a través de campañas publicitarias, entre otras medidas (Economía Chilena, Volumen 15, N°3, 2012), entendiéndose que el sector comercial, público y residencial, aportan un 27,9% del consumo total de la energía del país (Comisión Nacional de Energía CNE, 2012).

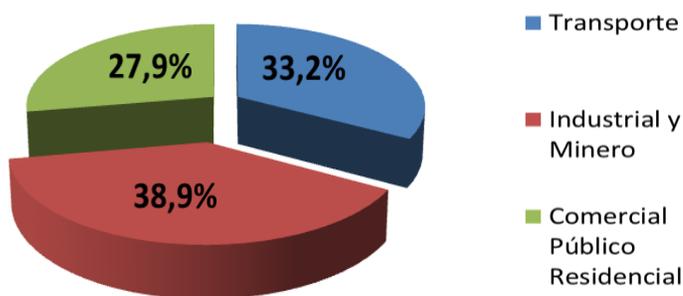


Figura N°1: Consumo energético sectorial año 2012

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Balance Nacional de Energía, 2012

Se ha logrado determinar que sólo el mal comportamiento térmico de las viviendas, genera un gasto a nivel país cercano a los \$1.000 millones de dólares anuales (Fondef DO0I1162, 2012).

El desafío energético como Política del Estado de Chile, propone al 2020 una disminución del 12% en la demanda de energía final proyectada. Para llegar a esta meta se proponen las siguientes medidas (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2012):

- a. Desarrollo del Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020.
- b. Sello de Eficiencia Energética.
- c. Estándares Mínimos de Eficiencia Energética para productos.
- d. Programas de Iluminación Residencial Eficiente y de Alumbrado Público.
- e. Comisión Interministerial de Desarrollo de Políticas de Eficiencia Energética.

Atendiendo a esta permanente preocupación energética, es que durante estas últimas dos décadas, el Estado de Chile a través del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), ha realizado una serie de exigencias en el sector de la edificación de viviendas, incorporadas a través de etapas de Reglamentación Térmica en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones O.G.U.C.

La primera entra en vigencia a partir del año 2000 y corresponde al establecimiento de requisitos en la aislación térmica de los complejos de techumbre, la segunda a partir del año 2007, en donde se incorporan exigencias para los complejos de muros, pisos ventilados y para la aislación térmica ponderada de la envolvente vertical, considerando valores límites para la superficie de vanos transparentes según sus propiedades de aislación térmica y superficie. La reglamentación considera siete zonas térmicas, diferenciadas por grados días de calefacción, para las cuales fija solamente requisitos para limitar las pérdidas por transmisión a través de la envolvente (MINVU, 2006).

“El uso de la reglamentación térmica, al poco andar, evidenció una serie de limitaciones. Los niveles de exigencias para muros son incompatibles con las necesidades de uso mínimo óptimo de energía en las zonas centro sur del país y más poblada; no se comparan bien con los de otras ordenanzas europeas que rigen en climas comparables, ni con los estándares que desde hace ya varias décadas vienen recomendando varios estudios en Chile” (Bobadilla, 2014).

Una tercera etapa, contempla la Calificación Energética de Viviendas (CEV), mediante una herramienta alternativa de cálculo del comportamiento global de la vivienda en términos de demandas térmicas, permitiendo compensar las deficiencias de unos componentes por las eficiencias de otros (MINVU, 2013).

El diagrama de Sankey, muestra el balance energético en régimen de calefacción que se produce en una edificación. La demanda energética teórica por calefacción, está definida por las ganancias internas y externas, y por las pérdidas por transmisión y ventilación. Las pérdidas por trasmisión están expresadas por el coeficiente de transmisión térmica U (W/m^2K) y las pérdidas por ventilación, expresadas en volúmenes de aire por hora n_{50} (1/h) a un diferencial de 50Pa (Bobadilla, 2014).

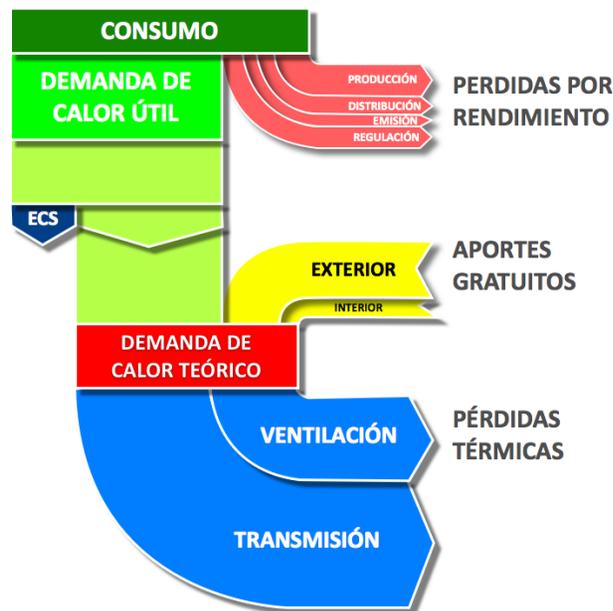


Figura N°2. Diagrama del balance energético de un edificio tipo en régimen de calefacción.

Fuente: Bobadilla, 2014

Estudios de simulación energética realizados a una vivienda social de $42m^2$ emplazada en la ciudad de Concepción, muestran que las pérdidas energéticas por infiltración, pueden tener una participación entre el 24% al 73% de la demanda total de energía por calefacción (Propuestas para Chile, 2009).

Tabla N°1: Demanda de calefacción en una vivienda unifamiliar de Concepción, en función de las tasas de intercambio de aire.

Tasa de intercambio de aire en volúmenes por hora	Demanda de calefacción anual	Incremento en demanda de energía respecto de caso 1,0 vol/h	Transmisión	Ventilación
1/h	kWh/m ² año	%	%	%
1	125		76	24
2	157	26	61	39
3	188	50	51	49
4	220	76	43	57
6	283	126	34	66
8	347	178	27	73

Fuente: Propuestas para Chile 2009. Capítulo IX: Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible.

En nuestro país el concepto de infiltración de aire se ha internalizado bajo los parámetros de la eficiencia energética de la vivienda, que a la fecha ha alcanzado un avance significativo gracias al aporte de investigaciones en el área, no obstante no existen estudios experimentales que determinen los valores de hermeticidad al aire de cada uno de los puntos críticos de infiltración de una edificación.

En la actualidad, se encuentra en consulta pública el anteproyecto de norma técnica MINVU NTM011/3 2014, relacionada con los requerimientos y mecanismos de acreditación para el acondicionamiento ambiental de las edificaciones, parte 3; hermeticidad al aire, que establece clases aceptables de hermeticidad al aire para viviendas, en función de una zona climática de infiltración, que resultó de la investigación del proyecto Fondef D10I1025 “Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile”. Esta nueva normativa, propone una clase de hermeticidad al aire para la ciudad de Concepción de n50 5 renovaciones de aire por hora (1/h) a una presión diferencial de 50 Pa.

La hermeticidad al aire de las edificaciones en Chile, depende principalmente del sistema constructivo predominante de muros de la vivienda, siendo el valor medio de éstas de 12,9 1/h. Los sistemas constructivos con mejor nivel de hermeticidad al aire, corresponden a los de hormigón armado con un valor promedio n50 de 9 (1/h). Los sistemas constructivos de madera, resultan ser los menos herméticos, con valores promedios de hermeticidad de n50 de 25 (1/h).

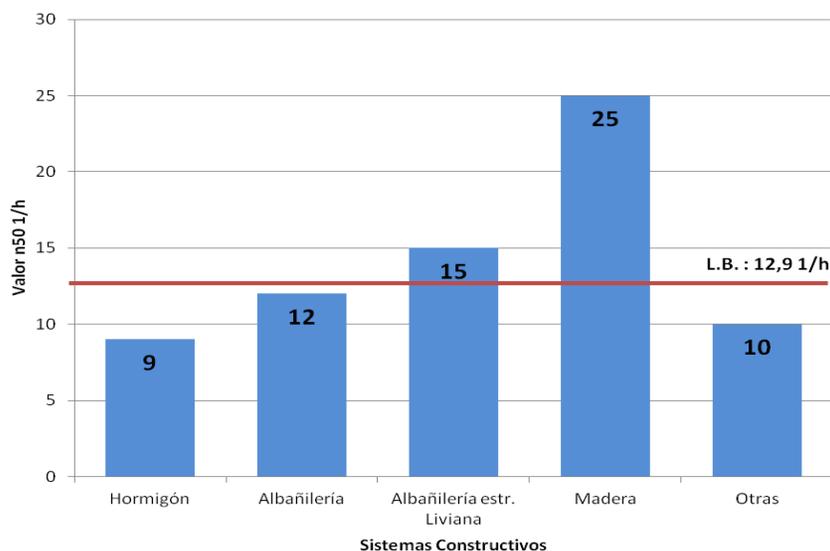


Figura N°3: Línea Base de Infiltraciones de aire de los principales sistemas constructivos en Chile.

Fuente: Proyecto FondefD10 I 1025.

De las evaluaciones se puede concluir que las construcciones más perjudicadas en términos de hermeticidad al aire, corresponden a la construcción de carpintería liviana, es decir estructuradas en base a madera y acero liviano. Esto se debe a la naturaleza heterogénea y diversidad de uniones o puntos singulares de infiltración que presentan los elementos livianos y que en la actualidad no se encuentra definidos en cuanto a sus niveles de infiltraciones aire de las viviendas.

Como se observa, el estado actual medio de la hermeticidad al aire de las construcciones a nivel nacional, no está preparada para enfrentar los nuevos requerimientos de estándares recomendados para la ciudad de Concepción.

El desafío de esta tesis viene dado por responder las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuál es la estructura de las infiltraciones de aire de la envolvente de viviendas?

¿Es posible cumplir los estándares de hermeticidad al aire para viviendas recomendados por el proyecto Fondef D10I1025?

¿Qué costos importa el sellado post construcción de viviendas?

La presente Tesis de Grado, forma parte integral del proyecto de investigación Fondef D10I1025 “Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile”, y busca determinar el impacto y solución de los principales puntos de fugas de aire de viviendas y de elementos constructivos que intervienen en la envolvente, en función del cumplimiento de estándares recomendados de hermeticidad al aire.

1.1 Hipótesis

Mediante el uso de técnicas de sellado y materiales disponibles en el mercado local, es posible mejorar la hermeticidad al aire de los principales tipos de viviendas en el parque de viviendas de Concepción, de modo que estas logren cumplir con exigencias de hermeticidad propuestos por el proyecto FondefD10i1025 y a costos que no superen los 0,083 UF/m².

1.2 Objetivo general

Definir experimentalmente las principales fuentes de infiltración de aire de sistemas y/o elementos constructivos de viviendas, probando diferentes soluciones de sellado para reducir las infiltraciones de aire a niveles de hermeticidad aceptables recomendados.

1.3 Objetivos específicos

- ✓ Estudiar el estado del arte nacional e internacional de las infiltraciones de aire en las edificaciones.
- ✓ Definir experimentalmente la estructura de infiltraciones de las viviendas representativas de la ciudad de Concepción.
- ✓ Identificar y evaluar en laboratorio las principales fuentes de infiltración de aire que se producen tanto en elementos como en sistemas constructivos.
- ✓ Analizar técnica y económicamente la aplicación de las mejores soluciones de sellado deducidas de laboratorio, en distintas viviendas típicas de la ciudad de Concepción.

Capítulo 2. FENOMENOLOGÍA DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE

Este capítulo, realiza una recopilación de los conceptos fundamentales para entender el fenómeno de las infiltraciones de aire producidas en las edificaciones.

Se estructura básicamente mediante dos partes; la primera en donde se exponen los principales términos y definiciones, y la segunda estudia las variables físicas que producen el movimiento del aire en las edificaciones (presiones de viento y diferenciales de temperatura).

2.1 *Términos y definiciones*

Se exponen los principales conceptos físicos constructivos, relacionados con los fenómenos de las infiltraciones de aire, los cuales fueron extraídos de documentos y normas técnicas:

Singularidades de infiltración: Son todas aquellas zonas críticas de la envolvente de una edificación, que permiten el paso involuntario de aire a través de ella. Estos puntos críticos, se originan principalmente entre uniones de dos o más elementos constructivos, pasadas de instalaciones tradicionales y defectos constructivos de la cáscara de la construcción (Manual de hermeticidad al aire de edificaciones, 2014).

Permeabilidad al aire: Es la propiedad intrínseca de los materiales y elementos constructivos, de permitir dejar pasar el aire a través de ellos, cuando son sometidos a una presión diferencial entre dos medios; interior y exterior. Esta propiedad es determinada a través de ensayos de laboratorio y se expresa a través de sus indicadores de infiltración por superficie y metros lineales de junta (NCh 3297:2013, 2013).

Estanquidad al aire: es la propiedad intrínseca de elementos de puertas y ventanas, en estado cerrado, de oponerse al paso del aire, al ser sometido a una diferencia de presión entre dos ambientes; exterior e interior. Propiedad inversa a la permeabilidad que es determinada mediante ensayo de laboratorio (NCh892 Of2001, 2001).

Envolvente de una edificación: Corresponde a todos los elementos constructivos de la edificación que quedan expuestos a las solicitaciones climáticas externas. Específicamente está compuesta por los elementos de puertas, ventanas, muros, pisos y techumbre (Baixas, 2012).

Hermeticidad al aire: Es la propiedad que poseen las envolventes de las edificaciones, en estado cerrado, de oponerse al paso del viento cuando existe una diferencia de presión entre un ambiente exterior e interior. Esta propiedad es determinada a través de un ensayo en terreno y depende de la materialidad predominante de la edificación (UNE-EN 13829:2002, 2002).

Renovación de aire: Las renovaciones de aire se entienden como el intercambio de aire que se produce en una vivienda por concepto de ventilación o infiltración. Se expresa en volúmenes de aire por hora y depende de factores externos como la presión del viento, la diferencia de temperatura, y de factores internos y de diseño como la capacidad movilizadora de los sistemas de ventilación o infiltraciones, forma y emplazamiento de la edificación, entre otras (Odriozola, 2008).

Ventilación: Se entiende como el paso controlado o voluntario de aire al interior de la edificación, con el objetivo de satisfacer las necesidades de renovación de aire de los recintos. Esta se incorpora en etapa de diseño y sirve principalmente para eliminar humedades, eliminar olores, mantener niveles de CO₂ aceptables y refrigeración (Odriozola, 2008).

Ventilación natural: Es el flujo de aire que pasa a través de la envolvente de la edificación, específicamente por los sistemas dispuestos predeterminadamente para esa función en etapa de diseño, como por ejemplo aireadores, celosías, rejillas, etc., u a través de ventanas abiertas o puertas abiertas.

La capacidad movilizadora de este tipo de mecanismos, se producen por las presiones de viento y diferenciales de temperatura entre el exterior e interior de la vivienda (Odriozola, 2008).

Ventilación híbrida: Corresponde a un sistema de ventilación que involucra tanto las estrategias pasivas de ventilación natural y las mecánicas. Sistema que atiende las necesidades de ventilación principalmente de forma natural, cuando esta no es capaz de responder, se incorpora la extracción mecánica (CITEC-UBB, 2010).

Ventilación mecánica: Corresponde a un tipo de ventilación predeterminada en diseño, utilizada para extracción o remoción de olores, humedad, gases, impurezas, etc. Se utilizan sistemas mecánicos de extracción, tales como ventiladores, extractores, campanas de extracción, etc. (Odriozola, 2008).

Infiltración: Es el aire exterior que atraviesa la envolvente de la edificación, de forma involuntaria, a través de las rendijas, grietas, juntas, elementos permeables, defectos constructivos, etc. También se conocen en la literatura como fugas de aire o air leakage en inglés. Las infiltraciones se simbolizan de color azul, debido al aire frío incorporado en la edificación (Odriozola, 2008).

Exfiltración: Corresponde al aire que se pierde desde el interior al exterior de la edificación. Se simbolizan de color rojo, debido que se entienden como pérdidas de calor por efecto del escape de aire interior (Odriozola, 2008).

2.2 Variables físicas del movimiento del aire en las edificaciones:

La cantidad de flujo de aire que entra en una vivienda, depende principalmente del tamaño y configuración de la grieta que se encuentra dispuesta en la envolvente, asociadas a las variables naturales del tipo medio ambiental en donde se encuentre emplazada la vivienda.

Se entiende por grietas grandes, a las que poseen aberturas mayores a 10mm, mientras las que poseen aberturas menores a esa dimensión, se consideran como grietas pequeñas. Este tipo de grietas experimentan flujos turbulentos. (British Estándar BS 5925, 1991).

Las grietas menores a 10mm se conocen como grietas pequeñas y poseen propiedades de flujo laminar o viscoso.

Las grietas de tamaño medio, poseen un comportamiento de flujo de transición y se calculan a través de la siguiente ecuación de flujo:

$$Q = C \Delta p^n$$

Q = Flujo de aire (m³/s)

C = Coeficiente de flujo (m³/ Pa s)

n = exponente de flujo (adimensional)

Esta ecuación es reconocida en el cálculo del caudal y se considera normalmente en las planillas y cálculo que incorporan los programas de simulación.

El potencial movilizador de las infiltraciones de aire está determinado principalmente por dos fenómenos físicos externos e internos de la vivienda:

2.2.1 Presiones de viento

La acción del viento o presión estática, es la fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto al viento expresada en $[kN/m^2]$ (Documento Básico DB/SE-AE del Código Técnico de la Edificación Española CTE, 2009).

La presión de viento de cálculo W ejercida sobre la vivienda, depende del entorno, altura y la presión media del lugar o zona donde se emplace la edificación (Instituto de la Construcción, Anexo 1, Guía Técnica para la Prevención de Patologías en las Viviendas Sociales, 3p, 2008):

$$W = P_b C_e C_p, \text{ donde}$$

W : presión de cálculo

P_b : presión básica de viento y zonificación. Presión correspondiente a la media de la zona donde se emplaza la vivienda, tomados en intervalos de 10 minutos en 10 años en terreno abierto y llano en donde su valor no es superado en un periodo de 50 años.

C_e : Coeficiente entorno/altura.

C_p : Coeficiente de presión/succión.

Los coeficientes de entorno y altura dependen de los niveles de exposición de la edificación y de la altura en donde se sitúe ésta en relación al nivel del mar, respectivamente. Ver Figura N°4.

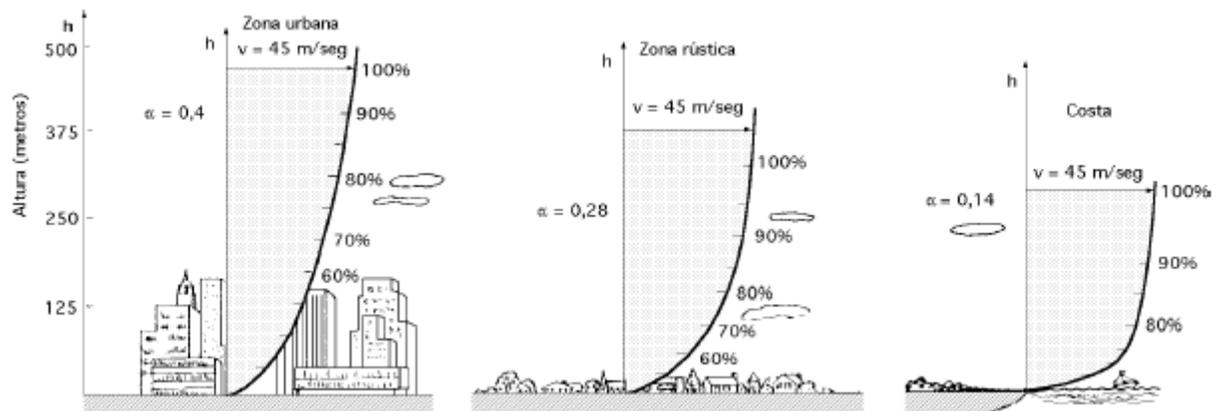


Figura N°4: Variación de la velocidad del viento con la altura sobre el terreno.

Fuente: FERNÁNDEZ, P. Fuentes Aeólicas, Velocidad del viento., Universidad de Cantabria, 2003.

A mayor altura de la fachada existe mayor carga de viento. Esta se acrecienta mientras más ancha es la fachada.

El coeficiente de entorno, tiene que ver con el grado de exposición de la fachada frente a su alrededor. El valor asignado a este factor, será mayor mientras la fachada de la edificación estudiada se encuentre menos obstaculizada en su entorno, es decir si el terreno es abierto.

El cuanto a la altura, se tiene que las presiones de viento van aumentando mientras más alto se encuentre la fachada expuesta. Este coeficiente involucra el factor de forma de la edificación y la orientación de la fachada si se ve afecta a barlovento (presión) o sotavento (succión), ver Figura N°5.

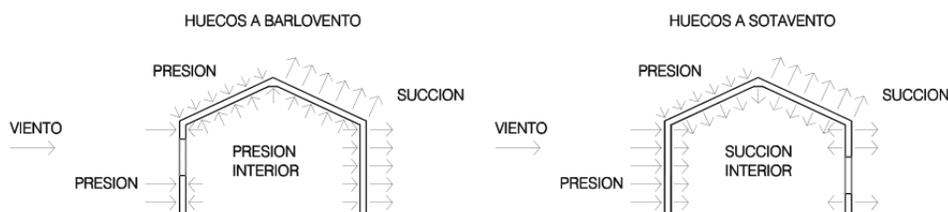


Figura N°5: Presiones ejercidas por el viento en una edificación

Fuente: Documento Básico Db SE-AE 2005, Código Técnico de la Edificación Española CTE.

Estos coeficientes pueden ser obtenidos de las siguientes formas: mediante mediciones a escala real, mediante túneles de viento, estudios de simulación computacional (Computational Fluid Dynamics, CDF) o por el uso de modelos paramétricos.

2.2.2 Diferencial de temperatura

La diferencia de temperatura entre el exterior e interior de las edificaciones, proporciona un mecanismo inductor de movimiento de aire, debido al fenómeno físico de disminución de la densidad del aire a medida que este sufre calentamiento.

Este fenómeno depende de la diferencia de altura entre el ingreso y salida del aire infiltrado, y viene dada por la siguiente ecuación de tiro térmico, cuando las condiciones de temperatura interna se consideran en torno a 20 °C:

$$p = 0,04 \Delta T \Delta h$$

Donde p es la presión ejercida de aire en Kg/m^2 a una diferencia de temperatura interior-exterior y una altura determinada por la posición de ingreso y evacuación del aire.

Este fenómeno es utilizado en la arquitectura bioclimática para diseños de ventilación pasiva y es conocido como Efecto Stack o también llamado Efecto Chimenea, y está basado en las fuerzas de flotación del aire, producto de la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior y entre los diferentes espacios internos del edificio. Por otro lado, la tendencia del aire caliente de menor densidad para acumularse en los niveles superiores, genera una estratificación estable, que depende de la ubicación de las aberturas dispuestas en los niveles superiores. Las diferencias de presión por efecto de flotación del aire, son directamente proporcionales a la altura de expulsión del aire, o dicho de otro modo, a la altura donde se localizan los elementos de extracción natural (rejillas, aireadores, etc). Ver figura N°6.

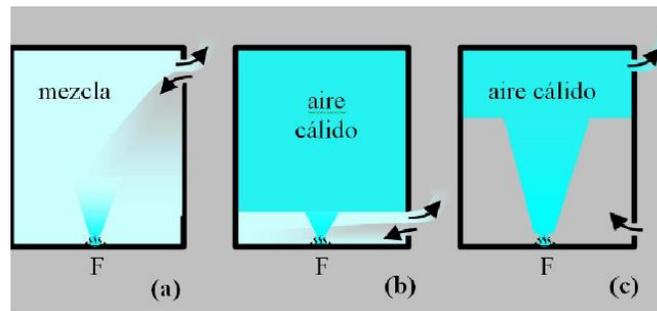


Figura N°6: Esquemas de la ventilación de mezclado y por desplazamiento.

Fuente: THOMAS et al, 2006 (21).

A modo de referencia, mediante el cálculo, se obtiene que para una diferencia de temperatura de 20 K, y una altura de 5m, se obtiene una presión de 4,3 Pa, que corresponde a una velocidad ligera de 18 Km/h.

Esto demuestra que para que este método de inducción natural del viento sea efectivo, se deben considerar alturas por sobre los 5m para lograr un mejor comportamiento, en relación a presiones de viento.

Capítulo 3. DIAGNÓSTICO DE LA HERMETICIDAD AL AIRE DE LA VIVIENDA EN CHILE.

Este capítulo realiza un diagnóstico del estado actual de la permeabilidad y hermeticidad al aire de las viviendas nacionales.

El estudio se divide en dos partes principales: la primera expone la situación de la permeabilidad al aire de materiales y elementos constructivos y la segunda parte estudia el estado de la hermeticidad al aire de las viviendas en Chile y como se comparan con estándares internacionales.

Se recoge información de conocimiento experimental, resultados de investigaciones y estudios nacionales e internacionales, además de la reglamentación y normativas atinentes.

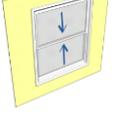
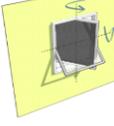
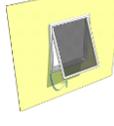
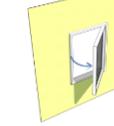
3.1 Permeabilidad al aire de ventanas y puertas

3.1.1 Experiencias e investigaciones en el área

Como unidad referente a nivel nacional en el área de física de la construcción, se expone la experiencia del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción CITEC de la Universidad del Bío-Bío. Se ensayaron distintos elementos de puertas y ventanas durante el año 2007 al 2013, clasificadas por materialidad y forma de apertura.

La tabla N°2, muestra un resumen de los ensayos de estanqueidad al aire, realizados a más de 200 ventanas, expresados por su caudal de infiltración por unidad de superficie, determinado a 100Pa de presión.

Tabla N°2: Permeabilidad al aire típica de ventanas según materialidad y tipo de apertura.

Materialidad												
	Ventana corredera 1 hoja fija, 1 móvil (m ³ /h m ²)	Ventana corredera 2 hojas móviles (m ³ /h m ²)	Ventana guillotina 1 hoja móvil (m ³ /h m ²)	Ventana oscilobatiente 1 hoja móvil (m ³ /h m ²)	Ventana proyectante 1 hoja móvil (m ³ /h m ²)	Ventana abatir 1 hoja móvil (m ³ /h m ²)						
	Mín	Max	Mín	Max	Mín	Max	Mín	Max	Mín	Max	Mín	Max
Aluminio	6	40,8	11,5	55,5	29	29	5	5	1	16	s/d	s/d
PVC	0,7	23,2	6,8	14,8	4	26	0,7	4	0,8	10	0,2	7
Madera	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1	84
Fierro galvanizado	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	45	65
Aluminio -madera	12,38	12,38	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1,35	1,35	s/d	s/d

Fuente: Laboratorio de Física de la Construcción, CITEC-UBB.

El nivel de infiltración de una ventana depende de tres importantes factores:

- ✓ Calidad de fabricación
- ✓ Materialidad
- ✓ y forma de apertura

La calidad de una ventana, depende principalmente del grado de industrialización de sus procesos de fabricación, que está asociado principalmente a su diseño en cuanto a la forma de apertura, tolerancias dimensionales, mecanismos de unión, y aportes en el diseño hermético del elemento (CITEC-UBB, 2014).

En el caso de las puertas, se presentan los resultados de permeabilidad al aire de las principales de uso nacional, en función de su materialidad, identificando puertas según su revestimiento; lámina-metal, fibras de madera prensada, madera sólida (eucalipto y pino Oregón), aluminio-vidrio, y contrachapado.

Para cada una de estas puertas se distinguen además elementos comunes de instalación y fabricación, tales como; dimensiones, marcos y sobremarcos de puerta, bisagras, espacios inferiores e incorporación de cerraduras.

La siguiente Tabla N°3, muestra los resultados de las propiedades de permeabilidad al aire de las puertas evaluadas, expresa en superficie de infiltración ($m^3/h m^2$):

Tabla N°3: Permeabilidad al aire de puertas.

Materialidad	Descripción	Infiltración a 100 Pa ($m^3/h m^2$)
Revestimiento Lámina metal	Puerta lámina metal e=45mm con marco y sobremarco de pino seco cepillado 41mm x 65mm y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior 5mm.	61
Revestimiento de fibras de madera	Puerta tablero de fibras de madera prensada e=45mm con marco y sobremarco de pino seco cepillado 41mm x 65mm y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior 5mm.	61
Madera sólida	Puerta madera sólida con marco y sobremarco de pino seco cepillado 41mm x 65mm y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior 5mm.	23
Aluminio-vidriada	Puerta de aluminio vidriada e= 35mm, marco de aluminio y sobremarco de madera de pino seco cepillado y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior 5mm.	40
Revestimiento Contrachapado	Puerta contrachapada con bastidor Cintac 4,3mm, hoja contrachapada , espacio inferior de 5mm	29

Fuente: Laboratorio de Física de la Construcción, CITEC-UBB.

Para cada una de las distintas puertas evaluadas en función de su materialidad, se observa que los mayores valores de infiltración por superficie, se obtienen para las puertas de revestimiento de lámina metal y de fibras de madera, mientras que los menores resultados de infiltración se presentan para puertas de madera sólida.

La calidad de fabricación, está asociada fundamentalmente al grado de industrialización de los elementos. Para el caso de las puertas, se hace muy importante manejar tolerancias mínimas, que sean aplicadas tanto al marco, como a la puerta propiamente tal.

Estas tolerancias cobran importancia, en elementos de madera, cuyas propiedades higroscópicas naturales, pueden presentar inestabilidad dimensional en el tiempo, que afectan directamente a los niveles de hermeticidad a través de las juntas de infiltración. Por esto mismo, es recomendable el uso de elementos de madera debidamente dimensionados y tratados.

La calidad de la mano de obra en la instalación de sistemas de puertas, es un factor muy importante y puede definir la permeabilidad al aire de estos elementos. Está asociada directamente a los procesos de instalación y ajuste del sistema marco/puerta al vano de la construcción, y se refleja en los procesos de colocación y ajuste del marco al vano, colocación de bisagras, colocación de cerraduras y tolerancias de espacios inferiores de la puerta (CITEC-UBB. 2013).

3.1.2 Exigencias y normativas de permeabilidad al aire de elementos

Esta propiedad es determinada a través de ensayo de laboratorio, mediante la normativa vigente Norma Chilena NCh892 Of2001, la cual especifica el método para evaluar la característica de estanquidad al aire de ventanas.

Cabe mencionar, que a partir del año 2013, aparece la norma NCh3297:2013 “Puertas y ventanas- Permeabilidad al aire- Método de ensayo”, que rige la permeabilidad al aire de puertas y ventanas, que incorpora algunas modificaciones a la actual normativa, y que en este momento se encuentra en etapa de uso voluntario. Es equivalente a la norma española UNE- EN 1026 “Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo” y que a diferencia de la NCh892, considera principalmente en la expresión de resultados, factores de corrección por temperatura y el control de las condiciones de laboratorio.

Esta propiedad puede ser determinada para todos los elementos de la envolvente; muros, puertas, ventanas y sistemas de ventilación, no obstante de acuerdo a las normativas y requerimientos internacionales, sólo los elementos de puertas y ventanas les son asociados clases de infiltración aceptables a cumplir.

A través de los resultados del ensayo de laboratorio, la norma chilena vigente NCh888 Of2000, establece diferentes clases de infiltración máxima para las ventanas, medidas a una presión diferencial de 100 Pa:

Tabla N°4: Clasificación de permeabilidad al aire de ventanas y puertas, según NCh888

Tipo	Caudal de aire m ³ /h	Infiltración de aire por superficie m ³ /h m ²	Infiltración de aire por metro lineal de junta m ³ /h m
60a (mínimo)	≤60	≤60	≤12
30a (normal)	≤30	≤30	≤6
10a (especial)	≤10	≤10	≤2
7a (especial)	≤7	≤7	≤1,4

Fuente: NCh888 Of2000

A partir del año 2013, aparece la norma chilena de clasificación NCh3296 “Puertas y ventanas- Permeabilidad al aire- clasificación”, que se encuentra en etapa de uso voluntario y que a diferencia de la actual normativa, propone mayores exigencias de clasificación para las propiedades permeables de los elementos de puertas y ventanas:

Tabla N°5: Clasificación de permeabilidad al aire de ventanas y puertas, según NCh3296

Tipo	Presión máxima de ensayo Pa	Permeabilidad al aire de referencia a 100Pa m ³ /h m ²	Permeabilidad al aire de referencia a 100Pa m ³ /h m
0	No ensayada		
1	150	50	12,50
2	300	27	6,75
3	600	9	2,25
4	600	3	0,75

Fuente: NCh3296: 2013

A nivel internacional, se establecen las clases o valores límites de infiltración de elementos de ventanas y puertas para seis países a distintas presiones de aire, utilizando diferentes indicadores de medición que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°6. Valores límites de infiltración de ventanas y puertas.

País	Valores límite	Unidad	Presión (Pa)
Finlandia	Ventanas clase 1	Menor a 0,5	m3/h m2
	Ventanas clase 2	0,5 a 2,5	
	Ventanas clase 3	Menor a 2,5	
Francia	Ventanas A1	20 a 60	m3/h m2
	Ventanas A2	7 a 20	
	Ventanas A3	Menor a 7	
	Puertas A1	20-60	m3/h m2
	Puertas A2	7-20	
	Puertas A3	<7	
Alemania ¹	Nivel de exposición A	9,5	m3/h m
	Nivel de exposición B-D	4,8	
Italia	Ventanas A1	4,0 a 8,0 m3/h m o 13,0 a 31,0 m3/h m2	m3/h m2 y m3/h m
	Ventanas A2	1,3 a 4,0 m3/h m o 4,8 a 13,0 m3/h m2	
	Ventanas A3	0,0 a 41,4 m3/h m o 0,0 a 4,8 m3/h m2	
Holanda	Ventanas	Máximo 2,5	l/s m
Nueva Zelandia	Ventanas herméticas	0,6 (l/s m) 2,0 l/s m2	l/s m l/s m2
	Ventanas con fuga de aire moderada	2,0 (l/s m) 8,0 l/s m2	
	Ventanas con poca resistencia a las fugas de aire	4,0 (l/s m) 17,0 l/s m2	
Suiza	Ventanas altura < 8 m	5,65 m3/h m a 150 Pa	m3/h m
	Ventanas altura >8 < 20 m	8,95 m3/h m a 300 Pa	
	Ventanas > 20 >100 m	14,25 m3/h m a 600 Pa	
Reino Unido	Ventanas clase A	6,3	m3/h m
	Ventanas clase B	4,8	
	Ventanas clase C	1,22	
EEUU	Ventanas aluminio	0,37	cfm/ft
	Ventanas PVC	0,375	
	Ventanas Madera	0,34	
	Ventanas hechas en obra	0,5	
	Otras ventanas	0,34	
	Puertas correderas	0,5	
	Puertas abatible	1,0	
Puerta giratoria	2,0		
Dinamarca	Puertas	0,5	l/s/m

Fuente: (Limb, 2001)

Si bien es cierto, en Chile existe una normativa de requisitos técnicos que establece clases de infiltración de aire para elementos de puertas y ventanas, estas no están asociadas a un determinado requerimiento prestacional por localidad, por lo que se hace necesario vincular esta clase de infiltración a un desempeño técnico energético particular para las distintas zonas climáticas, entendiendo la gran diversidad de climas que posee nuestro país.

A principios del año 2014, el MINVU desarrolló el anteproyecto de norma NTM 011/3 2014 “Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior”, el cual establece una primera apuesta para requerimientos térmicos en función de la clasificación de sus propiedades permeables de puertas y ventanas, que se basa en la norma de requisitos vigente NCh888 Of2000 (ver Tabla N°7):

Tabla N°7. Grado de estanquidad al aire de complejos de ventanas y puertas

Zona Térmica	Grado de estanquidad		
	100Pa		
	m ³ /h m ²		
A	---		
B	30	10	7
C	30	10	7
D	10		7
E	10		7
F	10		7
G	7		
H	7		
I	7		

Fuente: Anteproyecto de norma técnica Minvu NTM 011/3 2014

A nivel internacional, países como Estados Unidos ya poseen clases aceptables de infiltración para construcciones residenciales individuales, con el objetivo de limitar las pérdidas energéticas por infiltración. Este estándar, se basa en la determinación de clases de infiltración aceptable en función de las distintas condiciones climáticas de cada localidad.

3.2 Hermeticidad al aire de las edificaciones.

3.2.1 Experiencias e investigaciones en el área

El proyecto de investigación FondefD10 I 10 25 “Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile”, estableció la línea base de infiltración con una pertinencia del 90% del parque de edificación nacional de viviendas, contemplando la realización de cerca de 200 evaluaciones experimentales de hermeticidad al aire, a través de la técnica blower door test. Para aquello, se consideró la caracterización constructiva de las edificaciones habitacionales construidas entre el año 2010 al año 2011 (CITEC-UBB, 2012).

La Tabla N°8, muestra la participación de los distintos sistemas constructivos en función de su materialidad predominante de muros utilizados durante el año 2011. Se observa que la mayor participación del parque habitacional de viviendas, se destina a construcciones de sistemas pesados de hormigón armado (36%).

Tabla N° 8: Participación de los distintos sistemas de construcción, en función de su materialidad predominante de muros, utilizados el año 2011 en Chile.

Materialidad predominante en muros	Edificación total	Número	Superficie	
			m ²	%
Hormigón	7.012.075	54.640	3.841.653	36,8%
Ladrillo	4.112.918	47.655	3.389.983	32,5%
Madera	2.341.414	28.954	1.819.052	17,4%
Bloque cemento	470.225	6.790	425.586	4,1%
Paneles	322.888	3.462	232.206	2,2%
Metal panel preformado	1.776.007	1.128	110.826	1,1%
Adobe	19.060	80	11.776	0,1%
Otros	757.062	8.362	600.806	5,8%

Fuente: INE 2011.

El estudio de la muestra, se sustentó en el análisis de diferentes técnicas estadísticas, que dividió a la edificación conforme la materialidad predominante en muros en 5 niveles:

- ✓ hormigón,
- ✓ ladrillo
- ✓ ladrillo estructura liviana
- ✓ madera y otras materialidades.

Del estudio se desprende que las viviendas con mayor hermeticidad promedio corresponden a las de materialidad predominante de muro de hormigón armado con 9 renovaciones de aire por hora (1/h), y las que presentan menores valores de hermeticidad, corresponden de las viviendas de madera con 24,6 renovaciones de aire por hora (1/h).

La Tabla N°2, muestra el resumen de los resultados experimentales bases de las infiltraciones de aire de viviendas a nivel país.

Tabla N°2: Línea Base de Infiltraciones de aire de construcción habitacional en Chile por materialidad predominante en muros

Materialidad	Valor Línea Base n50 (1/h)	Mínimo Valor Muestra n50 (1/h)	Máximo Valor Muestra n50 (1/h)	Valores esperados con un 95% de confianza	
				Máx. n50 (1/h)	Mín. n50 (1/h)
Hormigón	9,0	2,6	28,6	7,8	11,2
Ladrillo	11,8	4,3	19,6	10,9	13,4
Ladr. /Estructura Liviana	15,0	2,3	49,2	11,7	13,8
Madera	24,6	4,5	49,8	18,6	30,6
Otras Combinaciones	10,2	3,3	15,7	7,9	12,6

Hermeticidad media construcción habitacional: 12,9 1/h a 50 Pa con valores esperados entre 11,1 y 14,7 1/h con un 95% de confianza

Fuente: Proyecto de investigación Fondef D10I1025, 2014.

Esta línea base de sustento experimental, corresponde al primer indicador de hermeticidad n50, que definió el fenómeno de las infiltraciones de viviendas a nivel país, y que sirve de referencia para conocer el estado actual de las infiltraciones nacionales.

A nivel internacional en materias de eficiencia energética, los países europeos, Estados Unidos y Canadá, nos llevan una gran brecha, siendo Suecia ya en el año 1975 el primer país que implementaba un método para determinar los niveles de hermeticidad en sus viviendas, o test de blower door y posteriormente en el año 1989 Alemania adoptaba esta técnica mejorada. Estos países, gracias al apoyo de sustento experimental, permiten construir sus líneas de bases de infiltración de aire, para luego exigir estándares de acuerdo a sus climas locales. A continuación se presentan las exigencias de clases de hermeticidad al aire aceptables de 16 países, trabajo extraído del estudio del estado del arte realizado en el proyecto de investigación FondefD01 I 1025.

Tabla N°10: exigencias de estándares a nivel internacional

País	Tipología	Valor límite máximo	Indicador	Unidad	Presión (Pa)	
Alemania	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	1,5				
Austria	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	1,5				
Bélgica	Viviendas con ventilación mecánica balanceada	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con recuperación de calor	1,0				
Bulgaria	Edificios	Alta estanqueidad	q50	m³/h m²	50	
		Media estanqueidad				2 a 5
		Baja estanqueidad				5,0
	Viviendas unifamiliares	Alta estanqueidad				4,0
		Media estanqueidad				4 a 10
Baja estanqueidad	10					
Eslovenia	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	2,0				
Estonia	Inmuebles pequeños	6,0	q50	m³/h m²	50	
	Inmuebles de gran tamaño	3,0				
Francia	Viviendas unifamiliares	0,8	q4	m³/h m²	4	
	Otros tipos de viviendas	1,2				
Letonia	Todo tipo de edificios	3,0	q50	m³/h m²	50	
Lituania	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica: menor a 1,5	1,5				
Noruega	Viviendas	3,0	n50	Vol./h	50	
Reino Unido	Viviendas	10,0	q50	m³/h m²	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	5,0				
EEUU y Canadá	Cuentan con su propio indicador Ln y sobre este se definen clases de la A a la J las que se aplican según los grados día de infiltración	0,1 a 1,6	Ln	-	-	
Suecia	Viviendas	0,8		l/s m²	50	
Suiza	Viviendas nuevas	0,75	q50	m³/h m²	4	
	Viviendas reformadas o modificadas	1,5				
Holanda	Viviendas suministro y extracción natural	30 a 200			10	
	Viviendas suministro natural y extracción mecánica					
	Viviendas suministro mecánico y extracción natural	50 a 80		l/s		
	Viviendas suministro y extracción mecánica					

Fuente: Proyecto de investigación Fondef D10I1025, 2014.

3.2.2 Exigencias y normativas de hermeticidad al aire de edificaciones

En materias de normativa, la norma UNE EN 13829:2000, establece el método de ensayo para determinar los niveles de permeabilidad al aire de las viviendas a través del ensayo o test de blower door. Este método fue creado en Suecia en el año 1975. En la actualidad este método de ensayo se encuentra consolidado y es muy usado como requerimiento de infiltraciones de edificios en países de Europa, Estados Unidos y Canadá, además de algunos protocolos de certificación voluntario de edificaciones tal como; estándar alemán Passivhaus, americano LEED, británico BREEAM, japonés CASBEE y español Verde.

La experiencia local en materiales de regulación, se puede decir que es reciente y única a nivel latinoamericano, existiendo precisamente en este año 2014, la primera norma de consulta pública NTM011/3 2014, relacionada con los requerimientos y mecanismos de acreditación para el acondicionamiento ambiental de las edificaciones, parte 3; hermeticidad al aire, que establece clases aceptables de infiltración por zona climática de infiltración.

Esta clasificación se basa en el estudio realizado en el proyecto FondefD01 I 1025 y que se sustenta principalmente en la metodología utilizada en Estados Unidos, país que contempla una diversidad climática compleja al igual que Chile y por ende se debe entender una diferencia en la exigencia de cada zona. El indicador apropiado que se contempló a estas condiciones fueron los grados días de infiltración, que depende de variables climáticas de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; y de la configuración y dimensiones características de las edificaciones en la localidad.

Este proyecto propuso una clase de infiltración aceptable a lo largo del territorio nacional, que se basó en dos criterios de cumplimiento del parque de viviendas por localidad; el primero corresponde al cumplimiento del 10% de estándares recomendados de infiltración de aire por localidad, derivados de la línea base y el segundo corresponde al cumplimiento de una demanda máxima de 40 kWh/ m² año por localidad. La siguiente Tabla N°11 muestra el resultado de los límites de hermeticidad al aire de edificaciones por provincias:

Tabla N°11: Límites de hermeticidad al aire de las edificaciones por provincias

ciudad	n50 límite para 40 kWh/m ² año (1/h)	n50 para 10% del parque edificación (1/h)	Valor de n50 límite propuesto (1/h) ¹	Demanda energética por infiltración para clase propuesta (kWh/m ²)
Arica	-	5,2	- ²	-
Putre	7,5	n/a	4	22
Iquique	-	4,8	- ²	-
Pozo Almonte	5,6	7,8	4	29
Tocopilla	-	n/a	- ²	-
Calama	3,5	5,1	4	46
Antofagasta	16,1	4,1	10	27
Chañaral	-	n/a	- ²	-
Copiapó	7,8	5,2	5	29
Vallenar	33,6	5,3	10	13
La Serena	16,2	5,4	8	21
Ovalle	13,7	13,7	6	12
Illapel	23,0	6,2	8	14
La Ligua	30,0	4,7	10	4
Los Andes	7,4	5,3	5	28
San Felipe	17,0	5,3	8	20
Quillota	18,6	5,3	8	18
Valparaíso	8,7	4,9	6	28
San Antonio	17,8	4,9	8	18
Hanga Roa	-	16,5	- ²	-
Quilpué	15,3	4,9	8	21
Colina	11,6	5,4	8	28
Santiago	7,6	4,9	6	32
Puente Alto	10,6	4,9	6	23
San Bernardo	9,9	6,0	6	25
Melipilla	16,9	5,4	6	14
Talagante	9,1	5,3	6	27
Rancagua	20,7	6,0	6	30
San Fernando	21,3	6,3	6	36
Pichilemu	12,8	12,8	6	11
Curicó	20,3	7,7	8	17
Talca	14,7	5,1	5	14
Linares	19,3	5,8	8	18
Cauquenes	9,8	6,0	8	33
Chillán	19,4	6,1	8	17
Los Ángeles	19,0	5,7	8	18
Concepción	8,3	5,0	5	24
Lebu	9,4	5,7	5	22
Angol	32,5	12,8	8	11
Temuco	12,7	4,9	5	16
Valdivia	18,1	5,0	5	11
La Unión	21,4	5,0	5	10
Osorno	16,9	5,6	5	13
Puerto Montt	9,2	7,6	5	22
Castro	18,1	15,1	5	12
Futaleufú	30,3	15,1	5	7
Coyhaique	5,0	13,7	4	32
Puerto Aysén	7,2	13,7	4	23
Chile Chico	11,5	13,0	4	14
Cochrane	8,7	15,1	4	19
Puerto Natales	8,2	15,1	4	20
Punta Arenas	3	13,7	4	53
Porvenir	9,5	12,8	4	17
Puerto Williams	4	13,8	4	41

Fuente: Proyecto Fondef D10I1025, 2014.

Capítulo 4. ESTRUCTURA DE PUNTOS DE FUGAS DE AIRE DE LA EDIFICACIÓN

Este capítulo estudia la estructura de los principales puntos críticos de infiltración de aire que se producen en las envolventes de las edificaciones.

Realiza un levantamiento de las experiencias internacionales, específicamente de Estados Unidos y de España, en donde se define la participación de las infiltraciones de la envolvente en términos de un valor porcentual de hermeticidad al aire de la edificación asociadas a las condiciones locales de construcción de los países expuestos.

Este capítulo, además define los principales puntos de fuga que se pueden deducir de las edificaciones nacionales, los cuales servirán de base para el estudio experimental.

4.1.1 Puntos críticos de infiltración en las edificaciones:

En Chile no existen estudios experimentales que permitan definir la estructura de los puntos críticos de infiltración de aire en edificaciones, no obstante muchos países desarrollados han entendido la gran influencia de las infiltraciones en las pérdidas energéticas de las edificaciones, con el objetivo de minimizarlas.

Se muestran dos estudios encontrados en los países de España y Estados Unidos, que definen de la hermeticidad de sus construcciones, asociadas a la calidad de construcción de cada país en particular.

Caso España:

Estudios realizados en la Universidad del País Vasco en el año 2008, determinan que las principales infiltraciones obtenidas mediante el test de hermeticidad al aire, se producen a través de las siguientes fuentes:

- a) Paredes; representan entre un 18% y 50% del total de fugas de aire que se producen en la envolvente, localizadas fundamentalmente en uniones de cerramientos, enchufes eléctricos y paso de tuberías.

Capítulo 4. ESTRUCTURA DE PUNTOS CRÍTICOS DE FUGA DE AIRE DE LA EDIFICACIÓN

- b) Techos; entre el 3% y 30% del total de fugas de aire, generándose las infiltraciones en el paso de tuberías, cableado y dispositivos de iluminación, los cuales deben tratarse con especial cuidado.
- c) Sistemas de ventilación; las fugas de aire varían del orden del 3% y 28%. Cuando se refiere a sistemas de ventilación, se habla de unidades de tratamiento de aire, sistemas de conductos, rejillas de ventilación, tomas de aire para combustión de calderas, sistemas de conductos, en donde para este último mencionado, estudios demuestran que se pueden eliminar las fugas desde un 25% hasta un 66%.
- d) Puertas y ventanas; representan entre 6% y 25% del total de las fugas y dependen del tipo de elementos que están constituidas las puertas y ventanas, como también depende de la calidad de sus sellados para impedir el paso del aire.
- e) Chimeneas; si existen en viviendas, pueden llegar a suponer un 30% del gasto energético. Cuando existen y no se utilizan, se cierran mediante
- f) tapones para chimeneas, con el fin de impedir el paso del aire, aunque este cerramiento rara vez funciona correctamente.
- g) Rejillas de extracción en espacios acondicionados; las fugas de aire pueden llegar a ser entre 2% y 12%. Estas rejillas reflejan ese valor al no disponer de buenos cerramientos o los que presentan no cierran correctamente el paso del aire.
- h) Difusión de aire a través de paredes; su influencia es pequeña, pero no deja de ser importante, aunque represente un 1% del total de las fugas.

La siguiente figura N°7 muestra los principales puntos de infiltración de aire en una vivienda tipo.

Capítulo 4. ESTRUCTURA DE PUNTOS CRÍTICOS DE FUGA DE AIRE DE LA EDIFICACIÓN

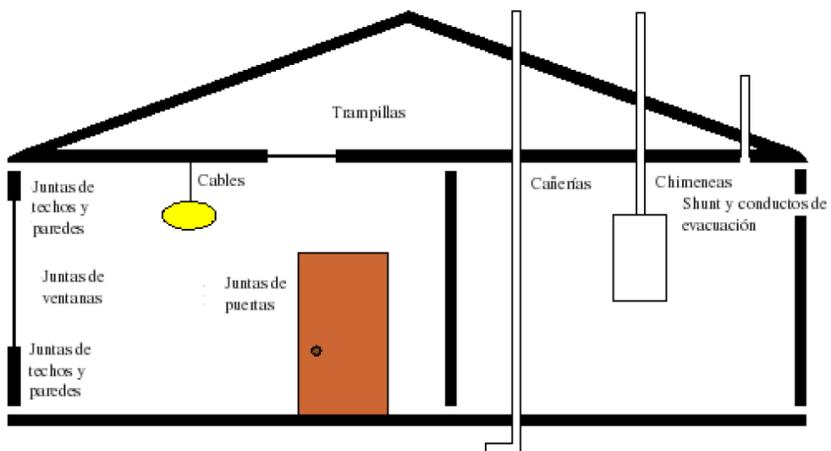


Figura N°7: Infiltraciones en una vivienda

Fuente: M. Odriozola, 2008 en su publicación; “Cálculo y medición de las infiltraciones de aire en los edificios”.

Caso Estados Unidos:

Estados Unidos ya en la década del 80, realiza sus primeros estudios para definir la línea base de infiltración. El departamento de Energía de Estados Unidos establece que sellando puntos críticos comunes como cielos rasos, paredes, ventanas, puertas, ventiladores, conductos, cajas de derivación se puede ahorrar hasta un 10% de las pérdidas energéticas.

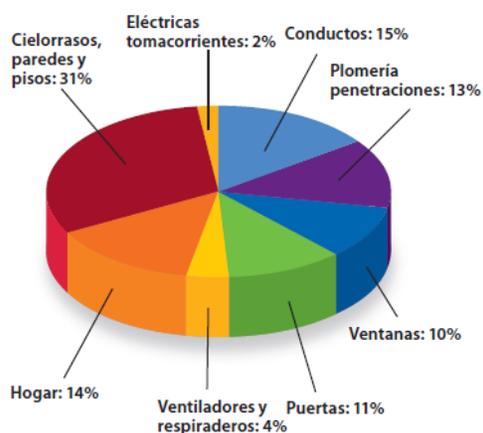


Figura N°8: Incidencia de las infiltraciones en E.E.U.U.

Fuente: Eficiencia energética y energía renovable, Oficina de Energía del Departamento de Energía de EE.UU. (U.S.Department of Energy).

4.1.2 Estructuras de puntos de fugas de edificaciones:

Se identifican los principales puntos de fuga de aire, en base a criterios definidos en investigaciones, literatura y principalmente experiencia desarrollada a través del proyecto de investigación Fondef D10I1025.

Del estudio se desprende que los niveles de infiltración de las viviendas, dependen de la materialidad de la envolvente, encontrándose pérdidas energéticas por infiltración del orden de 20% hasta un 60% (CITECUBB, 2013).

En base a los niveles de infiltración resultado de la línea base de infiltración de aire, los sistemas constructivos se pueden clasificar de acuerdo a su materialidad como sigue;

Tabla 12: Línea de base respecto el sistema constructivo

Tipología	Material predominante de muros	Línea base de hermeticidad (Vol/h)
Sistema pesado	Hormigón, albañilería de ladrillos, albañilería de bloques, etc.	9 - 11,8
Sistema mixto	Sistema pesado + sistema liviano	15
Sistema liviano	Madera, acero galvanizado, paneles prefabricados en base a madera, etc.	10,2 - 24,6

Fuente: Proyecto Fondef D10I1025, 2014.

Del capítulo de Diagnóstico, y de acuerdo al Keep Warm Illinois, “Hermeticidad, aislamiento y ventilación de la casa”, se pueden definir las principales infiltraciones o singularidades de infiltración en función de su sistema constructivo, de acuerdo a la siguiente tabla N°12:

Tabla N°13: Principales puntos de infiltración de aire en las edificaciones, según su materialidad

Sistema pesado	Sistema mixto	Sistema liviano
		1. Intersección losa inferior / muro exterior vertical.
2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.
	3. Muros livianos.	3. Muros livianos.
4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.
	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.
6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.
	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.
8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.
9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.
		10 Intersección entrepiso / muro exterior vertical.
11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.
12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.
13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.
14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.

Fuente: Manual de hermeticidad al aire de edificaciones

La Figura N°9 identifica esquemáticamente los principales puntos críticos de infiltración que se producen en una vivienda.

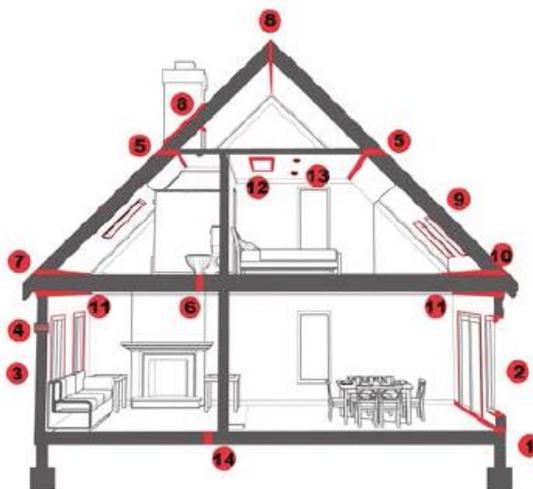


Figura 9: Identificación de los principales puntos de infiltración de aire

Fuente: Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones, 2014.

Capítulo 5. TÉCNICAS DE SELLADO

Este capítulo expone las principales especificaciones técnicas o medidas de sellado para resolver las infiltraciones de aire producidas en las edificaciones.

Se exponen algunos de los materiales presentes en el mercado local, clasificados por familias de sellado de la siguiente forma; membranas y cintas adhesivas, felpas de sellado, burletes, siliconas, espumas, cintas de sellado.

Finalmente, se entregan algunas especificaciones técnicas para el sellado de las infiltraciones de aire, en función de los sustratos y puntos críticos de infiltración.

5.1 *Materiales y técnicas de sellado*

La técnica de sellado a elegir, dependerá principalmente de la prestación y del tipo de sustrato que conforma la solución constructiva.

El tratamiento dependerá en general, de la materialidad predominante de la edificación, y de que cuan hermética sea su envolvente.

Este puede ser aplicado en la etapa de diseño, construcción o post construcción de la edificación. Para cada uno estas etapas existe un tratamiento a dock.

Principalmente las soluciones son aplicadas a puntos críticos de infiltración, originados entre uniones de dos o más elementos constructivos, pasadas de instalaciones tradicionales y defectos constructivos de la cáscara de la construcción.

En Chile existe un gran mercado asociado a productos tendientes a resolver la permeabilidad al aire de las construcciones dependiendo su necesidad. Las empresas disponibles en el mercado nacional, ofrecen una amplia gama de productos del tipo sellantes, selladores y barreras de aire, y poseen un alto nivel de servicio, que contemplan estándares ISO9000, en beneficio del cliente.

De acuerdo al Manual de Sellado de Estanqueidad para la Construcción, se deben tener presente siguientes substratos y materiales de apoyo a la hermeticidad para un correcto diseño y aplicación de las juntas de estanqueidad, a saber:

Sustratos porosos; comprendidos por hormigón, ladrillo, granito, mármol y otros materiales porosos.

Sustratos no porosos; comprendidos por materiales como aluminio, el acero y el vidrio se asocian normalmente con ventanas o sistemas de muro cortina.

Materiales de apoyo y accesorios; se consideran materiales como el polietileno de célula cerrada, polietileno de célula abierta, poliuretano de célula abierta, cinta antiadherente, y otros materiales accesorios tales como juntas extruidas, rellenos de juntas, calzos, membranas impermeabilizantes, revestimientos o pinturas protectoras.

El siguiente Cuadro N°1, es un resumen los escapes de aire más comunes y sus métodos de sellado recomendado por el Proyecto de Investigación Fondef D10I1025, 2014.

Cuadro N°1: principales fugas de aire de una vivienda

Tipo de Escape	Selladores habitualmente Usados
Espacios pequeños entre los miembros de madera de apoyo y los cables, las cañerías o conductos a través de los pisos o las paredes.	Calafateo de 40 años; se recomienda una parte de poliuretano.
Los escapes a los áticos, a los cielos rasos tipo catedral, a las cavidades de la pared sobre la planta baja de ancho, que no requieran calafateo	Calafateo anti-incendio.
Espacios, grietas o agujeros de más de ½" anti-incendio para los tubos, plenos, sifón de plomería, etc.	El sellador de espuma de juntas o relleno con fibra de vidrio o fondos de vara, y calafateo en la parte superior.
Zonas abiertas alrededor de los tubos, rutas	Pegar y calafatear un pedazo de madera contrachapada o material de revestimiento de espuma que cubra completamente la apertura. Sellar las penetraciones. Si un tubo el lugar que abarque el espacio collar no combustible de metal, sellado en separación no combustible.
Material final de la barrera de aire	Utilizar el método hermético de mampostería seca, membrana continua, u otro sistema de barrera de aire.

Fuente: Proyecto Fondef D10I1025, 2014.

Los principales riesgos asociados a un sellado deficiente son; pérdidas de calor por infiltraciones de aire, infiltraciones directas de aguas lluvias desde el exterior y riesgos de condensación superficial, por efecto de la junta fría.

La elección del sellante adecuado, depende en gran medida de las superficies los dos materiales que queremos aislar/sellar.

En el mercado nacional existen distintos tipos de elementos y materiales para desarrollar un eficiente sellado, una manera de agruparlos es por familias, de este modo se tienen las familias de membranas, siliconas, cintas, espumas, burletes, tapajuntas, etc.

El Cuadro N°2, presenta un resumen de los elementos disponibles en el mercado y su uso referente a la etapa de utilización:

Cuadro N°2: Técnicas de sellado y etapas de uso

Técnica	Especificación	Aplicación	Etapas de uso
Membrana y cinta adhesiva	Barreras de aire y agua, permeables al vapor de agua.	Envolvente	Diseño – construcción
Felpas de sellado	Pueden ser de polipropileno en distintos espesores y calidades.	Juntas de puertas y ventanas	Diseño – construcción - post construcción
Burletes	Pueden ser de diferentes formas y materiales; metal, fieltro o espuma, vinilo, plástico, goma, PVC, o combinación.	Juntas de puertas y ventanas	Diseño – construcción - post construcción
Siliconas	Viene en tubo en diferentes componentes adecuados a distintos sustratos. Pueden ser de silicón, látex, caucho-butilo, a base de aceite y resinas, uretano	Uniones y grietas pequeñas.	Construcción - post construcción
Espuma	Pueden ser a base de agua de baja expansión o poliuretano expandido.	Espacios y grietas mayores.	Construcción - post construcción
Cintas selladoras	Formulada con adhesivo acrílico permite un rápido sellado y trabajo en temperaturas extremas.	Encuentros entre elementos y grietas.	Construcción - post construcción

Fuente: Proyecto Fondef D10I1025, 2014.

Respecto a las familias de soluciones existentes en Chile, podemos encontrar los siguientes productos:

✓ **Membranas**

AIR GARD

Producto a base de membranas de polipropileno cubierta con un film de polipropileno extraído. Ambos la membrana y el film contienen antioxidantes y aditivos estabilizadores que otorgan una efectiva protección en contra de la acción degradante de la radiación ultravioleta, producen ahorro de energía y dinero de dos maneras importantes:

TYVEK

Membrana a prueba de viento y agua sólo representan una parte muy pequeña del espesor total de pared, techo y estructuras, sus características son absolutamente vitales y deben ser preservados para toda la vida de los elementos que forman parte.

FlexWrap NF de Dupont

Cinta elástica y flexible, formado por 3 componentes: un ondulado DuPont™ Tyvek® lámina superior proporciona una capa de agua fuerte, la masa de butilo como una capa de adherencia y un forro de papel de liberación lo que proporciona una excelente adherencia a prueba de agua, recomendable para aplicar alrededor de marcos de puerta y ventanas, ductos de chimeneas y tuberías.

STOGUARD

Es un sistema de productos, que cuando se combinan, forman una barrera de aire y agua que es permeable al vapor y se aplica con rociador. Se pone directamente a la enfundadura, juntas y aberturas ásperas y se usa en vez de envolturas de ladrillo, madera, vinilo, revestimientos de cemento, estuco de cemento Portland y EIFS.

✓ **Felpas de sellado**

Deben ser del tipo Fin SealCon una mayor densidad de pelo y una barrera en el centro formada por un FILM de polipropileno soldada a lo largo de su base le otorga una mayor estanqueidad y un funcionamiento mecánico de gran duración

- **Burletes**

Se distinguen 2 grupos de burletes: los que sirven para el vidriado de las hojas y los de contacto; ambos deben ser en material E.P.D.M. y Santo Prene.

Los burletes y felpas tienen un período de vida, en condiciones correctas, inferior (10 años en régimen normal de uso) al de los elementos estructurales de las ventanas, por lo que deberán ser sustituibles.

Según la función que desempeñan en las puertas y ventanas, los elementos de sello se clasifican en los siguientes tipos:

- Burletes para el acristalamiento
- Burletes de estanquidad para ventanas practicables

✓ **Cintas Selladoras**

Huincha aislante

Las espumas de huincha aislante de doble contacto están especialmente diseñadas para sellar marcos por el medio marco de ventana.

Masilla para sellar el conducto con cinta de malla de fibra de vidrio. Esta masilla es altamente preferida y proporcionará un curso de vida de sello hermético.

Calafateo de alta calidad o sello de espuma; y Cinta de aluminio UL-181 A o cinta B. Scotch Cinta de Aluminio 3326, especialmente formulada con adhesivo acrílico permite un rápido sellado y trabajo en temperaturas extremas. Sin embargo, tiene que ser instalada correctamente para ser eficaz.

✓ **Siliconas**

Los sellantes de silicona pueden formularse para adherirse a todos los materiales de construcción de fachadas más comunes, incluyendo el hormigón, la piedra natural, el ladrillo, el aluminio, el acero y el vidrio.

Los sellantes de silicona se pueden formular como adhesivos estructurales de módulo alto o sellantes impermeabilizantes de módulo bajo y de alto movimiento. Los sellantes de silicona son resistentes de forma inherente a la perjudicial luz ultravioleta (UV) del sol y son también estables, una vez curados, en temperaturas desde -40°C hasta 150°C. Los sellantes de silicona también pueden formularse para reducir la acumulación de suciedad y no manchar los sustratos porosos sensibles tales como el mármol o el granito.

Los productos sellantes cumplen dos funciones básicas: unión y estanquidad.

La técnica más común y sencilla de aplicación para resolver las infiltraciones, corresponde al calafateo. Según el Keep Warm Illinios, Hermeticidad Aislamiento y Ventilación de la Casa, Serie Hogar 1, establece las siguientes recomendaciones de uso para este tipo de técnica en grietas del tipo pequeña:

Cuadro N°3: Material para calafateo para grietas pequeñas, conforme a su uso recomendado.

Tipo de material de calafateo	Uso recomendado
Silicón	Sella los más diversos materiales de construcción, como madera, piedra, revestimiento metálico y ladrillo. Buena flexibilidad, se estima que pueden tener una duración de 20 años
Látex	Sella juntas alrededor de bañeras y duchas. Rellena grietas en mosaicos, yeso, vidrio y plástico; rellena orificios de clavos. Poca flexibilidad, duración entre 2 a 10 años.
Caucho butílico	Sella los más diversos materiales, como vidrio, metal, plástico, madera y concreto. Sella alrededor de ventanas y revestimientos. Fija tejas de madera flojas. Elástico, duración más de 10 años.
A base de aceite y resinas	Sella juntas externas y juntas en los materiales de construcción. Mala adherencia, económica, duración baja entre 1- 4 años.
Uretano	Sella los más diversos materiales de construcción, como vinilo, madera, piedra, revestimiento metálico y ladrillo. Buena adherencia y muy duradero.

Fuente: Elaboración propia según Keep Warm Illinois, 2014.

Para grietas mayores, este mismo documento recomienda las siguientes técnicas de espuma expansiva:

Cuadro N°4: Material para calafateo para grandes grietas, conforme a su uso recomendado.

Tipo de material de calafateo	Uso recomendado
Sellador de espuma a base de agua de baja expansión	Alrededor de marcos de ventanas y puertas, en grietas pequeñas. No tóxica y 24 horas de secado.
Espuma de poliuretano expansiva	Se expande al curarse; es buena para grietas más grandes en interiores y exteriores. Use en áreas de poca fricción, ya que el material se seca y se hace polvo con el tiempo.

Fuente: Elaboración propia según Keep Warm Illinois, 2014.

Capítulo 6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Este capítulo describe la metodología experimental para el estudio y análisis de las infiltraciones de aire de viviendas de la ciudad de Concepción.

Específicamente este trabajo permite generar a través del desarrollo experimental, la caracterización de las principales singularidades de infiltración de aire, que se producen en cuatro viviendas de materialidades representativas.

De la definición de los principales puntos singulares de infiltración de aire realizada en el marco teórico de este mismo documento, se recogen los de mayor impacto en la hermeticidad al aire de viviendas, con el objetivo de evaluarlos experimentalmente y determinar los valores reales de infiltración de aire en las viviendas sujetos de estudio.

Del marco teórico, se seleccionan además las principales técnicas de sellado disponibles en el mercado nacional, con el objetivo de evaluar su impacto en la reducción de las infiltración de aire de las viviendas, a través de ensayos de laboratorio y de terreno.

Finalmente, se realiza un estudio y análisis de factibilidad técnica, y económica de la inversión inicial, en función de la aplicación de las técnicas de sellado evaluadas, en el cumplimiento de niveles aceptables de hermeticidad al aire en viviendas, según clases recomendadas por el Proyecto Fondef D10I1025.

La siguiente secuencia de actividades, sintetiza el trabajo experimental desarrollado en la presente tesis:

6.1 Definición de los principales puntos de fugas, conforme al estudio del estado del arte nacional e internacional:

Se definen los principales puntos críticos de infiltración de aire, en base a Tabla N°13 “Principales puntos críticos de infiltración de aire en viviendas”, basado en experiencia internacional (Estados Unidos y España) y local (experiencia desarrollada en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, CITEC-UBB).

Tabla N°13 “Principales puntos críticos de infiltración de aire en viviendas”

Sistema pesado	Sistema mixto	Sistema liviano
		1. Intersección losa inferior / muro exterior vertical.
2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.
	3. Muros livianos.	3. Muros livianos.
4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.
	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.
6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.
	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.
8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.
9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.
		10 Intersección entrepiso / muro exterior vertical.
11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.
12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.
13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.
14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.

Fuente: Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones, 2014.

6.2 Definición de prototipos y puntos de infiltración de interés:

Una vez seleccionadas las principales singularidades, se procede a la definición de los prototipos de ensayo, conforme al tipo de ensayo a realizar e interés de la investigación.

6.2.1 Prototipos de laboratorio:

Conforme al estudio de la línea base, se observa que las mayores infiltraciones se producen en las viviendas de madera, por ende, resulta interesante estudiar los puntos de infiltración identificados de sistemas constructivos livianos; madera, acero galvanizado liviano, SIP y otros.

Por otro lado, los sistemas constructivos de naturaleza hermética, tal como; hormigón armado y albañilería, poseen puntos críticos en las uniones con otros elementos de sistemas livianos, especialmente en uniones de muros con cielos y uniones de muros de diferente materialidad.

Por otra parte, existen elementos constructivos que de acuerdo a la experiencia, presentan grandes aportes a las pérdidas energéticas por infiltración, como son las puertas y ventanas.

En cuadro N°5, muestra la definición de 20 ensayos, o puntos de interés, acompañado de una mejora de hermeticidad al aire, mediante una técnica de sellado.

Cuadro N°5, Singularidad o elemento a evaluar en laboratorio.

Ítem	Singularidad o elemento
1	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles
	Instalación topes estancos de goma en ventana aluminio
2	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles
	Instalación deflectores de plásticos con aletas en ventana aluminio
3	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles
	Instalación de felpa por todo el contorno
4	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles
	Instalación topes estancos de goma en ventana PVC
5	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC
6	Puerta madera sólida con cerradura y espacio inferior 5mm
	Colocación de burletes de caucho en perímetro y parte inferior de la puerta
7	Encuentro muro albañilería con cielo estructura madera
	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera
8	Encuentro muro de madera sobre marco de madera
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro
9	Encuentro esquina de muros madera
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro
10	Encuentro muro de madera con fundación
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro
11	Encuentro entepiso de madera con muro de madera
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro
12	Encuentro sobremarco sobremarco madera-marco madera-ventana
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro
13	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera
15	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera
16	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior
	Cambio de revestimiento exterior por Smart panel 11.1mm
17	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior
	Cambio de revestimiento interior por yeso cartón 10mm
18	Muro de madera con punto de pasada de agua potable (1)
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería
19	Muro madera por punto de pasada de instalación de gas(1)
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería
20	Muro de madera por punto eléctrico (módulo mixto interruptor-enchufe) (1)
	Sello de espuma de poliuretano, SIKA Boom por el contorno de la tubería

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Definición de prototipos de viviendas.

Los prototipos de viviendas se seleccionan sobre la base de tipologías de viviendas aisladas, cuyo nivel de participación es de un 25,2%, según fuentes INE para edificaciones construidas en el año 2011.

Conforme a la materialidad predominante de muros de viviendas para la ciudad de Concepción, el cuadro N°6, expone los porcentajes de participación para los principales sistemas constructivos:

Cuadro N°6. Participación de sistemas constructivos de viviendas en la ciudad de Concepción.

Sistema constructivo	Cantidad de viviendas	Porcentaje de participación
Albañilería- madera (Sistema Mixto)	374	52%
Hormigón (Sistema Pesado)	175	24%
Albañilería (Sistema Pesado)	37	5%
Madera (Sistema liviano)	25	3%
Otras combinaciones	85	12%
Otras (metal, paneles)	24	3%

Fuente: Propia en base de INE, 2011.

En base a la información presentada, se definen las siguientes materialidades predominantes de muros a ensayar: Sistema pesado; hormigón armado dos pisos, Sistema Mixto; albañilería primer piso -tabique de acero liviano en segundo piso, Sistema Mixto: albañilería en primer piso - panel SIP en 2 piso y sistema Liviano; madera en 1 piso.

En el siguiente Cuadro N°7, se muestran resumidamente las especificaciones de las viviendas sujetos de estudio:

Cuadro N°7. Viviendas Evaluadas en Terreno.

		
<p>Vivienda N°1 Concepción (110 m²) Hormigón armado Radier hormigón Estructura de techumbre madera Ventanas PVC corredera DVH Puerta ppal.: madera masisa Sistema de ventilación pasivo Extracción forzada</p>	<p>Vivienda N°2 Coronel (95 m²) Albañilería - acero liviano Radier hormigón Estructura de techumbre madera Ventanas PVC correderas vidrio simple Puerta ppal.: terciado Sistema de ventilación pasivo Extracción forzada</p>	<p>Vivienda N°3 San Pedro (120 m²) Albañilería – panel SIP Radier hormigón Estructura de techumbre madera Ventanas PVC correderas vidrio simple Puerta ppal.: terciado Sistema de ventilación pasivo Extracción forzada</p>
		
<p>Vivienda N°4 Concepción (51,04m²) Madera Radier hormigón Estructura de techumbre madera Ventanas aluminio vidrio doble Puerta ppal.: madera masisa.</p>		

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la materialidad de construcción de las viviendas, en el siguiente cuadro se definen las singularidades o elementos críticos de infiltración de aire a evaluar, comunes en las diferentes viviendas estudiadas:

Cuadro N°8. Singularidades a evaluar por vivienda.

Singularidades	Vivienda N°1	Vivienda N°2	Vivienda N°3	Vivienda N°4
Ventilación natural	√	√	√	
Celosías no regulables de ventilación (baño y cocina)	√	√	√	√
Extracción forzada (baño y cocina)	√	√	√	-
Ventanas	√	√	√	√
Puerta principal	√	√	√	√
Puerta secundaria	√	√	√	√
Instalaciones eléctricas	√	√	√	
Tapa gotera	√	√	√	√
Encuentro muro de madera con fundación	-	-	-	√
Encuentro muro con cielo	-	-	-	√
Ducto caños chimenea	-	-	-	√
Otros	√	√	√	√

Fuente: Elaboración propia

6.3 Evaluaciones experimentales

El estudio contempla el desarrollo de trabajo experimental, en base a técnicas de laboratorio y utilización de procedimientos estandarizados en normas de ensayo.

Para los ensayos de Laboratorio, se determinan las propiedades de permeabilidad al aire de elementos y puntos críticos de infiltración, con el objetivo de levantar información base, para reducir las infiltraciones de aire en el cumplimiento de estándares de hermeticidad de las viviendas evaluadas.

Respecto a los ensayos de terreno, se define principalmente la estructura de infiltraciones de aire para cada una de las viviendas representativas evaluadas, con el objetivo de definir el valor de hermeticidad al aire para cada uno de los puntos críticos evaluados, referentes al total de la hermeticidad al aire de la vivienda.

Por otra parte, se determinan en terreno los valores de hermeticidad al aire, respecto a la disminución de las infiltraciones de aire en las viviendas estudiadas, al aplicar algunas técnicas de sellados post-construcción más importantes, con el objetivo de ser utilizadas en los análisis técnicos para el cumplimiento de estándares de hermeticidad recomendados.

A continuación se describe la metodología experimental desarrollada para los ensayos de laboratorio y de terreno.

6.3.1 Ensayos de laboratorio

Para las evaluaciones de laboratorio se utilizan técnicas de evaluación experimental estandarizadas, realizadas en el banco de ensayo o cámara de infiltraciones, basadas en la norma chilena NCh892 Of2001 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayo de estanquidad al aire.

Este método es equivalente a la norma UNE-EN 1026 para puertas y ventanas, y consiste en ubicar el elemento de tamaño natural, en un banco de prueba o cámara estanca y someterlo a una escala de presiones diferenciales controladas, durante un periodo de tiempo determinado.

Esta cámara está dotada de un sistema neumático, que permite el flujo controlado de aire y agua, para satisfacer las condiciones del ensayo.

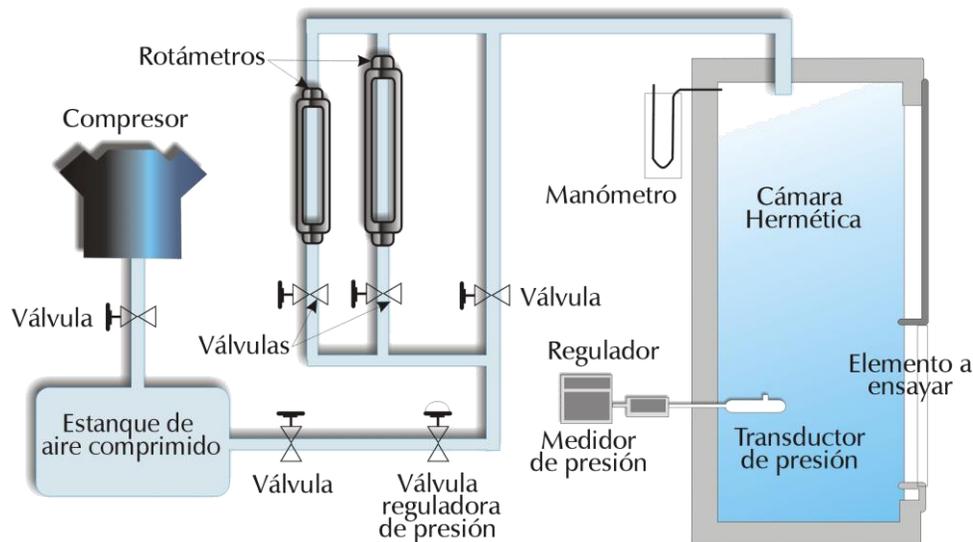


Figura N°10: Esquema gráfico de equipo de infiltración del laboratorio de Física de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, dependiente de CITEC UBB.

Fuente: Información perteneciente a CITEC de la Universidad del Bío Bío

El resultado del ensayo de la estanquidad al aire de los elementos, se expresa a través de sus coeficientes de infiltración por unidad de superficie expuesta ($\text{m}^3/\text{h m}^2$) y por metro lineal de junta ($\text{m}^3/\text{h m}$), medidos a un diferencial de presión de 100Pa.

Estos ensayos evalúan la efectividad de algunas técnicas de sellado aplicadas sobre elementos y singularidades.

Es importante mencionar, que el tamaño de las probetas a confeccionar, está condicionado a los requisitos de ensayo de la cámara de infiltración, la cual permite ensayar probetas de tamaño máximo 2m x 2m, no obstante el tamaño de cada uno de los elementos a evaluar, dependerá del sistema constructivo a fabricar y área de interés a evaluar, que en el peor de los casos tendrá un área de ensayo de 0,5m x 0,5m. Ver figura N°11 y N°12.



Figura N°11 y Figura N°12: Cámara de infiltración del laboratorio de Física de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, dependiente de CITEC UBB.

Fuente: Elaboración Propia

6.3.2 Ensayos de terreno

Para las evaluaciones de terreno, se utilizó el procedimiento descrito en la norma UNE EN 13829-2000 Aislamiento térmico – Determinación de la estanquidad al aire en edificios- Método de presurización por medio de ventilador (ISO9972:1996, modificada), equivalente a la norma ASTM E 779, que entrega los niveles de hermeticidad o renovaciones de aire por hora de una edificación, a una presión diferencial de 50Pa.

La metodología experimental, se basa en la obturación de los elementos o sistemas sujetos de estudio, a través del sellado hermético mediante cintas adhesivas.

La metodología experimental considera la evaluación de las principales singularidades, resultantes de los ensayos de laboratorio y pertinentes a la investigación.

En términos prácticos, el ensayo consiste en la instalación de una puerta de lona con un ventilador incorporado, en reemplazo de una de las puertas de la envolvente de la edificación. Se toma la presión base, y se presuriza y despresuriza la edificación a distintas diferencias de presión que parten de 25Pa hasta los 70Pa, para aquello y de acuerdo a los niveles de infiltración, se van agregando o quitando los anillos que tapan el ventilador, para el control de los caudales generados por equipo, que es registrado por un adquisidor electrónico.



Figura N°13. Blower door test.

Fuente: Laboratorio de Física de la Construcción, perteneciente a CITEC de la Universidad del Bío Bío.

El equipo para mediciones de viviendas de tamaño normal, tiene una capacidad de flujo de 510 m³/h a 10.710 m³/h y está compuesto de los siguientes componentes esenciales:

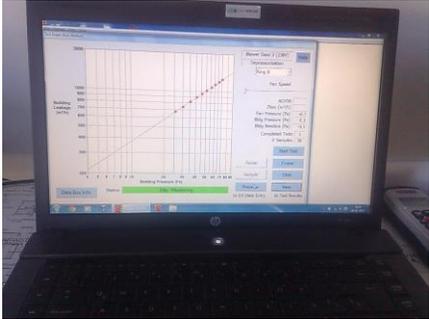
Imagen	Especificación Técnica
	<p>Ventiladores ¾ hp</p>
	<p>Medidor de Presión Flujo DG 700</p>
	<p>Marco plegable de aluminio Panel de Nylon</p>
	<p>Software TECTITE Express V 4.0</p>

Figura N°14. Equipamiento para evaluar la hermeticidad al aire de una edificación.

Fuente: Elaboración propia en base a información perteneciente a CITEC de la Universidad del Bío Bío.

6.4 Expresión de resultados

Los resultados se expresan en una unidad común de hermeticidad al aire, por convención la más utilizada por las normativas y exigencias internacionales, es decir renovaciones de aire por hora a una diferencia de presión de 50Pa.

Como los resultados obtenidos en los ensayos de Laboratorio se expresan por sus coeficientes de infiltración a 100Pa, es necesario llevarlos a 50Pa para fines comparativos respecto a los valores que otorga el test de blower door. La ecuación para conversión de presión, extraída de la norma chilena NCh3290:2013, es la siguiente

$$Q = Q_{100} (\Delta P/100)^{2/3}, \text{ donde;}$$

Q = permeabilidad al aire en referencia a una presión de ensayo de 100 Pa;

Q_{100} = permeabilidad al aire a una presión de ensayo P .

6.5 Evaluación técnica – económica

Conforme a los resultados obtenidos, se realiza un análisis de costos de la inversión inicial para cada una de las viviendas objetos de estudio, incorporando los resultados producto de la aplicación de algunas de las técnicas de sellado evaluadas para reducir las infiltraciones de aire, en función del cumplimiento de estándares de hermeticidad recomendados para la ciudad de Concepción por el Proyecto de investigación Fondef D10I1025.

Este estudio pretende comprobar la hipótesis en relación al costo límite de mejora, correspondiente a \$2000/m². Valor estimado a través de posibilidad de mayor pago para viviendas del tipo social, y que fluctúa entre un 0,5% y 1% del valor inicial de la vivienda, por concepto de inversión en mejoras que ayuden a reducir las infiltraciones de aire.

Capítulo 7. ANÁLISIS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este apartado se resumen los resultados obtenidos del trabajo experimental, concernientes a las evaluaciones de laboratorio y de terreno; ensayo de permeabilidad al aire de materiales, soluciones constructivas y singularidades, y ensayos de hermeticidad al aire de distintos elementos y singularidades de las edificaciones estudiadas.

7.1 Evaluaciones a nivel de laboratorio

En este punto se realiza un análisis de los resultados de las evaluaciones experimentales de laboratorio, con el objeto de poner en relación distintas soluciones de mejora con el nivel de reducción en la infiltración.

En la Cuadro N°9, se muestran los principales resultados obtenidos de las evaluaciones de laboratorio, en relación a la incidencia de su aplicación como técnica de sellado, respecto de la infiltración estudiada:

Cuadro N°9. Permeabilidad al aire de elementos constructivos y singularidades.

Ítem	Singularidad o elemento	Unidad	Permeabilidad	
			100Pa	50Pa
1	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24,05	15,15
	Instalación topes estancos de goma en ventana aluminio	m ³ /h m ²	16,45	10,36
2	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24,05	15,15
	Instalación deflectores de plásticos con aletas en ventana aluminio	m ³ /h m ²	23,55	14,84
3	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24,05	15,15
	Instalación de felpa por todo el contorno	m ³ /h m ²	13,53	8,52
4	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	19,35	12,19
	Instalación topes estancos de goma en ventana PVC	m ³ /h m ²	17,78	11,20
5	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	19,35	12,19
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC	m ³ /h m ²	19,08	12,02
6	Puerta madera sólida con cerradura y espacio inferior 5mm	m ³ /h m ²	250,8	158
	Colocación de burletes de caucho en perímetro y parte inferior de la puerta	m ³ /h m ²	0,80	0,50
7	Encuentro muro albañilería con cielo estructura madera	m ³ /h m	32,75	20,57
	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera	m ³ /h m	0,04	0,03
8	Encuentro muro de madera sobre marco de madera	m ³ /h m	5,08	3,20
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m	0,04	0,03
9	Encuentro esquina de muros madera	m ³ /h m	4,91	3,09
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m	0,25	0,16
10	Encuentro muro de madera con fundación	m ³ /h m	2,28	1,44
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m	0,04	0,03
11	Encuentro entrepiso de madera con muro de madera	m ³ /h m	1,60	1,01
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m	0,07	0,04
12	Encuentro <u>sobremarco</u> madera-marco madera-ventana	m ³ /h m	0,38	0,24
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m	0,03	0,02
13	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7,11	4,50
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera	m ³ /h m ²	2,94	1,85
15	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7,11	4,50
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera	m ³ /h m ²	3,13	1,97
16	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7,11	4,50
	Cambio de revestimiento exterior por Smart panel 11.1mm	m ³ /h m ²	2,43	1,53
17	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7,11	4,50
	Cambio de revestimiento interior por yeso cartón 10mm	m ³ /h m ²	2,95	1,86
18	Muro de madera con punto de pasada de agua potable (1)	m ³ /h m ²	1,63	1,03
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0,23	0,14
19	Muro madera por punto de pasada de instalación de gas(1)	m ³ /h m ²	1,28	0,81
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0,02	0,01
20	Muro de madera por punto eléctrico (módulo mixto interruptor-enchufe) (1)	m ³ /h m ²	5,22	3,29
	Sello de espuma de poliuretano, SIKA Boom por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0,25	0,16

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de CITEC de la Universidad del Bío Bío

El siguiente Cuadro N°10, muestra las disminuciones unitarias de infiltración de aire al aplicar estas técnicas de sellado evaluadas, expresada como infiltraciones promedios a 50Pa, con el objetivo de ser utilizadas de forma parcial en la reducción de las infiltraciones a niveles aceptables de hermeticidad de la vivienda.

Cuadro N°10. Técnicas de sellado v/s nivel de reducción de permeabilidad al aire.

Descripción	Singularidad o elemento	Unidad	Aporte	
			100Pa	50Pa
Ventana	Instalación topes estancos de goma en ventana alum. 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	7,60	4,79
	Instalación deflectores de plásticos con aletas en ventana alum. 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	0,50	0,32
	Instalación de felpa por todo el contorno de la ventana de alum. 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	10,52	6,63
	Instalación topes estancos de goma en ventana PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	1,57	0,99
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	0,27	0,17
Puerta	Colocación de burletes de caucho en perímetro y parte inferior de la puerta madera sólida, con cerradura y espacio inferior 5mm	m ³ /h m ²	250,00	157,50
Muros	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera en encuentro muro albañilería con cielo estructura madera	m ³ /h m	32,71	20,61
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro muro de madera sobre marco de madera	m ³ /h m	5,04	3,18
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro esquina de muros madera	m ³ /h m	4,66	2,94
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro muro de madera con fundación	m ³ /h m	2,24	1,41
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro entrepiso de madera con muro de madera	m ³ /h m	1,53	0,96
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro de sobremarco madera-marco madera-ventana	m ³ /h m	0,35	0,22
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	4,17	2,63
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	3,98	2,51
	Colocación membrana Tyvek a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	3,48	2,19
	Cambio de revestimiento exterior tinglado madera por Smart panel 11.1mm en muro de madera con traslapes madera interior	m ³ /h m ²	4,68	2,95
	Cambio de revestimiento interior traslapo de madera por yeso cartón 10mm en muro de madera con tinglado madera exterior	m ³ /h m ²	4,16	2,62
Instalaciones	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de pasada de tubería de agua potable en muro de madera	m ³ /h m ²	1,40	0,88
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de pasada de tubería de instalación de gas en muro de madera	m ³ /h m ²	1,26	0,79
	Aplicación de sello de espuma de poliuretano, por el contorno de la caja de módulo mixto en muro de madera	m ³ /h m ²	4,97	3,13

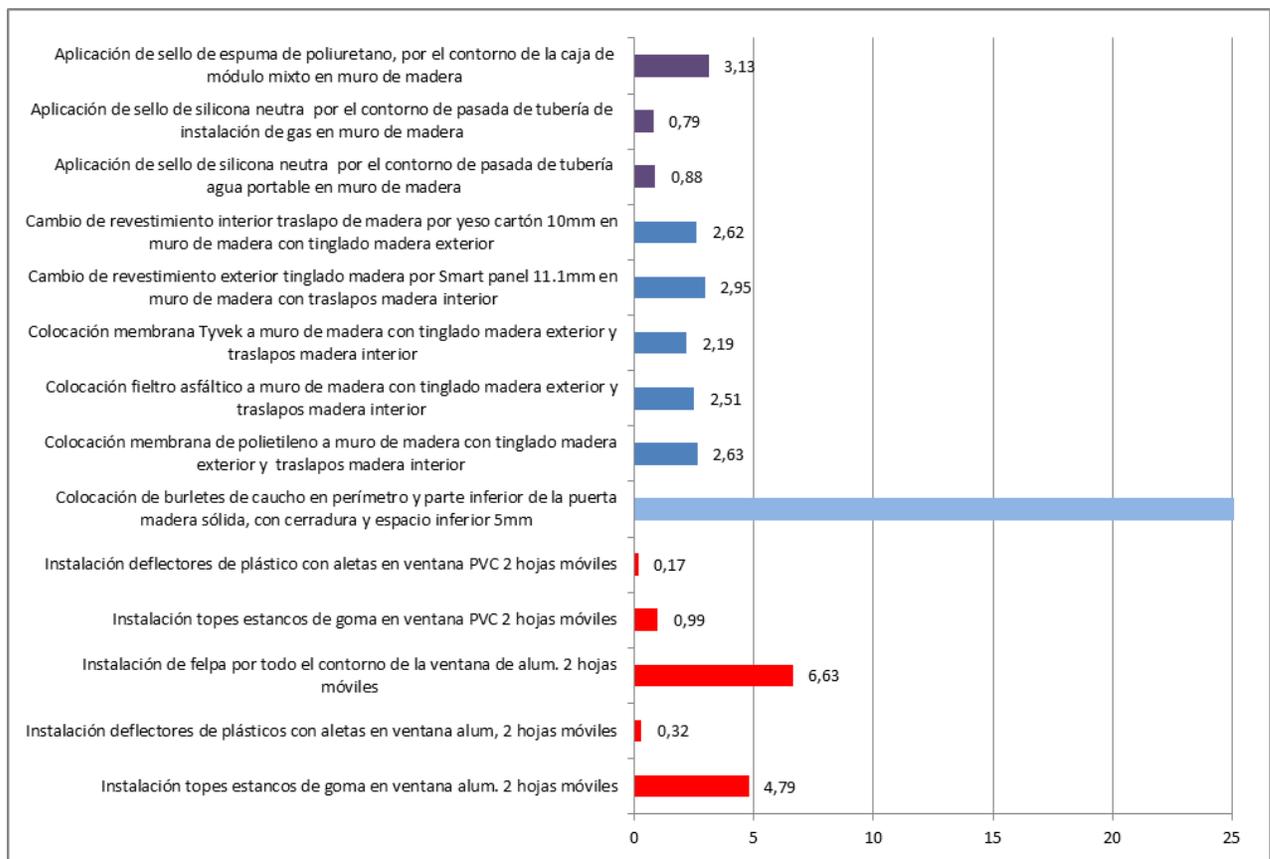
Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio.

Nota:

- (1) Muro de madera compuesto por estructura de pino de 90mmx45mm distanciada a 40cm, aislación poliestireno expandido 40mm, revestimiento interior yeso-cartón 10mm, polietileno 0,2mm por el interior, fieltro asfáltico 15 lb por el exterior, revestimiento exterior Smart panel 11,1mm.

El Gráfico N°1, muestra la incidencia en la reducción de las infiltraciones de las técnicas de sellado estudiadas, agrupadas en función de su coeficiente de infiltración por unidad de superficie. Se observa que la mayor incidencia de las infiltraciones por superficie, se produce en las técnicas de sellado aplicadas sobre las puertas ($157,5 \text{ m}^3/\text{h m}^2$), no obstante este corresponde a un impacto unitario, y no refleja el valor total de una vivienda, ya depende de la superficie total afectada de muro, cantidad de puertas y ventanas de la envolvente de la edificación.

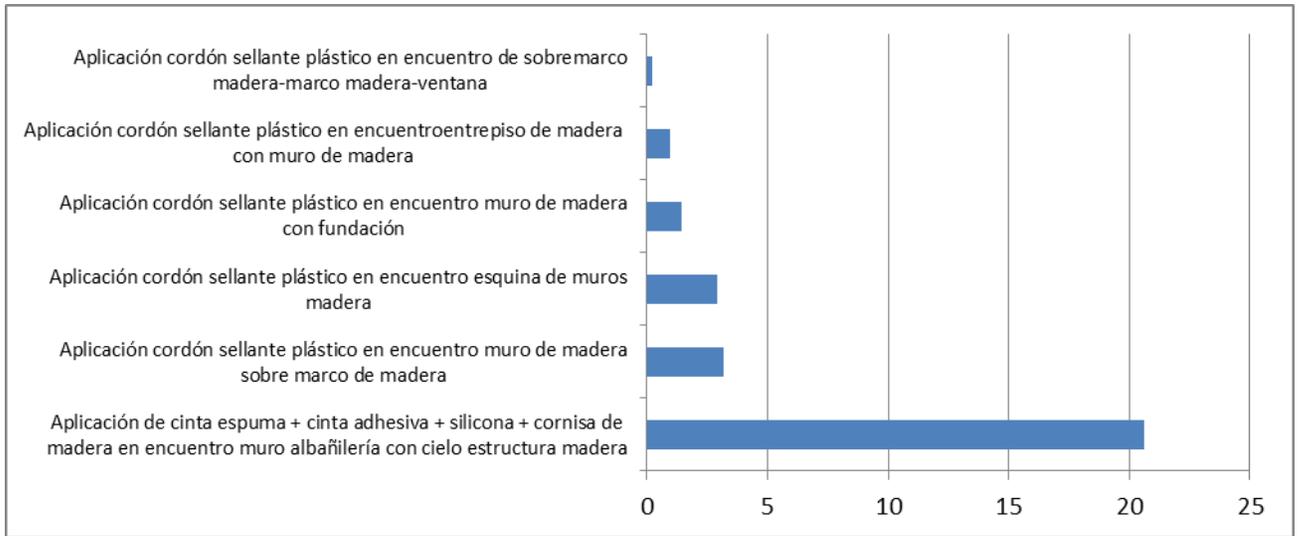
Gráfico N°1: Técnicas de sellado v/s nivel de reducción de permeabilidad al aire por unidad de superficie.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio.

El Gráfico N°2, muestra la incidencia en la reducción de las infiltraciones de las técnicas de sellado estudiadas, agrupadas en función de su coeficiente de infiltración por metro lineal. Se observa que la mayor incidencia por metro lineal de junta de infiltración, se produce en las técnicas de sellado aplicadas en los encuentros de muro albañilería con cielo en estructura madera. El impacto de cada una de estas técnicas, depende de los metros lineales de junta de infiltración total de la edificación caso de estudio.

Gráfico N°2: Técnicas de sellado v/s nivel de reducción de permeabilidad al aire por metro lineal de infiltración de aire.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio.

7.2 Evaluaciones experimentales de terreno

Este punto expone los resultados obtenidos de las evaluaciones de terreno, que determinan los siguientes puntos:

1.- La estructura de infiltraciones de aire para cada una de las viviendas representativas evaluadas. Se define el impacto de las infiltraciones de aire producidos por cada uno de los puntos críticos evaluados, referentes al total de la hermeticidad al aire de la vivienda.

2.- La disminución de las infiltraciones de aire en las viviendas estudiadas, al aplicar algunas técnicas de sellados más importantes, principalmente en etapa post-construcción. Se presenta además como caso interesante de abordar, el estudio de algunas estrategias de sellado en etapa de construcción, para la vivienda de albañilería con estructura liviana. En este caso especial se observaron dos viviendas similares de un conjunto habitacional, aportadas para el estudio por la empresa Constructora Pocuro S.A.

a) Sistema Pesado: Vivienda de hormigón, 110 m²

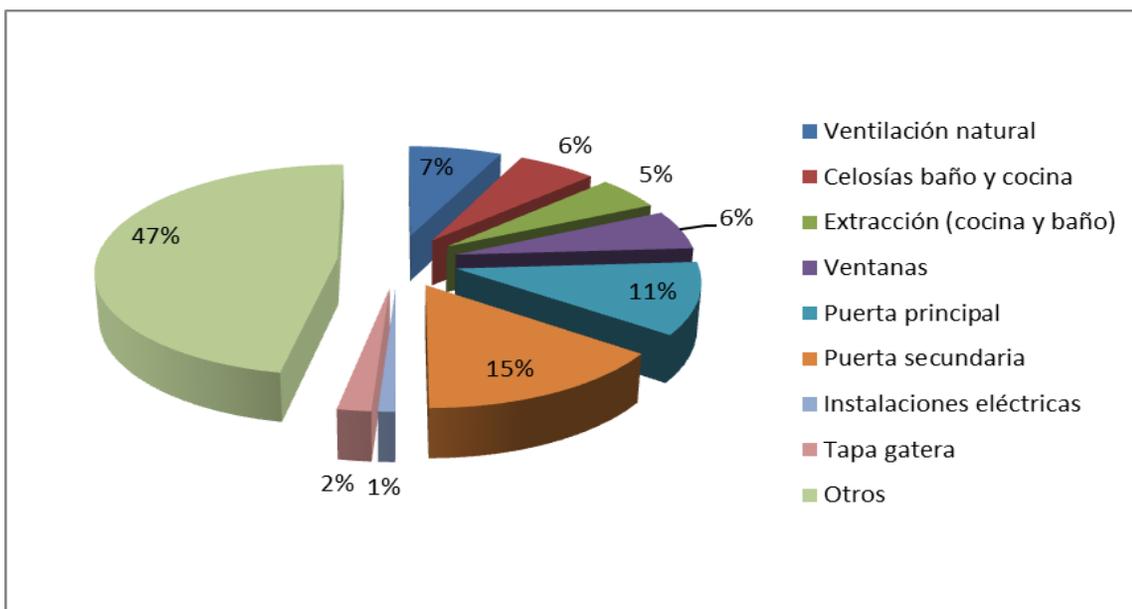
El siguiente cuadro, muestra los resultados obtenidos de las evaluaciones de blower door test, que identifican la incidencia en las infiltraciones de aire de las principales singularidades que se producen en este tipo de viviendas:

Cuadro N°11. Resultados sistema pesado.

Singularidad o elemento	Cambios de aire por hora a 50Pa	% incidencia
Ventilación natural	0,70	7%
Celosías baño y cocina	0,59	6%
Extracción (cocina baño)	0,48	5%
Ventanas	0,56	6%
Puerta principal	1,10	11%
Puerta secundaria	1,52	15%
Instalaciones eléctricas	0,05	1%
Tapa gatera	0,23	2%
Otros	4,64	47%
	9,87	100%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

Gráfico N°3: Incidencia de puntos singulares en la hermeticidad al aire en sistema pesado



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

En el gráfico N°3, se puede observar que el 47% del total de las fugas de aire no se encuentra determinado directamente por la evaluación realizada en terreno, pero puede ser atribuido principalmente a los muros, pisos, cielos, y sus encuentros.

De las evaluaciones realizadas a este tipo de vivienda, se observa que el mayor valor de hermeticidad al aire identificado, se obtiene para infiltraciones producidas en las puertas, las cuales suman un 26% del total de las infiltraciones, correspondiente a 2,62 cambios de aire por hora.

De los resultados se observa que los sistemas de ventilación de la vivienda aportan 1,77 cambios de aire hora, representando el 18% de las infiltraciones

En el siguiente cuadro N°12, se muestran las medidas de mejora de sellado implementadas en la vivienda en estudio, mediante la aplicación de materiales de venta local:

Cuadro N°12: Medidas de mejora de sellado implementadas en la vivienda de sistema pesado

Figura	Detalle	Tratamiento
	Espacio inferior puerta principal exterior	Burlete rodón de espuma marca TESA MOLL
	Perímetro puerta	Burlete de espuma contacto cierre puerta, marca TESA MOLL
	Espacio inferior puerta cocina exterior	Burlete de goma inferior + burlete afelpado por el interior marca TESA MOLL

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

A continuación se muestra un cuadro comparativo del nivel de hermeticidad de la vivienda ex - post de implementadas las estrategias y soluciones para la hermeticidad:

Cuadro N°13: Incidencia de la mejoras de hermeticidad para la vivienda de sistema pesado

Test blower door 50Pa	Vivienda sin mejora	Vivienda mejorada	Reducción
	9,87 Vol/h	7,25 Vol/h	2,62 cambios de aire hora
			26%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

b) Sistema Mixto Vivienda de albañilería-acero liviano de 95 m², y de albañilería-panel SIP de 120 m².

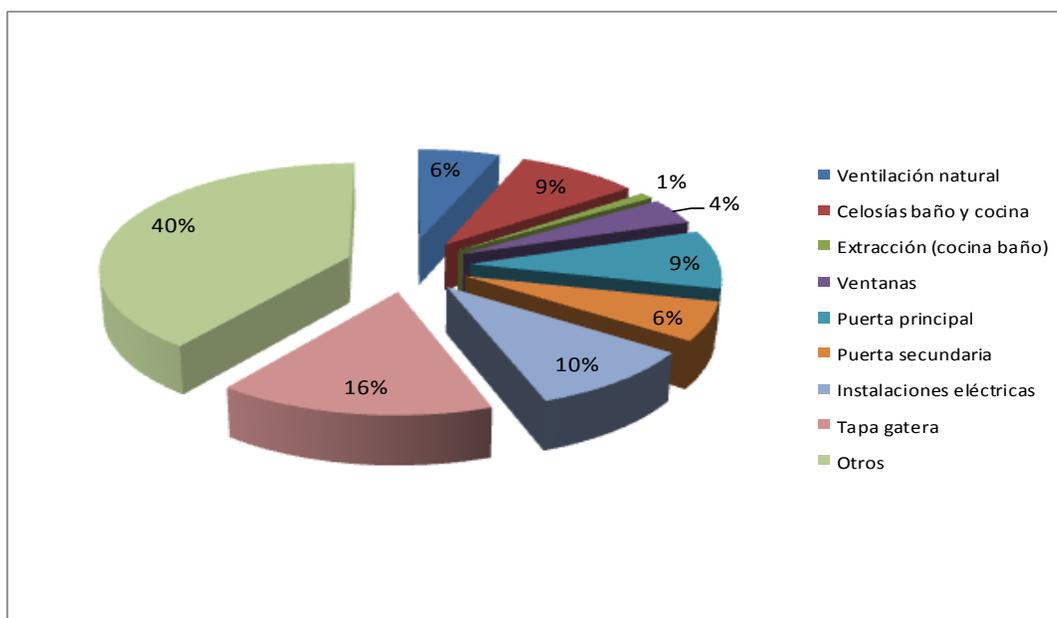
El siguiente cuadro, muestra el valor de hermeticidad al aire de las singularidades que se producen en las viviendas de sistemas mixtos estudiadas.

Cuadro N°14: Resultados sistema mixto.

Singularidad o elemento	Cambios de aire por hora a 50Pa		Promedio	% incidencia
	Albañilería - acero liviano	Albañilería - panel SIP		
Ventilación natural	0,75	0,56	0,66	6%
Celosías baño y cocina	1,30	0,65	0,98	9%
Extracción (cocina baño)	0,11	0,14	0,13	1%
Ventanas	0,40	0,54	0,47	4%
Puerta principal	1,00	0,96	0,98	9%
Puerta secundaria	0,71	0,58	0,65	6%
Instalaciones eléctricas	0,85	1,30	1,08	10%
Tapa gatera	3,01	0,48	1,75	16%
Otros	3,29	5,74	4,52	40%
	11,42	10,95	11,19	100%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

Gráfico N°4: Incidencia de puntos singulares a la hermeticidad al aire en sistema mixto



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

En el Gráfico N°4, se puede observar que el 40% del total de las fugas de aire no se encuentra determinado directamente por la evaluación realizada en terreno, pero puede ser atribuido principalmente a los muros, pisos, cielos, y sus encuentros.

De los resultados se observa que los sistemas de ventilación de la vivienda aportan 2,16 cambios de aire hora, representando el 19% de las infiltraciones. Las puertas aportan 1,71 cambios de aire hora. Los mayores valores de infiltración de aire, los genera la tapa de gatera y los elementos opacos de la envolvente (muros-pisos-cielo y sus uniones).

De los resultados se observa que los sistemas de ventilación de la vivienda aportan 15% del total, lo que corresponden a 1,64 cambios de aire hora.

En el siguiente Cuadro N°15, se muestran las medidas de mejora implementadas en la vivienda de albañilería y acero liviano en etapa de construcción:

Cuadro N°15: Medidas de mejora de sellado implementadas en la vivienda de sistema mixto de albañilería – sistema de acero galvanizado liviano.

Figura	Detalle	Tratamiento
	Encuentro losa-muro liviano	Banda compriband/Dynaband Espuma de poliuretano impregnado con mezcla asfáltica
	Encuentro Muro albañilería-muro liviano	Banda compriband/Dynaband Espuma de poliuretano impregnado con mezcla asfáltica
	Polietileno muro y cielo	Cinta adhesiva en uniones y traslapes de membrana de polietileno, Soudaflex

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

A continuación se muestra un cuadro comparativo del nivel de hermeticidad de la vivienda ex - post de implementadas las estrategias y soluciones para la hermeticidad de la vivienda mixta de albañilería con estructura de acero liviana:

Cuadro N°16: Incidencia de la mejoras de hermeticidad para la vivienda de sistema mixto albañilería – acero galvanizado liviano.

Test blower door 50Pa	Vivienda sin mejora	Vivienda mejorada	Reducción
	<p style="text-align: center;">11,42 Vol/h</p>	<p style="text-align: center;">8,82 Vol/h</p>	<p style="text-align: center;">2,6 cambios de aire hora</p>
			<p style="text-align: center;">23 %</p>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

En el siguiente Cuadro N°13, se muestran las medidas de mejora implementadas en la vivienda de albañilería y panel SIP en segundo nivel.

Cuadro N°17: Medidas de mejora de sellado implementadas en la vivienda de sistema mixto de albañilería – sistema SIP.

Figura	Detalle	Tratamiento
	Espacio inferior puerta principal exterior	Super sello G café, colocado con tornillos.
	Perímetro puerta	Burlete de espuma perfil E, marca TESA MOLL
	Perímetro puerta	Cambio de felpa autoadhesiva
	Perímetro ventana	Cambio burlete redondo DC-142
	Perímetro ventana	Cambio de felpa autoadhesiva 5mm, marca 3M

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

A continuación se muestra un cuadro comparativo del nivel de hermeticidad de la vivienda ex - post de implementadas las estrategias y soluciones para la hermeticidad al aire de la vivienda mixta de albañilería con panel SIP:

Cuadro N°18: Incidencia de la mejoras de hermeticidad para la vivienda de sistema mixto albañilería – panel SIP

Test blower door 50Pa	Vivienda sin mejora	Vivienda mejorada	Reducción
	<p>10,95 Vol/h</p>	<p>9,19 Vol/h</p>	<p>1,76 cambios de aire hora</p>
			<p>16%</p>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

c) Sistema Liviano: Vivienda de madera, 51 m²

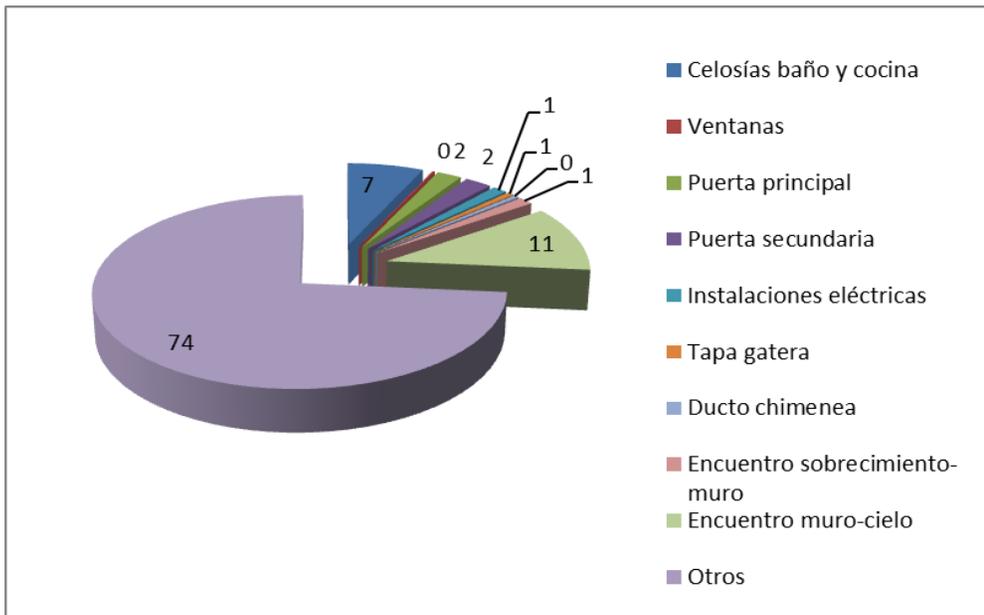
El siguiente cuadro, muestra el valor de hermeticidad al aire de las singularidades que se producen en la vivienda de sistema liviano estudiada.

Cuadro N°19: Resultados sistema liviano.

Singularidad o elemento	Cambios de aire por hora a 50Pa	% incidencia
Celosías baño y cocina	3,69	7%
Ventanas	0,11	0,2%
Puerta principal	1,20	2%
Puerta secundaria	1,30	2%
Instalaciones eléctricas	0,71	1%
Tapa gatera	0,33	1%
Ducto chimenea	0,27	0%
Encuentro <u>sobrecimiento</u> -muro	0,73	1%
Encuentro muro-cielo	6,19	11%
Otros	40,35	74%
	54,88	100%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

Gráfico N°5: Incidencia de puntos singulares a la hermeticidad al aire en sistema liviano



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno

En el Gráfico N°5, se puede observar que el 74% del total de las fugas de aire no se encuentra determinado directamente por la evaluación realizada en terreno, pero estos valores de infiltración pueden ser atribuidos a la materialidad propia de estos sistemas livianos, representada en los elementos opacos de la envolvente (muros-pisos-cielo, sus uniones y otros).

De los resultados se observa que los sistemas de ventilación de la vivienda aportan 3,69 cambios de aire hora, representando el 7% de las infiltraciones. Las puertas aportan 2,5 cambios de aire hora.

En el siguiente Cuadro N°20, se muestran las medidas de mejora implementadas en la vivienda de madera primer nivel.

Cuadro N°20: Medidas de mejora de sellado implementadas en la vivienda de sistema liviano.

Figura	Detalle	Tratamiento
	<p>Espacio inferior puerta principal y de cocina.</p>	<p>Burlete tipo felpa.</p>
	<p>Encuentro marco de puerta – hoja de puerta. Ambas puertas</p>	<p>Burlete de caucho tipo P</p>
	<p>Encuentro muro –techo.</p>	<p>Sellado perimetral con silicona neutra</p>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de terreno.

7.3 Evaluación técnica y económica

Este punto tiene como objetivo fundamental, la determinación de la factibilidad técnica y económica y técnica en el cumplimiento de la clase de infiltración aceptable para la ciudad de Concepción, de los distintos sistemas constructivos evaluados, aplicando técnicas de sellado estudiadas, para el cumplimiento de estándares de hermeticidad al aire de edificaciones, recomendados por el proyecto Fondef D10I1025.

Se evalúan los mismos prototipos ensayados en terreno, con el objetivo de utilizar los antecedentes técnicos y experimentales de las viviendas evaluadas.

En este punto se utilizan los resultados obtenidos de las evaluaciones tanto en terreno como en Laboratorio, en relación a la disminución de infiltraciones de aire, obtenidos mediante la aplicación de diferentes estrategias de sellado.

Se realiza una evaluación económica en función del costo de inversión, no se realiza análisis de vida útil de materiales en el costo.

Las especificaciones técnicas de sellado para este tipo de singularidades generales de infiltración, son las siguientes:

Cuadro N°21: Especificaciones técnicas de las principales tratamientos de sellado estudiados.

Ítem	Tipo de Infiltración	Tratamiento
1	Encuentros muro sólido con cubierta/ <u>sobrecimiento</u>	<p>El producto sellante debe cumplir con las siguientes indicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseñado para todo tipo de juntas de dilatación-contracción, verticales y horizontales en edificación y obras civiles. - Excelente adherencia a la mayoría de los materiales de construcción, dentro de ellos en especial la madera y yeso - cartón. - Durable y flexible con resistencia al corte. - Alta elasticidad, capacidad de movimiento de entre 10% y 35 % del ancho de la junta. - Alta elasticidad una vez curado. - Gran resistencia al envejecimiento. - Resistente a la intemperie, es decir a los agentes atmosféricos. - <u>Pintable</u>. <p>Algunos de los productos comerciales que cumplen con las indicaciones anteriores son: <u>Sikacryl PRO</u>, <u>Sikacryl +</u> y <u>Sikasil C</u>, entre otros.</p> <p>Este producto puede ser encontrado en el mercado con precios que van desde \$3.000 el tubo de 300ml.</p>
2	Encuentro y uniones de construcción	Para el caso especial de juntas en encuentro de muros con cielos o muros con <u>radier</u> , se considera cinta de espuma <u>Comproband</u> o <u>Dynaband</u> , más sellador <u>sikacryl</u> o similar, para terminación superficial.
3	Puertas	Burletes tipo G colocado con tornillos bajo puerta o burlete rodón de espuma marca TESA MOLL. Se considera además, burlete espuma tipo E marca TESA MOLL, o burlete espuma autoadhesiva, colocados por todo el contorno de unión entre la puerta y el marco.
4	Tapa registro gatera	Se considera sello de caucho adhesivo tipo <u>Tesamoll</u> tipo E por todo el contorno del registro. Se considera bisagras y cierre metálico tipo tranca.

Fuente: Elaboración propia

Para este análisis se considera el estudio de las viviendas en función del costo de reducción de las infiltraciones.

El presente Cuadro N°22, muestra el costo unitario de las soluciones generales de sellado estudiadas en las pruebas de laboratorio y terreno:

Cuadro N°22: Costo unitario de las principales técnicas de sellado estudiadas

Ítem	Singularidad o elemento	Unidad	Materiales	Mano de Obra	Total
1	Encuentros muro sólido con cielo	ml	\$ 1.887	\$ 2.142	\$ 4.029
2	Puertas (sellos TESAMOLL)	unidad	\$ 7.905	\$ 4.248	\$ 12.153
3	Encuentros de madera	ml	\$ 1.215	\$ 1.190	\$ 2.405
4	Tapa gatera (sello + bisagra + tranca)	unidad	\$ 5.826	\$ 3.338	\$ 9.164
5	Deflector de PVC con aletas	unidad	\$ 620	\$ 240	\$ 860
6	Tope estanco plástico ventana (2u)	unidad	\$ 715	\$ 240	\$ 955
7	Tyvek homewrap	m2	\$ 1.071	\$ 534	\$ 1.605
8	Polietileno 0.2mm	m2	\$ 255	\$ 267	\$ 522
9	Fieltro asfáltico 15lb	m2	\$ 726	\$ 534	\$ 1.260

Fuente: Elaboración propia

El siguiente Cuadro N°23, muestran los costos unitarios en relación a la reducción de las infiltraciones de los principales puntos singulares, por concepto de la aplicación de alguna técnica o solución de sellado.

Cuadro N°23: Costo unitario de las principales técnicas de sellado en función de la reducción de infiltraciones.

Ítem	Singularidad o elemento	Unidad	50 Pa		Costo \$
			Infiltr.	Vol/h	
1	Encuentro muro albañilería con cielo	m3/h m	12,38	-	\$ 4.029
2	Puertas principal	unidad	157,5	-	\$ 12.153
3	Puertas secundaria	unidad	157,5	-	\$ 12.153
4	Tapa gatera (sello + bisagra + tranca)	unidad	-	1,24	\$ 9.164
5	Encuentro muro de madera sobre marco de madera	m ³ /h m	3,18	-	\$ 2.405
6	Encuentros muro sólido con cielo	m3/h m	20,61	-	\$ 4.029
7	Encuentro esquina de muros de madera	m ³ /h m	2,94	-	\$ 2.405
8	Encuentro muro de madera con fundación	m ³ /h m	1,41	-	\$ 4.029
9	Encuentro entepiso de madera con muro de madera	m3/h m	0,96	-	\$ 2.405
10	Encuentro sobre marco madera-marco madera-ventana	m3/h m	0,22	-	\$ 2.405
11	Topes estancos de goma en ventana Aluminio (2u)	m ³ /h m ²	4,80	-	\$ 955
12	Deflectores con aletas en ventana Aluminio	m ³ /h m ²	0,32	-	\$ 860
13	Topes estancos de goma en ventana PVC	m ³ /h m ²	0,99	-	\$ 955
14	Deflectores con aletas en ventana PVC	m ³ /h m ²	0,17	-	\$ 860
15	Membrana de polietileno a muro de madera	m ³ /h m ²	2,63	-	\$ 1.605
16	Fieltro asfáltico a muro de madera	m ³ /h m ²	2,51	-	\$ 522
17	Membrana tyvek a muro de madera	m ³ /h m ²	2,19	-	\$ 1.260

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores consideran IVA incluido.

A continuación se realiza un análisis de económico para cada una de las viviendas evaluadas, con el objetivo de determinar el costo de reducir las infiltraciones, para alcanzar la clase de infiltración aceptable para la ciudad de Concepción, correspondiente a 5 volúmenes de aire por hora.

a) Vivienda de hormigón armado

Superficie: 110m²

Clase de infiltración aceptable: 5 (1/h)

Cuadro N°24: Evaluación económica de vivienda sistema pesado

Singularidad/elemento	Costo mejora por vivienda		50 Pa		Costo		Cambios de aire por hora a 50Pa	
	Unidad	Cantidad	Infiltración	Vol/h	P.U	Total	Condición inicial	Mejora
Ventilación natural	-	-			-	-	0,7	0
Celosías baño y cocina	-	-			-	-	0,59	0
Extracción (cocina baño)	-	-			-	-	0,48	0
Ventanas	-	-			-	-	0,56	0
Puerta principal	Unidad	1		1,1	\$ 12.153	\$ 12.153	1,1	1,1
Puerta secundaria	Unidad	1		1,52	\$ 12.153	\$ 12.153	1,52	1,52
Instalaciones eléctricas	-	-				-	0,05	0,05
Tapa gatera	Unidad	1		0,23	\$ 8.693	\$ 8.693	0,23	0,23
Sello encuentro muro-cielo	m	29	20,61		\$ 4.029	\$ 116.841	0	2,52
Otros	-	-				-	4,64	0
						-	9,87	5,42
						\$ 149.840	4,45	

Fuente: Elaboración propia

El costo por metro cuadrado de mejora es de \$1.362/m² o 0,06UF^(*)/m² IVA incluido. Este costo representa aproximadamente un 0,19% del valor de la vivienda aproximadamente.

(*) Valor de la UF \$24.066 (día 05 de agosto de 2014)

b) Vivienda de albañilería – estructura de acero galvanizado liviano

Superficie: 95m²

Clase de infiltración aceptable: 5 (1/h)

Cuadro N°25: Evaluación económica de vivienda sistema mixto albañilería- acero galvanizado liviano.

Singularidad/elemento	Costo mejora por vivienda		50 Pa		Costo		Cambios de aire por hora a 50Pa	
	Unidad	Cantidad	Infiltración	Vol/h	P.U	Total	Condición inicial	Mejora
Ventilación natural	-	-			-	-	0,75	0
Celosías baño y cocina	-	-			-	-	1,3	0
Extracción (cocina baño)	-	-			-	-	0,11	0
Ventanas	-	-			-	-	0,4	0
Puerta principal	-	-		-	-	-	1	0
Puerta secundaria	Unidad	1		1,52	\$ 12.153	\$ 12.153	0,71	0,71
Instalaciones eléctricas	Unidad	1				-	0,85	0,05
Tapa gatera	Unidad	1		0,23	\$ 8.693	\$ 8.693	3,01	3,01
Sello encuentro muro-cielo	m	36	20,61		\$ 4.029	\$ 145.044	0	2,64
Otros	-	-				-	3,29	0
						-	11,42	6,41
						\$ 165.890	5,01	

Fuente: Elaboración propia

El costo por metro cuadrado de mejora es de \$1.746/m² o 0,07UF^(*)/m² IVA incluido. Este costo representa aproximadamente un 0,50% del valor de la vivienda.

(*) Valor de la UF \$24.066 (día 05 de agosto de 2014)

c) Vivienda de albañilería – panel SIP

Superficie: 120m²

Clase de infiltración aceptable: 5 (1/h)

Cuadro N°26: Evaluación económica de vivienda sistema mixto albañilería- panel SIP.

Singularidad/elemento	Costo mejora por vivienda		50 Pa		Costo		Cambios de aire por hora a 50Pa		
	Unidad	Cantidad	Infiltración	Vol/h	P.U	Total	Condición inicial	Mejora	
Ventilación natural	-	-	-	-	-	-	0,56	0	
Celosías baño y cocina	-	-	-	-	-	-	0,65	0	
Extracción (cocina baño)	-	-	-	-	-	-	0,14	0	
Ventanas	-	-	-	-	-	-	0,54	0	
Puerta principal	-	-	-	-	-	-	0,96	0	
Puerta secundaria	Unidad	1	-	1,52	\$ 12.153	\$ 12.153	0,58	0,71	
Instalaciones eléctricas	-	-	-	-	-	-	1,3	0,05	
Tapa gatera	Unidad	1	-	0,23	\$ 8.693	\$ 8.693	0,48	3,01	
Sello encuentro muro-cielo	M	30	20,61	-	\$ 4.029	\$ 120.870	0	2,83	
Otros	-	-	-	-	-	-	6,17	0	
							-	11,38	6,6
							\$ 141.716	4,78	

Fuente: Elaboración propia

El costo promedio por metro cuadrado de mejora es de \$1.181/m² o 0,05UF^(*)/m² IVA incluido. Este costo representa un 0,14% del valor promedio de este sistema de vivienda.

(*) Valor de la UF \$24.066 (día 05 de agosto de 2014)

d) Vivienda de madera

Superficie: 51,04m²

Clase de infiltración aceptable: 5 (1/h)

Cuadro N°27: Evaluación económica de vivienda sistema liviano.

Singularidad/elemento	Costo mejora por vivienda		50 Pa		P.U		Cambios de aire por hora a 50Pa	
	Unidad	Cantidad	Infiltración	Vol/h	P.U	Total	Condición inicial	Mejora
Celosías baño y cocina	unidad	1	-	3,69	-	-	3,69	
Ventanas	unidad	1	-	0,11			0,11	
Puerta principal	unidad	1	-	1,2	\$ 12.153	\$ 12.153	1,20	1,10
Puerta secundaria	unidad	1	-	1,3	\$ 12.153	\$ 12.153	1,30	1,20
Instalaciones eléctricas	unidad	1	-	0,71			0,71	
Tapa gatera	unidad	1	-	0,33	\$ 9.164	\$ 9.164	-	0,33
Ducto chimenea	unidad	1	-	0,27			0,27	
Encuentro sobrecimiento muro	ml	30,2	1,41	0,73	\$ 4.029	\$ 121.676	0,73	0,35
Encuentro muro-cielo	ml	30,2	-	6,19	\$ 4.029	\$ 121.676	6,19	6,19
Encuentro muro de madera sobre marco de madera	ml	16	3,18	-	\$ 2.405	\$ 38.480	-	0,42
Encuentro esquina de muros de madera	ml	9,6	2,94	-	\$ 2.405	\$ 23.088	-	0,23
Encuentro sobre marco madera-marco madera-ventana	ml	16	0,22	-	\$ 2.405	\$ 38.480	-	0,03
Topes estancos de goma en ventana Aluminio (2u)	m ²	4	4,8	-	\$ 955	\$ 3.820	-	0,16
Deflectores con aletas en ventana Aluminio	m ²	4	0,32	-	\$ 860	\$ 3.440	-	0,01
Membrana de polietileno a muro de madera	m ²	69,68	2,63	-	\$ 1.605	\$ 111.836	-	1,50
Filtro asfáltico a muro de madera	m ²	69,68	2,51	-	\$ 522	\$ 175	-	1,43
Instalación agua potable en muro de madera	unidad	4	0,88	-	\$ 481	\$ 1.924	-	0,03
Instalación eléctrica por módulo	unidad	10	3,13	-	\$ 481	\$ 4.810	-	0,26
Otros		-		-			40,35	-
							54,55	13,24
						\$ 502.875		41,31

Fuente: Elaboración propia

El costo por metro cuadrado de mejora máximo aplicado, conforme a las técnicas de sellado estudiadas es de \$9.853/m² o 0,41UF^(*)/m² IVA incluido. Este costo representa aproximadamente un 3,4% del valor de la vivienda.

(*) Valor de la UF \$24.066 (día 05 de agosto de 2014)

Síntesis y conclusiones

En la actualidad en Chile, se observa que el concepto de permeabilidad al aire de elementos constructivos, se encuentra en un nivel exploratorio medio, encontrándose ya a partir del año 2007 algunos trabajos realizados por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, correspondientes a ensayos de determinación de estanquidad al aire de elementos de ventanas y puertas. Estos resultados, constituyen la base más importante que existe en el país, la cual recoge más de 300 ensayos de laboratorio, que determinan las propiedades permeables al aire de estos elementos, clasificándolos por tipo de materialidad, tipo de apertura, tipo de líneas y por fabricante.

Estos resultados definen el comportamiento permeable al aire del elemento como tal, y no contemplan las variables por concepto de instalación en obra (encuentros vanos-marcos-elemento), respecto al comportamiento global de la vivienda.

Por otro lado, en términos de propiedades de hermeticidad al aire de edificaciones, existe mucho más información experimental, encontrándose fuentes de ensayos en entidades universitarias, institutos técnicos de ensayos y centros de investigación. CITEC-UBB en conjunto con el Decon UC, a través del proyecto de investigación FondefD10 I1025, elaboró la primera línea de base de hermeticidad de edificaciones, que contempló la evaluación de más de 200 ensayos realizados a diferentes sistemas de viviendas, edificios habitacionales y terciarios, ubicados dentro de la ciudad Metropolitana y de Concepción. No obstante, estos resultados se enfocan en las propiedades conjuntas de la edificación, sin diferenciar cual son los niveles de influencias de sus singularidades de infiltración de aire.

Respecto a los puntos críticos de infiltración de aire, no se observan en Chile estudios formales referentes a su comportamiento dentro de la vivienda. Sabiendo que las infiltraciones generan grandes impactos en las pérdidas energéticas por calefacción, pudiendo llegar entre 24% y 73% del total, se hace necesario conocer sus impactos individuales y la generación de especificaciones técnicas de sellado para disminuir estas enormes cargas energéticas.

Si observamos el marco regulatorio en término de la permeabilidad y hermeticidad al aire de edificaciones, nos podemos dar cuenta que no existen requerimientos que limiten las infiltraciones en el plano energético, no obstante en la actualidad existe un anteproyecto de norma técnica MINVU NTM011/3 2014, que involucra clases de infiltración aceptables para el territorio nacional y que se encuentra en etapa de estudio.

Específicamente, esta normativa de carácter energética, se encuentra a la fecha del presente informe en etapa de discusión de comité, y en términos generales entrega clases de infiltración aceptables en función de la zonificación térmica nacional. Esto genera limitaciones técnicas importantes, ya que el comportamiento de las infiltraciones de aire se rige principalmente por factores físicos externos, tal como, presiones de viento y coeficientes de exposición y altura.

Respecto a los ensayos y debido a la pertinencia de la investigación de esta tesis, se estableció el estudio experimental de técnica de sellado aplicadas para etapas de construcción y principalmente post construcción.

La realización de ensayos asociadas a estas etapas de construcción, apostaron a resolver de manera fácil y práctica, el sellado de las singularidades típicas de una vivienda ya construida, pudiendo reducir las pérdidas energéticas por infiltración a un bajo costo.

Cabe mencionar que para los fines de la investigación, se adoptó una metodología de evaluación de laboratorio perteneciente a la normativa de ensayo de ventanas y puertas, ya que a nivel internacional, no existen procedimientos estandarizados que permitan evaluar la permeabilidad al aire de elementos de fachadas o envolventes. De esta forma se homologaron los resultados de laboratorio bajo el valor de los 50Pa, valor que posteriormente puede ser llevado a cualquier presión de análisis.

Por otro lado, se definieron los impactos de mayor importancia en los principales sistemas constructivos de viviendas tipos de la ciudad de Concepción y la disminución de las infiltraciones de aire a través de la aplicación de técnicas de sellado disponibles en el mercado local.

Esta tesis, correspondiente al proyecto de investigación FondefD10 I1025, permitió levantar la primera base de desarrollo experimental, que define el comportamiento de las singularidades de infiltración de edificaciones en Chile, a través de la realización de ensayos de Laboratorio y terreno.

Del estudio de las propiedades de singularidades de infiltración de aire y permeabilidad al aire de elementos constructivos, en laboratorio se puede concluir que:

- Las mayores reducciones de infiltraciones de aire por metro lineal, se producen al aplicar técnicas de sellado en el encuentro del muro de albañilería con cielo de estructura de madera, con una disminución de $20,61 \text{ m}^3/\text{h m}$.
- Las mayores reducciones de infiltraciones de aire por superficie de exposición, se producen al ser incorporados elementos de burletes en las puertas, disminuyendo $157,5 \text{ m}^3/\text{h m}^2$.

Del estudio de identificación de las fuentes de infiltración de edificaciones en terreno, se puede concluir que:

- Para la vivienda de sistema pesado, las mayores infiltraciones de aire se producen en aquellos elementos y singularidades no identificados dentro del ensayo, con una incidencia de un 47% del total de las fugas de aire, que pueden ser atribuidos principalmente a los muros, pisos, cielos y sus encuentros. De los elementos identificados, las mayores infiltraciones se producen en las puertas; acceso principal y secundario, con una incidencia de un 26% entre ambas.
- Para las viviendas de sistema mixto, los mayores niveles de infiltración se producen en aquellos elementos y singularidades no identificados dentro del ensayo, con una incidencia que va desde el 29% al 52% del total de las fugas de aire, las cuales pueden ser atribuidos principalmente a los muros, pisos, cielos y los encuentros de cambios de materialidad; losa-muro; muros pesados- muros livianos; muros livianos- cielo/cubierta. Por otra parte, las mayores infiltraciones se producen para elementos o singularidades identificadas dentro del ensayo, correspondiente al registro de tapa de gatera, con una incidencia del 4% al 26%. También existe una fuerte influencia en las puertas principales y secundarias, con valores importantes de hermeticidad al aire que fluctúan entre un 14% y un 15%.
- Para la vivienda de sistema liviano, los mayores niveles de infiltración se producen en aquellos elementos y singularidades no identificados en el ensayo, con una incidencia del 74% del total de las fugas de aire de la vivienda, que pueden ser atribuidos principalmente

al sistema constructivo de la envolvente. De los elementos o singularidades identificados, las mayores infiltraciones se obtienen para las singularidades de infiltración de encuentro de muro cielo con una incidencia del 11% del total de las infiltraciones.

De los análisis experimentales, se observa además que los sistemas de ventilación en estado cerrado, tal cual lo establece la metodología de ensayo A para edificios en uso, presentan niveles de infiltración de aire que van de los 1,35 a 3,69 cambios de aire por hora a 50Pa, dependiendo de los sistemas que lo componen, incidencia no menor si se considera que en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones aún no se regulan estas materias.

Respecto del análisis técnico de los sistemas constructivos representativos de viviendas estudiadas en el cumplimiento de la clase de hermeticidad al aire aceptable para la ciudad de Concepción, se concluye que al aplicar técnicas y especificaciones de sellado en etapa post-construcción para los sistemas pesados y mixtos, es posible cumplir con los niveles recomendados, no obstante para el sistema liviano de madera estudiado, no se alcanzan estos requerimientos. Para esta vivienda de madera, se estima una disminución máxima de las infiltraciones de aire de 13,24 renovaciones de aire por hora para un total de 54,5 renovaciones de aire por hora a 50Pa. Cabe mencionar, que si estos niveles de disminución máxima de hermeticidad al aire debido a las técnicas de sellado, son aplicados sobre la línea de base de infiltraciones de esta tipología, correspondiente a 24,6 (1/h), tampoco es posible alcanzar el cumplimiento de la clase de hermeticidad recomendada. Se concluye entonces, que para los sistemas livianos de madera, es necesario aplicar medidas de hermeticidad en todas las etapas del proyecto de construcción; diseño, construcción y post construcción de la vivienda para alcanzar el cumplimiento de la clase de hermeticidad al aire recomendada por el Fondef D10 I1025.

El costo de inversión inicial para cumplir con las clases de infiltración aceptables en la ciudad de Concepción, para cada uno de los sistemas constructivos estudiados es el siguiente:

- Para la vivienda de sistema pesado, el costo por metro cuadrado de mejora es de \$1.362/m² o 0,06UF/m². Este costo representa 0,19% del valor de la vivienda aproximadamente.

- Para la vivienda de sistema mixto de albañilería-estructura galvanizada liviana, el costo promedio por metro cuadrado de mejora es de \$1.746/m² o 0,07UF/m². Este costo representa 0,5% del valor promedio de este sistema de vivienda.
- Para la vivienda de sistema mixto de albañilería-panel SIP, el costo promedio por metro cuadrado de mejora es de \$1.181/m² o 0,05UF/m². Este costo representa 0,14% del valor promedio de este sistema de vivienda.
- Para la vivienda de sistema liviano, el costo por metro cuadrado de mejora máximo aplicado, conforme a las técnicas de sellado estudiadas es de \$9.853/m² o 0,41UF/m². Este costo representa aproximadamente un 3,4% del valor de la vivienda.

Respondiendo a la Hipótesis planteada en esta investigación, al aplicar diferentes técnicas de sellado en viviendas, se observa que es posible alcanzar costos inferior a 0,082 UF/m² para los sistemas pesados y mixtos, por el contrario, para la vivienda de madera evaluada no es posible alcanzar esta afirmación.

Finalmente, se observa que una de las tareas pendientes a abordar en un futuro cercano, corresponde al estudio detallado de las infiltraciones de aire que se producen en singularidades y elementos de las edificaciones que no pudieron ser identificados en esta tesis de grado, y que forman parte de las características intrínsecas de cada sistema constructivo.

La tarea fundamental, después de conocer estos resultados, se traduce en la necesidad de estudiar el mejoramiento de los sistemas constructivos de baja hermeticidad al aire desde su etapa de diseño, ya que como se pudo observar, las viviendas de madera y sistemas livianos no alcanzan los niveles de hermeticidad al aire recomendados por el proyecto FondefD10 I1025 para la ciudad de Concepción.

Referencias bibliográficas

GOBIERNO de Chile (Ministerio de Energía, CL, 2012), Balance Nacional Energética, Consumo de Energía Sectorial, cuadro 21.

BUSTAMANTE, W. CEPEDA, R. MARTÍNEZ Y P. SANTA MARÍA, H, CL 2009. Camino al Bicentenario: Propuestas para Chile, Capítulo IX: Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible, 253p.

CITEC UBB & DECON UC. Proyecto Fondef D10I1025 “Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile”, 2014.

DECON UC & CITEC UBB. Proyecto Fondef DO0I1162 “Diseño y aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad para obras de construcción habitacional en Chile basado en criterios y estándares de desempeño (performance)”, año 2011.

BOBADILLA Moreno, Ariel. Calidad Energética y Ambiental Interior de la Edificación Habitacional en Chile: Análisis de las tendencias, logros y desafíos pendientes. Tesis Doctoral (Thèse présentée en vue de l’obtention du Doctorat en Sciences de l’Ingénieur par). Louvaina, Bélgica: Université Catholique de Louvain. 2014, Capítulo 2 y Capítulo 3.

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo), 2006. Manual de aplicación reglamentación térmica. Ordenanza general de urbanismo y construcciones. Artículo 4.1.10. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile.

INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). NCh892.Of2001: Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayo de estanquidad al aire. Santiago: INN, 2001.

INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). NCh888.Of2000: Arquitectura y construcción - Ventanas - Requisitos básicos. Santiago: INN, 2000.

INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). NCh3297:2013: Puertas y ventanas – Permeabilidad al aire – Método de ensayo. Santiago: INN, 2013.

INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). NCh3296:2013: Puertas y ventanas – Permeabilidad al aire – Clasificación. Santiago: INN, 2013.

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). Anteproyecto de norma técnica Minvu NTM 011/3, 2014: "Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior". Santiago: MINVU, 2014.

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, España). Norma Española UNE-EN 13829-2002: Aislamiento Térmico – Determinación de la estanquidad al aire en edificios – Método de presurización por medio de ventilador.

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, España). Norma Española UNE-EN 1026-2000: Ventanas y puertas – Permeabilidad al aire – Método de ensayo.

CTE (Código Técnico de la Edificación Española), 2005. Documento Básico Db SE-AE.

BRITISH ESTÁNDAR, BS 5925, 1991, Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation, 1991.

ODRIOZOLA, M., 2008 en su publicación; "Cálculo y medición de las infiltraciones de aire en los edificios", 11 p.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN, Anexo 1, Guía Técnica para la Prevención de Patologías en las Viviendas Sociales, 2008, 3p.

BOBADILLA, A., FIGUEROA, R., DÍAZ, M., VARGAS, G., ARRIAGADA, R., ESPINOZA, R., (en prensa). Establecimiento de línea base de infiltraciones de aire para la limitación de la demanda energética en edificios residenciales existentes. El caso de Chile. Informes de la construcción.

CITEC-UBB, Manual de Hermeticidad al aire de las Edificaciones, 2014.

MINISTERIO DE ENERGÍA, 2012.

BAIXAS, J., Envolvertes: La piel de los edificios, 2012.

DÍAZ, F., GALETOVIC, A., SANHUEZA R., La relación concentración-precio cuando una industria cambia, 2007.

FERNÁNDEZ, P. Fuentes Aeólicas, Velocidad del viento., Universidad de Cantabria, 2003.

Keep Warm Illinois, "Hermeticidad, aislamiento y ventilación de la casa".

Eficiencia energética y energía renovable, Oficina de Energía del Departamento de Energía de EE.UU. (U.S.Department of Energy), 2009

.

Anexo

1 Ensayo de laboratorio



Fotografía N°1 Ensayo puerta



Fotografía N°2. Ensayo ventana

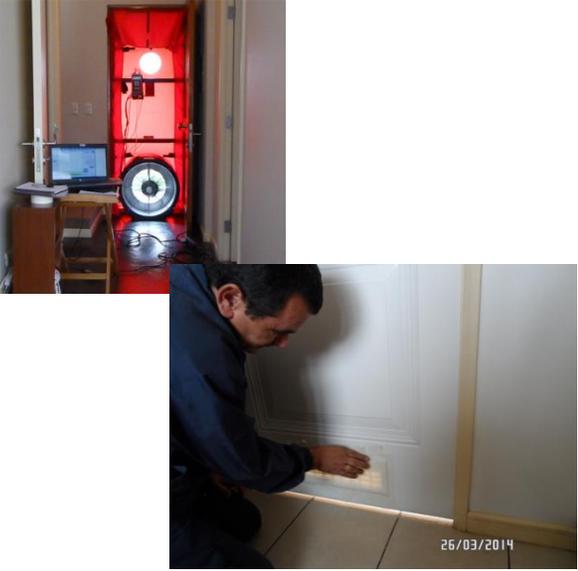


Fotografía N°3 Ensayo muro de madera



Fotografía N°4 Ensayo encuentro muro de madera-sobrecimiento.

2. Ensayo de terreno

Sistema Pesado (Hormigón)	Ensayo
	

Sistema Liviana (Madera)	Ensayo
	

Sistema Mixto (Albañilería – Acero Galvanizado)	Ensayo
	 
Sistema Mixto (Albañilería – paneles SIP)	Ensayo
	 

3 Protocolos de medición en laboratorio

	REGISTRO DE ENSAYO				Version		
	ESTANQUIDAD AL AIRE PUERTAS Y VENTANAS				Correlativo		
					N° pagina	1	
FECHA DE ENSAYO:							
SOLICITANTE:							
LINEA:							
TIPO:							
MATERIALIDAD:							
DIMENSIONES:							
Tº INTERIOR CAMARA:							
Tº EXTERIOR CAMARA:							
HUMEDAD RELATIVA							
Total superficie (m ²)			Total longitud junta (m)				
PRESION (Pa)	INFILTRACION		PROMEDIO (m ³ /h)	INFILTRACION CAMARA (m ³ /h)	PROMEDIO CORREGIDO (m ³ /h)	CAUDAL DE AIRE (m ³ /hm)	CAUDAL DE AIRE (m ³ /hm ²)
	Ascendente (m ³ /h)	Descendente (m ³ /h)					
25							
50							
75							
100							
150							
200							
250							
300							
350							
400							
450							
500							
Observaciones:							
					Laboratorista		
					Firma		

	REGISTRO DE ENSAYO		Versión	
	ESTANQUIDAD AL AIRE INSTALACIONES		Correlativo	
			N° pagina	1

FECHA DE ENSAYO:	
SOLICITANTE:	
TIPO DE INSTALACIÓN:	
ESPECIFICACIÓN INSTALACIÓN :	
DIMENSIONES:	
Tº INTERIOR CAMARA:	
Tº EXTERIOR CAMARA:	
HUMEDAD RELATIVA	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA PROBETA	

PRESION (Pa)	INFILTRACION		PROMEDIO (m ³ /h)	INFILTRACION CAMARA (m ³ /h)	PROMEDIO CORREGIDO (m ³ /h)	CAUDAL DE AIRE (m ³ /hm ²)
	Ascendente (m ³ /h)	Descendente (m ³ /h)				
25						
50						
75						
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						
450						
500						

Observaciones:

	Laboratorista
	Firma

	REGISTRO DE ENSAYO		Versión	
	ESTANQUIDAD AL AIRE SINGULARIDADES		Correlativo	
			N° pagina	1

FECHA DE ENSAYO:			
SOLICITANTE:			
TIPO SINGULARIDAD:			
DIMENSIONES PROBETA:			
Tº INTERIOR CAMARA:			
Tº EXTERIOR CAMARA:			
HUMEDAD RELATIVA			
Superficie total (m2)		longitud de junta (ml)	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA PROBETA			

PRESION (Pa)	INFILTRACION		PROMEDIO (m ³ /h)	INFILTRACION CAMARA (m ³ /h)	PROMEDIO CORREGIDO (m ³ /h)	CAUDAL DE AIRE (m ³ /hm)	CAUDAL DE AIRE (m ³ /hm ²)
	Ascendente (m ³ /h)	Descendente (m ³ /h)					
25							
50							
75							
100							
150							
200							
250							
300							
350							
400							
450							
500							

Observaciones:

	Laboratorista
	Firma

4 Especificaciones técnicas de materiales de sellado (principales materiales utilizados en ensayo).

2
PAREDES PLANTA BAJA

SEAL BAND

CINTA MONOADHESIVA SELLANTE

Certificado
DIN 4108/7

- Solo para uso interno
- Doble o triple liner para facilitar la aplicación en las esquinas
- Hermetiza la unión, para sellados internos
- Alto poder adhesivo, adhiere perfectamente a todos los soportes comunes
- Resistente al envejecimiento

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Hermetiza los espacios libres entre membrana y membrana, al igual que imposibilita el pasaje de aire entre elementos constructivos. La aplicación es facilitada por el doble/triple liner.

SEAL BAND				
codigo	versión (mm)	anchura (mm)	longitud (m)	embalaje
DC100125	1000	50	40	3
DC100127	1000	75	40	3

PRODUCTO ADICIONAL		
PRIMER UNIVERSAL		
codigo	cantidad (kg)	embalaje
DC200100	1	1

CDLA PARA MEMBRANAS
DC200121/13

PRODUCTOS RELACIONADOS

BORDER BAND
DC100100/105

RODILLO ATE 2010

PRODUCTO ALTERNATIVO

FLERI BAND
DC100110/120

PAREDES PLANTA BAJA


2





KOMPRI BAND

CINTA EN ESPUMA PUR

- Clasificación BG1: utilización tanto externa como interna
- Precomprimida, se expande después de la colocación
- Garantiza la hermeticidad al aire
- Resistente a la lluvia: >600 Pa





DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Particularmente indicado para el sellado entre diversos materiales de construcción como por ejemplo la unión entre elementos de hormigón o ladrillo.

KOMPRI BAND	Espesor (mm)		Espesor (mm)		Espesor (mm)	
Código	ancho	altura	espesor	altura	espesor	altura
D7000230	10	11	30	1-4	30	
D7000215	15	13	30	1-4	20	
D7000215	15	8	30	4-9	20	
D7000240	15	43	30	6-15	20	
D7000245	20	53	45	3-20	15	

Construcción

Ficha Técnica
 Versión Noviembre, 2013
 Sikasil-C

Sikasil®-C

Sellante de silicona neutra para aplicaciones en construcción y sanitarios

Descripción del Producto

Sikasil®-C es un sellante de silicona de tipo neutro y de bajo módulo de elasticidad aplicable en interiores y exteriores para sellado de uniones y juntas en una variedad de superficies. Contiene fungicidas.

Usos

Sikasil®-C es adecuado para la realización de sellados elásticos de impermeabilización en sustratos de vidrio, cristal, metales, superficies pintadas, maderas, acrílicos, policarbonatos, cerámicas y para aplicaciones sanitarias.

Ventajas

- Gran adherencia sin imprimación a la mayoría de los sustratos
- Con poco olor.
- Resistente a los agentes atmosféricos y rayos UV.
- Contiene fungicidas.
- Alta elasticidad y flexibilidad.
- No es corrosivo.

Ensayos

Certificados/Normas

DIN 18545
 ISO 11600-F-clase 25 LM
 ISO 11600-G-clase 25 LM

Datos del Producto

Color

Blanco, transparente, café.

Almacenamiento

15 meses, desde su fecha de fabricación, en lugar seco y fresco, en sus envases de origen, bien cerrados y no deteriorados, y a temperaturas entre + 10°C y + 25°C.

Presentación

Caja con 12 cartuchos de 300 cm³ cada uno.

Construcción

Sika® Boom®-S

Espuma de poliuretano monocomponente para fijar, rellenar y aislar.

Descripción del producto / Usos	<p>Sika® Boom®-S se usa como espuma de fijación, relleno y de aislamiento frente a ruidos, frío y corrientes de aire. Como relleno y aislante en juntas de marcos de ventanas y puertas, pasadas de tubos, para sistemas de aire acondicionado, equipos eléctricos, etc.</p> <p>Fija, llena y aísla el ruido, frío y corrientes de aire en pequeñas aplicaciones.</p>	
Características/ Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Buena aplicación incluso a bajas temperaturas (+5°C) ■ Fácil aplicación con boquilla (adaptador). ■ Curado rápido. ■ Alto grado de expansión ■ Alto aislamiento térmico. ■ Disminuye la transmisión de sonidos y ruidos. ■ Resistente al envejecimiento. ■ Propelente libre totalmente de CFC. 	
Información del Producto		
Forma		
Color	Espuma amarillo claro	
Presentación	Caja de 12 envases de 500 ml.	
Almacenamiento/ Vencimiento	<p>9 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados en lugar seco y protegido del sol, a temperaturas entre +10° C y +23° C.</p> <p>El aerosol tiene que ser almacenado en posición vertical. Una vez abierto sólo se puede utilizar dentro de 4 semanas.</p>	
Datos Técnicos		
Base química	Poliuretano monocomponente que cura con la humedad.	
Densidad	18 Kg/m ³ (± 3 Kg/m ³)	
Formación de piel	10 minutos aprox. (a +23 °C/50% HR)	
velocidad de curado	20 mm de cordón, se puede cortar después de 30 minutos (a +23 °C/50% HR). Curado total después de 12 horas (a +23 °C/50% HR).	
Temperatura de servicio	-30 °C a +80 °C (en exposición corta, hasta +100 °C)	
Conductividad térmica	0.04 W/mK aprox. (+23 °C / 50% H.R.)	(DIN 52 612)
Absorción de Agua	<1% del volumen (corte superficial)	

Construcción

Sika® Montaje

Adhesivo para montaje

Descripción del Producto	Sika® Montaje es un adhesivo en base a una dispersión acuosa de una combinación de polímeros acrílicos y cargas minerales, diseñado para el pegado de superficies absorbentes.
Usos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Para pegados no sometidos a grandes esfuerzos o a peso excesivo. ■ Para pegados entre superficies porosas como: madera, madera aglomerada, ladrillos, mármol, tabiques cartón yeso, cerámica, mampostería, hormigón, etc. ■ Para pegar superficies porosas con no porosas como: alfombras, poliestireno y poliuretano expandido, algunos plásticos, etc. Es indispensable que al menos una de las dos superficies sea porosa.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ La tixotropía de Sika® Montaje le permite aplicaciones en vertical sin escurrir. ■ Una vez curado, brinda una película plástica, altamente tenaz y de gran resistencia a la tracción. ■ Posee muy buena resistencia a la intemperie ■ Puede ser aplicado en pegados exteriores e interiores. ■ No contiene solventes.
Datos del Producto	
Aspecto	Masa tixotrópica color blanco
Almacenamiento / Vencimiento	12 meses, almacenado en lugar fresco y seco no expuesto al sol y a una temperatura entre 5°C y 25°C.
Presentación	<ul style="list-style-type: none"> ■ Caja con 12 cartuchos de 300 ml ■ Caja con 12 tarros de 0.8 Kg ■ Caja con 4 baldes de 3.8 Kg
Datos Técnicos	<p>Densidad: 1.40 grs./cc Temperatura de aplicación: 5 a 40 °C Tiempo de formación de piel: 40-60 minutos en 1 mm de espesor Tiempo de secado: Mínimo 24 Hrs, dependiendo de la temperatura y humedad de la superficie y del ambiente.</p>
Aplicación	
Consumo	150 a 400 g/m ² , dependiendo de la absorción de las superficies.
Preparación de las superficies	Las superficies deben estar secas, limpias, libre de polvo, partes sueltas y grasas. Sika® Montaje se puede aplicar si la superficie porosa está ligeramente húmeda, pero se demorará el tiempo de secado
Método de aplicación	<p>Sika® Montaje se aplica con pistola cañafatera tradicional o con espátula retirando el material desde el interior del galón. En cartucho, la boquilla debe cortarse en ángulo 45° con una herramienta afilada</p> <p>En caso de pegar dos superficies absorbentes (madera-cemento, madera-madera, etc.) se aplica a una de ellas dos manos o más, según el grado de absorción, con espátula dentada, verificando que la última mano no sea absorbida. Con el material fresco se unen ambas superficies manteniendo presionado hasta el curado total (aproximadamente 10 hrs.).</p> <p>Para adherir una superficie no absorbente (plástico, poliestireno expandido, etc.) a una absorbente (cemento, madera, cartón, etc.) se repite el procedimiento anterior pero aplicando con espátula dentada sobre la superficie lisa.</p> <p>El excedente se quita con un paño humedecido en agua. Una vez seco, el excedente de material se puede eliminar con una lija.</p>



Gama de láminas transpirables DuPont™ Tyvek®



DuPont™ Tyvek® Supro / Supro Tape

Lámina multipropósito, duradera y reforzada

- Excelente resistencia a los rayos UV y al calor, que otras láminas de varias capas probadas no pueden garantizar (*)
- Impermeable al agua
- Estanca al aire y al viento
- Altamente permeable al vapor de agua
- Óptima gestión del aire y humedad en los edificios residenciales y comerciales
- Disponible con cinta adhesiva integrada
- Recomendada para las cubiertas con poca inclinación y las aplicaciones para fachadas y pisos
- Destinada a todas las aplicaciones para cubiertas inclinadas con o sin soporte (madera y hormigón), incluyendo cubiertas frías, calientes e híbridas

Propiedades

Nombre del producto	2506B
Composición	Poliétileno de alta densidad termoligado con capa superficial en polipropileno
Dimensión del rollo	1,50 m x 50 m
Masa por unidad de área	148 g/m ²
Fuerza máxima de tracción (MD)	345 N/50 mm
Fuerza máxima de tracción (XD)	290 N/50 mm
Resistencia al desgarro por clavo (MD)	175 N
Resistencia al desgarro por clavo (XD)	175 N
Resistencia a radiación UV	4 meses
Resistencia a la temperatura	-40°C - +100°C
Grosor total / grosor de la capa funcional	420 / 220 µm
Transmisión de vapor de agua (Sd)	0,03 m
Marcaje CE	SI

(*) Pruebas realizadas por laboratorio independiente.



18

DuPont™ Tyvek® Metal

Lámina con función de drenaje para aplicar en cubiertas de metal

- Función de drenaje para aplicar en cubiertas de metal, por encima del tablero de madera, por debajo del acabado metálico de la cubierta
- Controla la condensación y facilita su drenaje debajo de las cubiertas de zinc, acero inoxidable y cobre
- Impermeable al agua
- Estanca al aire y al viento
- Altamente permeable al vapor de agua
- Con cinta adhesiva integrada

Propiedades

Nombre del producto	2510B
Composición	Poliétileno de alta densidad termoligado con capa superficial de filamentos en poliolefinas
Dimensión del rollo	1,10 m x 30 m
Masa por unidad de área	350 g/m ²
Fuerza máxima de tracción (MD)	345 N/50 mm
Fuerza máxima de tracción (XD)	290 N/50 mm
Resistencia al desgarro por clavo (MD)	175 N
Resistencia al desgarro por clavo (XD)	175 N
Resistencia a radiación UV	4 meses
Resistencia a la temperatura	-40°C - +100°C
Grosor total / grosor de la capa funcional	7,4 mm / 0,220 mm
Transmisión de vapor de agua (Sd)	0,03 m
Marcaje CE	SI



19



DuPont™ Tyvek® Tape

Cinta adhesiva Tyvek® acrílica



Cinta adhesiva de una sola cara para solapamientos, tapar agujeros y sellar ventanas.

- Fabricada con Tyvek® y adhesivo acrílico para un sellado duradero
- Aproporada para todas las láminas Tyvek® y las láminas de control del vapor DuPont™ AirGuard®

Color:	Blanco
Tamaño del rollo:	75 mm x 25 m
Nº de rollos por caja:	6

DuPont™ Tyvek® Metallized Tape

Cinta adhesiva Tyvek® metalizada



Cinta reflectante de una sola cara para sellar los solapamientos de Tyvek® Enercor®, Tyvek® Thermafort™ y DuPont™ AirGuard® Reflective.

- Ideal para evitar filtraciones y sellar puertas y ventanas
- Fabricada con Tyvek® metalizado y adhesivo acrílico

Color:	Plata
Tamaño del rollo:	75 mm x 25 m
Nº de rollos por caja:	6

DuPont™ Tyvek® UV Facade Tape

Cinta adhesiva Tyvek® UV Facade



Cinta adhesiva acrílica de una cara resistente a rayos UV y excelentes propiedades de adherencia.

- Diseñada especialmente para sellar los solapamientos y juntas de Tyvek® UV Facade de forma duradera y sin contrastes de color

Color:	Negra
Tamaño del rollo:	75 mm x 25 m
Nº de rollos por caja:	6

Nail Sealing Tape

Cinta de sellado para perforaciones



Cinta adhesiva de polietileno de alta calidad diseñada para sellar las perforaciones producidas por los tornillos, clavos y grapas que se utilizan para fijar mecánicamente los sobre rastreles

Color:	Negra
Tamaño del rollo:	60 mm x 20 m
Nº de rollos por caja:	5

DuPont™ Tyvek® Double Sided Tape

Cinta adhesiva de doble cara Tyvek®



Cinta acrílica de doble cara. Ideal para sellar juntas y pegar las láminas Tyvek® a superficies lisas.

- Excelentes propiedades de adhesión en condiciones de humedad
- Recomendada para la lámina Tyvek® UV Facade y apropiada para todas las láminas Tyvek® y las láminas de control del vapor DuPont™ AirGuard®

Color:	Transparente
Tamaño del rollo:	50 mm x 25 m
Nº de rollos por caja:	10

DuPont™ Tyvek® Butyl Tape

Cinta adhesiva Tyvek® en butilo



Sellador de doble cara de butilo, utilizado para sellar frente a la humedad y el aire, entre una lámina Tyvek® y los materiales más comunes en la construcción.

- Compatible con el ladrillo, el bloque, la albañilería, la madera, el metal y la mayoría de los plásticos
- Más efectiva si se usa bajo compresión, por ejemplo, utilizando una tabla de madera
- Se recomienda su uso en perímetros, chimeneas, contrafuertes y también para sellar pequeños agujeros y alrededor de las tomas de corriente eléctricas

Color:	Negro
Tamaño del rollo:	20 mm x 30 m / 50 mm x 30 m
Nº de rollos por caja:	8 (20 mm x 30 m) / 4 (50 mm x 30 m)

DuPont™ FlexWrap NF



Cinta elástica y flexible formada por una hoja superior DuPont™ Tyvek® ondulada y una masa de butilo. Proporciona una excelente adhesión estanca a todas las láminas transpirables Tyvek® en torno a puntos de penetración no rectos, como buhardillas, umbrales, chimeneas...

Color:	Blanca
Tamaño del rollo:	152,4 mm x 22,90 m
Nº de rollos por caja:	1

Productos



tesamol[®] Bajo Puertas COMFORT

Las barras bajo puerta tesa[®] mol[®] protegen de la corriente de aire, el frío y el polvo. Las cerdas de nylon de alta calidad aseguran un sellado perfecto.

Más información



tesamol[®] Bajo Puertas PARA MOQUETAS

Las barras bajo puerta tesa[®] mol[®] protegen de la corriente de aire, el frío y el polvo. Las cerdas de nylon de alta calidad aseguran un sellado perfecto.

Más información



tesamol[®] Bajo Puertas STANDARD

Las barras bajo puerta tesa[®] mol[®] protegen de la corriente de aire, el frío y el polvo. Las cerdas de nylon de alta calidad aseguran un sellado perfecto.

Más información



tesamol[®] Doble Rollo aislante

El doble rollo tesa[®] mol[®] protege del frío, las corrientes de aire y el polvo. Puede ser fácilmente instalado por debajo de la puerta.

Más información



tesamol[®] Lámina reflectora de calor

Evita que el calor que emiten los radiadores se disipe por las paredes

Más información



tesamol[®] Perfil D

Burlete de caucho adhesivo tesa[®] mol[®] Perfil D fácil de aplicar en ventanas y puertas, especialmente útil para los desajustes más grandes gracias a su...

Más información



tesamol[®] Perfil E

Burlete de caucho adhesivo tesa[®] mol[®] Perfil E fácil de aplicar en ventanas y puertas, especialmente útil para los desajustes más grandes gracias a su...

Más información



tesamol[®] Perfil P

Burlete de caucho adhesivo tesa[®] mol[®] Perfil P fácil de aplicar en ventanas y puertas, especialmente útil para los desajustes más grandes gracias a su...

Más información