

MANUAL DE  
**HERMETICIDAD**  
AL AIRE DE  
EDIFICACIONES



# MANUAL DE **HERMETICIDAD** AL AIRE DE EDIFICACIONES

Proyecto Financiado por:



**FONDEF**  
Fondo de Fomento al Desarrollo  
Científico y Tecnológico



ISBN N° 978-956-9275-27-2.

Universidad del Bío-Bío

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, CITEC UBB

Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC

Editora: MAUREEN TREBILCOCK

Arquitecto Universidad del Bío Bío

Master Arquitectura Sustentable, The University of Nottingham, Reino Unido.

PhD Arquitectura Sustentable, The University of Nottingham, Reino Unido.

---

## PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR NACIONAL DE ARQUITECTURA

El Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Arquitectura, desarrolla un esfuerzo tendiente a proveer al país de edificios públicos con criterios aplicados de eficiencia energética, acordes con los desafíos que impone el mejor uso de nuestros recursos, el cuidado del medioambiente y la ejecución de mejores ciudades para el desarrollo humano.

La Agenda Energética recién presentada por el gobierno, plantea los desafíos de Chile en materia energética, estableciendo la Eficiencia Energética como política de Estado.

En la actualidad estamos llamados a seguir en esta línea y responder a los desafíos gubernamentales de realizar un mayor esfuerzo en eficiencia energética, fijando estándares y metas para toda nueva Construcción Pública, de modo que estos esfuerzos sean cada vez más efectivos y respondan a parámetros que nos permitan medir de mejor manera los avances en esta materia.

El proyecto FONDEF, sobre “Establecimiento de clases de infiltración aceptables de edificios para Chile” nos ha permitido participar de este proyecto como institución Mandante, junto a diversas instituciones, formando un Consorcio Tecnológico público privado liderado por el CITEC de la UBB y el DECON de la UC, que propuso desarrollar estándares de hermeticidad al aire y clases de infiltración aceptable de edificios por zona territorial de Chile, con el objeto de reducir a límites aceptables el impacto de las infiltraciones de aire en la demanda y consumo energético en la Edificación.

Este Manual de Hermeticidad al aire, es una valiosa herramienta de gestión técnica que nos permite referenciar el diseño, la ejecución, el control y la fiscalización de la calidad hermética de los Edificios Públicos, con un mejor compromiso entre calidad y costos.

Como Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas agradecemos al CITEC UBB y al DECON UC por el conocimiento tecnológico desarrollado en la materialización de este instrumento y consideramos una gran responsabilidad al tener la posibilidad de iniciar la aplicación de este Manual de hermeticidad en proyectos de Edificación Pública, que junto a diversas iniciativas de eficiencia y construcción sustentable, consoliden una gestión integrada de calidad con menor consumo energético y de gran responsabilidad con el Medio Ambiente.

**Ricardo Faundez Ahumada**  
*Director Nacional de Arquitectura*  
*Ministerio de Obras Públicas*



---

## PRESENTACIÓN DEL SUBSECRETARIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

Para cumplir con la misión de entregar viviendas de calidad a nuestros beneficiarios, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo desde hace más de una década está trabajando en el establecimiento de reglamentos y normativas de acondicionamiento ambiental para lograr alcanzar el mayor confort al interior de cada vivienda. Prueba de lo anterior, es que ya durante la década de los noventa, este ministerio trabajó en la definición de estándares térmicos y acústicos para las viviendas, incorporándose el año 2000 la reglamentación térmica a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), y en el año 2004, la reglamentación acústica.

El desarrollo de la investigación en este ámbito y la producción de nuevos materiales constructivos, plantea al Minvu el desafío de actualizar permanentemente sus exigencias en materia de acondicionamiento ambiental, para mejorar el comportamiento integral de la vivienda en temas de habitabilidad y eficiencia energética. En este ámbito, los desafíos inmediatos son: la disminución de los riesgos de condensación, mejoras en la ventilación para mantener la calidad del aire interior y un más eficaz control de las infiltraciones de aire y puentes térmicos en las viviendas.

La disminución del consumo de energía en calefacción y el ahorro que ello representa, la disminución de emisiones contaminantes y su consiguiente impacto positivo en el cuidado del medioambiente, son parte fundamental de nuestras preocupaciones institucionales. En este sentido el Manual de Hermeticidad -que nace del proyecto Fondef “Establecimiento de clases de Infiltración aceptables de edificios para Chile”- representa una importante contribución a la calidad de vida de todos los chilenos.

**Jaime Romero Álvarez**

*Subsecretario de Vivienda y Urbanismo*

*Ministerio de Vivienda y Urbanismo*



---

## PRESENTACIÓN

La incorporación de criterios de sustentabilidad a las edificaciones, importante demanda social de nuestros tiempos, obliga a un modo distinto de concebir la planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones, para hacer de éstas espacios cada vez más seguros, habitables y sostenibles, donde la preocupación por la eficiencia energética del edificio debe ser uno de los ejes de preocupación central.

Para esos propósitos, es importante contar primero con estándares definidos de diseño, construcción y operación sustentable de edificios, que permitan a los actores relevantes interiorizar debidamente consideraciones ambientales y de eficiencia energética en cada una de las etapas del ciclo de vida del edificio, de modo de minimizar su impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas. Estándares que deben ser definidos como resultado de procesos de investigación local para garantizar su aplicabilidad e impactos sociales esperados.

En ese exacto contexto, el Proyecto Fondef D 10 I 10 25, de investigación y desarrollo de interés público, del cual deriva como uno de sus productos resultados este Manual, cumple con sus objetivos principales tenidos a vista a su formulación; desarrollar conocimiento de base experimental para respaldar técnica y económicamente el establecimiento de estándares de hermeticidad al aire de edificios en Chile y; desarrollar soluciones de diseño de envolvente y soluciones para la ejecución y control de calidad de obras, con el propósito de reducir a límites aceptables el impacto de las infiltraciones de aire en la demanda y consumo energético en el sector edificios.

Este manual de hermeticidad de edificaciones ha sido concebido para ser útil tanto a quienes proyectan a la hora de tomar decisiones, como a los que fiscalizan, a la hora de verificar el cumplimiento de exigencias; por lo cual, sin perder rigor técnico, se ha buscado que sea eminentemente práctico y didáctico.

Con todo, lo que ha pretendido el consorcio reunido para la ejecución del proyecto Fondef y elaboración de este manual, es crear condiciones para conseguir edificaciones con niveles de hermeticidad al aire más ajustadas a las necesidades de uso óptimo mínimo de energía en todo el territorio nacional y, de esta forma, contribuir a la integración del concepto de desarrollo sustentable en el área de la construcción en Chile.

**Ariel Bobadilla Moreno**  
*Director Proyecto Fondef D10 I 1025*  
CITEC UBB





---

# INDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
1.1 El Edificio y regulaciones energéticas.....	17
1.2 El Edificio y su demanda energética.....	19
1.3 Impacto de las regulaciones energéticas.....	20
1.4 La hermeticidad y las infiltraciones de aire.....	22
1.5 Infiltraciones y demanda energética.....	24
Bibliografía.....	25
<b>CAPITULO 2: LÍNEA BASE DE HERMETICIDAD AL AIRE DE LAS EDIFICACIONES EN CHILE.....</b>	<b>27</b>
2.1 Selección y tamaño de la muestra.....	29
2.2 Recolección de datos.....	30
2.3 Análisis de datos y establecimiento de línea base.....	31
Bibliografía.....	34
<b>CAPITULO 3: CLASES DE HERMETICIDAD AL AIRE DE EDIFICACIONES.....</b>	<b>35</b>
3.1 Indicadores de hermeticidad al aire de edificaciones.....	37
3.2 Exigencias de hermeticidad a nivel internacional.....	39
3.3 Criterios de zonificación y clasificación para exigencias de hermeticidad.....	41
3.4 Zonificación del territorio nacional por grados días de infiltración.....	42
3.5 Clases de hermeticidad aceptable para edificios de Chile.....	45
3.6 Brechas de hermeticidad al aire por tipo y zona territorial.....	48
Bibliografía.....	50

---

<b>CAPITULO 4: CONTROL PRESTACIONAL DE HERMETICIDAD.....</b>	<b>53</b>
4.1 Método de verificación de la hermeticidad en etapa de diseño.....	56
4.2 Método de verificación de hermeticidad en obra.....	60
4.3 Control en obra.....	65
Bibliografía.....	70
<b>CAPITULO 5: IMPACTO DE LAS SINGULARIDADES EN LA HERMETICIDAD AL AIRE DE LOS EDIFICIOS.....</b>	<b>71</b>
5.1 Singularidades y tipologías constructivas.....	73
5.2 Determinación de las infiltraciones de aire en las singularidades.....	76
5.3 Incidencia de las infiltraciones en la edificación.....	83
Bibliografía.....	84
<b>CAPITULO 6: PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS Y PUERTAS.....</b>	<b>85</b>
6.1 Niveles y clases de permeabilidad al aire de puertas y ventanas.....	89
6.2 Valores típicos de infiltración de aire de puertas y ventanas.....	91
Bibliografía.....	97
<b>CAPITULO 7: MATERIALES Y SELLOS.....</b>	<b>99</b>
7.1 Elección de elementos de sello.....	102
7.2 Tipos de sellante.....	104
7.3 Sellos por adhesión.....	105
7.4 Sello por relleno.....	110
7.5 Sello laminar.....	118
7.6 Sellos de juntas para ventanas y puertas.....	122
7.7 Sellos multipropósitos.....	134
Bibliografía.....	139

---

<b>CAPITULO 8: SOLUCIONES PARA LA HERMETICIDAD.....</b>	<b>141</b>
8.1 Estrategias arquitectónicas.....	143
8.2 Soluciones constructivas para la hermeticidad al aire.....	148
8.3 Soluciones constructivas para la hermeticidad al aire de puertas.....	170
8.4 Soluciones constructivas para la hermeticidad al aire de ventanas.....	176
8.5 Soluciones constructivas para la hermeticidad al aire de instalaciones .....	179
8.6 Soluciones constructivas para la hermeticidad al aire de edificaciones existentes.....	185
Bibliografía.....	189
<b>CAPITULO 9: VENTILACIÓN, CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y HERMETICIDAD.....</b>	<b>193</b>
9.1 Historia.....	196
9.2 Ventilación e infiltraciones de aire.....	198
9.3 Funciones y necesidades de ventilación en edificaciones.....	199
9.4 Fuentes contaminantes presentes en las edificaciones.....	200
9.5 Caracterización de las exigencias de ventilación .....	202
9.6 Organización de la ventilación.....	207
9.7 Tipos y sistemas de ventilación.....	209
Bibliografía.....	216
<b>CAPITULO 10: CASOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>217</b>
10.1 Viviendas Condominio Nuevo Mundo.....	219
10.2 Vivienda Piloto Passivhaus.....	230
Bibliografía.....	240
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>241</b>



# CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

ARIEL BOBADILLA M.

COLABORADOR: ALEX GONZÁLEZ C.

CITEC UBB



---

# INTRODUCCIÓN

Mediante convenio, suscrito entre la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT y las Universidades del Bío-Bío y Católica de Chile, de fecha 11 de diciembre del 2011, se acordó el desarrollo del proyecto Fondef D10 I 1025: “Establecimiento de clases de infiltración aceptables de edificios para Chile”. El proyecto fue postulado al XVIII Concurso de Proyectos FONDEF por un consorcio tecnológico, con el mandato de los Ministerios de la Vivienda y Urbanismo y de Obras Públicas de Chile.

El consorcio tecnológico responsable de su ejecución y transferencia, lo integraron el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, CITEC UBB; la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, a través de su Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC; la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional DITEC del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, la Agencia Chilena de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía; el grupo Climat de

la Universidad Católica de Lovaina de Bélgica; el Centro de Innovación Tecnológica Nobatek de Francia y grupos técnicos de las Empresas Constructora Pocuro S.A., Venteko S.A., Indalum S.A., Alcorp S.A. y Wintec S.A.

El Proyecto Fondef propuso, desarrollar estándares de hermeticidad al aire y clases de infiltración aceptable de edificios por zona territorial de Chile, con el objeto de reducir a límites aceptables el impacto de las infiltraciones de aire en la demanda y consumo energético en el sector edificios. Adicionalmente, consultó desarrollar conocimiento y soluciones tecnológicas para apoyar el diseño, ejecución y el control de calidad de obras, para conseguir edificaciones con niveles de hermeticidad al aire ajustado a las necesidades de uso óptimo mínimo de energía en todo el territorio nacional.



A nivel específico el proyecto Fondef planteó además:

1. Determinar la línea base de las infiltraciones al aire en el sector edificios de Chile.
2. Establecer las exigencias de hermeticidad al aire de edificaciones por zona de Chile.
3. Establecer mecanismos de regulación, control y verificación de exigencias de hermeticidad al aire de los edificios en etapa de diseño y una vez construidos y;
4. Desarrollar soporte técnico para apoyar la implementación de soluciones y los procesos de control de calidad y fiscalización de exigencias de hermeticidad.

Este Manual de Hermeticidad al aire para la edificación, en sus distintos capítulos, presenta el Know-How tecnológico desarrollado a través del proyecto Fondef D10 I 1025. En particular, conocimiento de base experimental que sirve para diseñar y construir edificios con niveles apropiados de hermeticidad al aire. Entre los desarrollos más importantes informados en este manual destacan: la línea base de las infiltraciones de aire en Chile; las clases o exigencias de hermeticidad al aire mínima aceptables para cada capital provincial de Chile; los métodos de verificación de cumplimiento de exigencias de hermeticidad en fase diseño y obra; y especificaciones técnicas de soluciones de sellado y hermeticidad para los principales tipos de construcción presentes en el parque, probadas bajo condiciones de laboratorio y reales.

Chile muestra avances en materia de mejoramiento energético y ambiental de sus edificaciones, que se aprecian importantes a nivel de Latinoamérica pero menores si se comparan con el estado del arte mundial. Muestra además progresos asimétricos, toda vez que aspectos importantes como la hermeticidad, la ventilación y la higrotermia poseen nulo o escaso desarrollo a nivel de reglamentos, diseños y soluciones aceptadas, como sí existen, por ejemplo, para la aislación térmica.

Este manual de Hermeticidad al aire para la edificación, busca revertir en parte esa situación, y contribuir a mejorar la hermeticidad al aire de las edificaciones y con ello la calidad energética del parque de edificaciones en Chile. De esta forma pretende guiar a proyectistas, en el diseño y especificación de soluciones para la hermeticidad; a todas las instancias fiscalizadoras, en su función de inspección y control de calidad y; a las empresas especialistas en sellado y hermeticidad de construcciones.

Este capítulo se dedica a explicar el contexto y elementos de problema que justificaron la ejecución del proyecto Fondef y el desarrollo de este manual.

## 1.1 EL EDIFICIO Y REGULACIONES ENERGÉTICAS

Los edificios son componentes esenciales de la sociedad y la economía de los países. Proporcionan espacios y ambientes seguros, y térmicamente protegidos para el desarrollo de la actividad humana. Desde una perspectiva simplemente energética, se puede conceptualizar el edificio como un producto tecnológico que es diseñado y creado para entregar servicios que demandan energía. El 45% de la energía generada a nivel planetario se utiliza actualmente para calentar, refrigerar, iluminar y ventilar edificios, de lo que se deduce que el 50% del calentamiento mundial es producido por el consumo de combustibles fósiles en los edificios (The Aalborg Commitments, 1994). En Chile la situación no es muy distinta: el sector edificios es responsable del 26% del uso final de la energía, el 34% de la generación de residuos sólidos, el 33% de las emisiones de gases de efecto invernadero y del 6% de uso del agua (Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2013), en consecuencia, la demanda energética del edificio tiene además dimensiones éticas y sociales importantes.

Operar y mantener edificios ocupa hoy parte importante del presupuesto de las familias y naciones. Por esa razón, optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida en los edificios, la calidad de los servicios finales que éstos proporcionan y el

costo que eso implica, es un desafío que moviliza importantes cambios en la actividad edificatoria en el mundo. Reducir la cantidad de energía consumida en los edificios constituye hoy una demanda social que obliga a revisar la actividad de todos los actores implicados en la construcción de la ciudad. En el horizonte de cambios que se perfila, motivado por la demanda ética de sustentabilidad, el diseño y construcción del edificio debe necesariamente, fundarse en principios básicos como la calidad, el ahorro energético y la optimización de los recursos utilizados. Condición cada vez más valorada por los mercados para alcanzar el reconocimiento y la aceptación que precisa el edificio como producto para su comercialización (Meacham, B.J. et al., 2005; IRCC, 2010).

Con ese fin, los sistemas políticos y legales de prácticamente todos los países, exigen que los edificios tengan desempeños socialmente aceptables. Esto se consigue, normalmente, fijando requisitos mínimos asociados a objetivos de seguridad, salud, ahorro de energía y sustentabilidad, entre otros. Las legislaciones suelen incorporar estos requisitos en la forma de normas, itemizados técnicos, reglamentos u ordenanzas. Se entienden así instrumentos jurídicos destinados a garantizar que el edificio, una vez construido y utilizado de acuerdo con los reglamentos, ofrezca desempeños aceptables para los usuarios y la comunidad (Meacham et al., 2002). Para ello es imprescindible

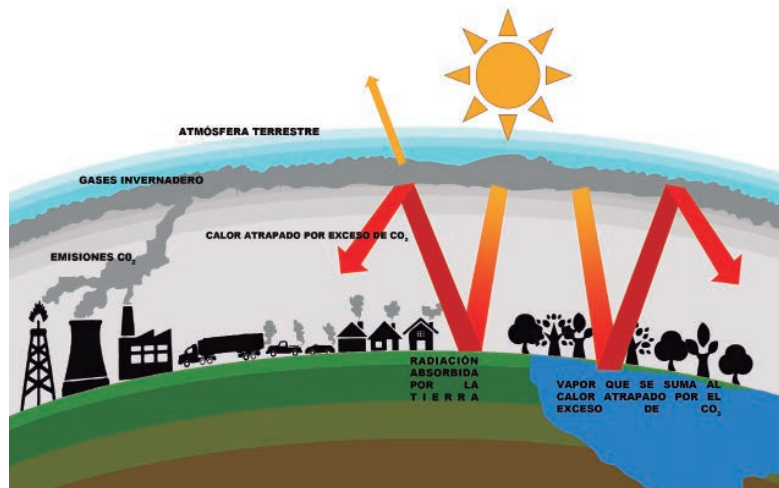


Figura 1.1: Efecto invernadero

además, realizar fiscalizaciones y controles reglamentarios sobre el diseño, construcción y operación del edificio en sus distintas fases.

El Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee IRCC define desempeño energético socialmente aceptable como: “la condición que se consigue cuando se logran consumos óptimos de energía sin degradar el confort interior y bajo impacto ambiental” (IRCC, 1988). Wouters (2000) en tanto, define la calidad energética del edificio en relación al clima interior, como “la condición que se consigue cuando se logran en el edificio niveles de clima interior apropiados para sus usuarios con un limitado o mínimo uso de energía”. Precisiones de las cuales se puede deducir que: la calidad energética de un edificio en relación al clima interior, queda definida cualitativamente en

términos de conformidad por la cantidad de energía que se requiere para lograr confort, y que la calidad energética aceptable se consigue cuando se logran desempeños socialmente aceptables.

Estas definiciones básicas plantean a lo menos dos cuestiones fundamentales: ¿Cuál es el mínimo óptimo de energía que se requiere para lograr confort? y; ¿Cómo se establecen esos requisitos mínimos, así como los controles reglamentarios para asegurar su cumplimiento? La respuesta no es simple, toda vez que involucra variables sociales, culturales y económicas de compleja interacción, relacionadas directamente con la capacidad económica y tecnológica de la sociedad, su grado de madurez y expectativas de calidad. En la práctica, establecer requisitos mínimos de desempeño energético plantea el problema de optimizar la relación entre el servicio de proveer confort térmico y la cantidad de energía y costos que demanda el edificio para esos fines.

La solución precisa siempre armonizar variables de diseño del edificio con variables climáticas, económicas y aspiraciones de calidad. En consecuencia, la apreciación de calidad térmica del edificio se relaciona directamente con la cantidad de energía que requiere el mismo edificio para proveer confort, esto es con su demanda energética  $De$  ( $kWh/m^2$  año), indicador que se utiliza normalmente para medir la aptitud del diseño pasivo para limitar el uso de energía (ISO 16343, 2013).

## 1.2 EL EDIFICIO Y SU DEMANDA ENERGÉTICA

Desde el punto de vista energético el edificio se puede considerar como un sistema termodinámico, sometido en forma permanente a múltiples y variadas influencias físicas. Dicho sistema está limitado por una envolvente o cerramiento diabático a través del cual se intercambia dinámicamente energía y masa, proceso que se conoce como “HAM Transport” (Künzel, 1995). Los intercambios de energía son movilizados por potenciales de temperaturas, presiones de vapor y de aire, y determinados en tipo y cuantía por las variables de clima interior y exterior. La demanda energética asociada a la energía movilizada, está determinada además por las instalaciones previstas para el acondicionamiento termoambiental del edificio. Fenómenos que explican la variación ostensible de la demanda de energía de los edificios con el clima y la calidad del diseño y ejecución de su envolvente.

El diagrama Sankey de la Figura 1.2 muestra el balance energético de un edificio en régimen de calefacción. La demanda de calor neta teórica de un edificio se compone de dos partes; la primera, corresponde a las pérdidas por transmisión, determinadas por el diseño constructivo, conductividad térmica y espesor de las capas materiales constituyentes de la envolvente del edificio, sintetizadas normalmente a través del indicador de transmitancia térmica  $U$

( $W/m^2K$ ). La segunda parte se debe a las pérdidas por ventilación, determinadas por los dispositivos previstos para la ventilación, y por las infiltraciones de aire, determinadas a su vez por las propiedades de hermeticidad al aire de la envolvente, caracterizadas usualmente por el indicador  $n50$  ( $1/h$ )<sup>1</sup>. En esta estructura, la demanda energética  $De$  ( $kW h/ m^2$  año), indicador de aptitud del diseño pasivo y factor a optimizar para mejorar calidad energética, queda definido por ambas componentes de pérdidas, y por los aportes de calor internos y externos, variables sobre las cuales se debe actuar para reducir a valores mínimos óptimos la demanda de energía.

La calidad energética de los edificios en cada país depende, entre otros, de su capacidad económica, del estado de la técnica y el arte de diseñar y construir y, muy fuertemente, del estado de las regulaciones en materia de protecciones térmicas y ambientales que rigen tanto el diseño y construcción de edificios. ¿Cuál es la situación, respecto de exigencias y regulaciones orientadas a limitar la demanda de energía para el acondicionamiento ambiental en Chile y sobre el impacto de éstas?

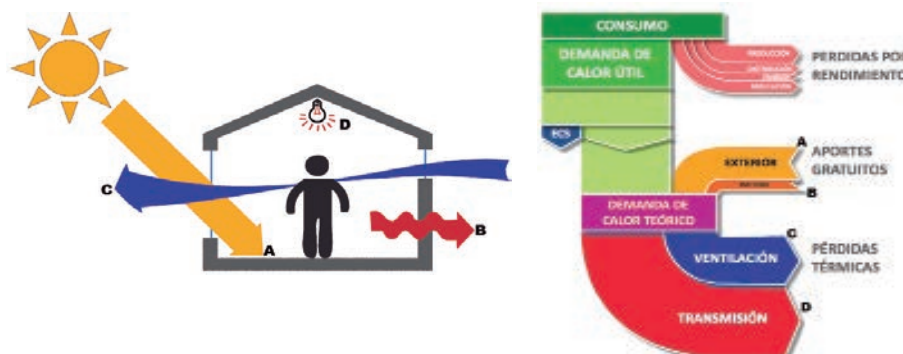
<sup>1</sup>El indicador  $n50$  ( $1/h$ ) se refiere a la cantidad de veces que se renueva el aire contenido al interior de un edificio en una hora sometido a una presión diferencial constante de 50 Pa. Este es uno de los indicadores que se suele utilizar para caracterizar la hermeticidad al aire de la construcción, se mide experimentalmente mediante métodos normalizados.

## 1.3 IMPACTO DE LAS REGULACIONES ENERGÉTICAS

El marco regulatorio de Chile, destinado a establecer objetivos y exigencias de ahorro de energía en los edificios, está en construcción. Avances importantes en esa línea son los siguientes:

En el ámbito de la edificación pública, la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, desarrolló el año 2012 los Términos de Referencia Estandarizados (TDRé) (Citec UBB & Decon UC, 2013). Estas son guías aplicables a la verificación y fiscalización de desempeños energéticos y ambientales de edificios públicos, y al apoyo, ejecución y fiscalización de proyectos. Ese Ministerio busca así, ejemplificadamente, introducir criterios de sustentabilidad y eficiencia energética a los proyectos de edificación no habitacional en Chile. Las guías para estos efectos

*Figura 1.2: Ganancias y pérdidas de calor y diagrama del balance energético de un edificio tipo en régimen de calefacción.*



se consultan como anexos a los contratos de diseño y construcción de edificaciones públicas y se empezaron a utilizar en forma piloto el año 2013.

En el ámbito de la edificación habitacional, el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU) incorporó en la última década dos modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Las denominadas 1ª y 2ª etapas de la Reglamentación Térmica, en la forma que se detalla en el Artículo N°4.1.10 de dicho reglamento, con el objeto de establecer requisitos a la aislación térmica de las viviendas en Chile (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006). El año 2000 entraron en vigor los requisitos para la aislación térmica de los complejos de techumbre, y el año 2007 se establecen exigencias para de 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. La reglamentación considera siete zonas térmicas, diferenciadas por grados días de calefacción, y fija en cada una de ellas requisitos para limitar, solamente, las pérdidas por transmisión a través de la envolvente. Adicionalmente el año 2013 se puso en marcha blanca voluntaria una 3ª etapa de la reglamentación, que establece un sistema de calificación energética de la vivienda a través de la evaluación de su demanda y consumo energético.

La reglamentación térmica no consideró en sus inicios disposiciones orientadas a regular la hermeticidad al aire y cargas energéticas asociadas a las infiltraciones de aire. En consecuencia, una componente importante de la demanda energética para el acondicionamiento térmico de una vivienda, que en algunos casos puede representar el 60% (Citec UBB & Decon UC, 2010; Ossio, F. et al., 2012), quedó sin ningún tipo de regulación ni control. Todas las medidas, partiendo por el establecimiento de estándares, diseños, tecnologías y reglamentaciones, han tenido como objetivo casi exclusivo, reducir las pérdidas por transmisión.

El estudio de la hermeticidad al aire de las edificaciones demostró que las edificaciones en Chile poseen una reducida capacidad para oponerse a las infiltraciones de aire. El estudio de línea base que se expone en el capítulo 2 de este manual, arrojó que las viviendas construidas entre los años 2007 y 2010 tiene valores  $n_{50}$  de 12,9 1/h, con valores esperados entre 11,1 y 14,7 1/h con un 95% de confianza. Medida global del arte y calidad del sellado y hermeticidad al aire de las construcciones habitacionales materializadas esos años (Bobadilla et al., en prensa).

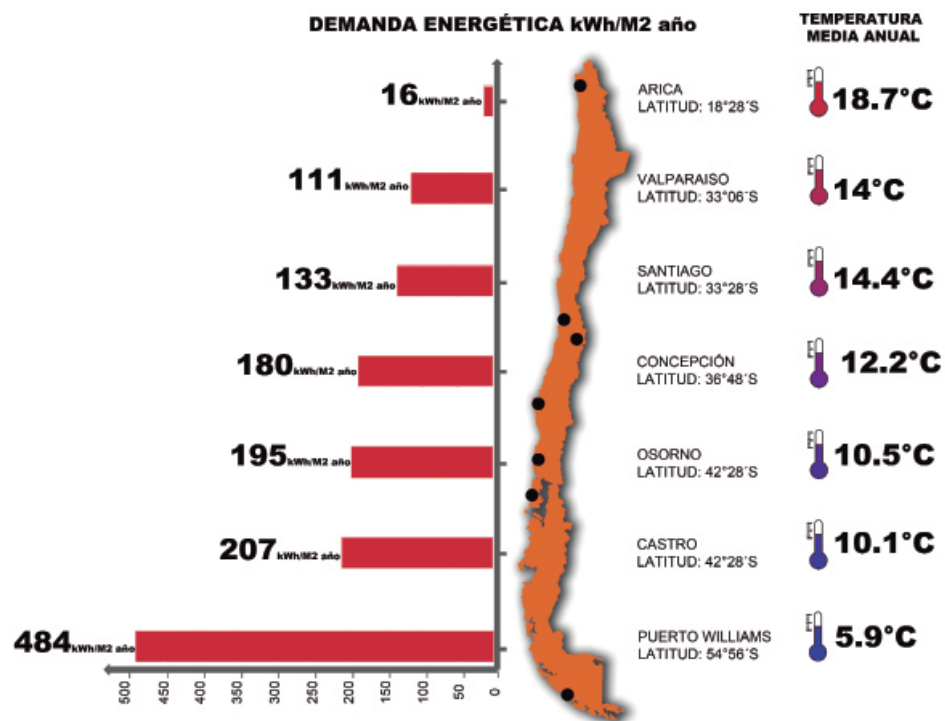
El análisis de la línea base hace evidente la ausencia o uso deficiente de técnicas de sellado y la mala calidad de ejecución de las envolventes respecto de la hermeticidad, aspectos que deben ser mejorados en Chile para asegurar un desempeño energético

aceptable de todos los tipos de construcción que se practican actualmente en el país. Menos del 5% del parque de construcciones tiene estándares de hermeticidad dentro de límites exigibles en Europa. Situación que explica, en parte, los moderados y casi nulos avances que se consiguen en materia de reducción de energía para el acondicionamiento térmico de edificios. La eficacia y la rentabilidad de las inversiones para mejorar energéticamente las construcciones, se ven afectadas cuando, siendo necesario, no se dota también al edificio con capacidad suficiente para oponerse a las infiltraciones de aire.

La demanda de calor útil para el acondicionamiento térmico de viviendas en Chile varía visiblemente con el clima. Se esperaría, por lo tanto, una variación similar en la calidad energética de las construcciones, situación que ,como se puede ver en la figura 1.4, no se refleja en la demanda energética. Se muestra ahí, la evolución de la demanda de energía para el acondicionamiento de una construcción habitacional típica en albañilería de ladrillo, en servicio de calefacción y refrigeración en siete ciudades de Chile representativas de las zonas térmicas que define la reglamentación térmica de Chile. El caso que se ilustra considera aislación térmica ajustada a las exigencias reglamentarias de cada zona térmica y propiedades de hermeticidad propias de ese tipo de construcción, determinadas experimentalmente en el contexto del proyecto Fondef.



*Figura 1.3: Términos de Referencia Estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura MOP.*



*Figura 1.4: Demanda de energía actual calculada, De (kWh/m<sup>2</sup> año), para el acondicionamiento térmico de una vivienda típica de albañilería en las distintas zonas térmicas de Chile.*

En las zonas con demandas principales de calefacción, las de mayor significación en el territorio nacional, la energía necesaria para calefaccionar recintos varía entre 133 y 484 kWh/ m<sup>2</sup> año (Figura 1.4); estándares que se consideran hoy excesivamente altos. Entre un 50 y 200 % superior en las distintas zonas a los que debieran tener las construcciones si sus envolventes tuviesen aislaciones térmicas óptimas, y niveles de hermeticidad adecuados a las exigencias climáticas de cada zona (Bobadilla, 2014).

Se observa que proveer el mismo servicio de calefacción cuesta muy distinto en las diferentes zonas del país. Se explica, en parte, por los distintos niveles de rigurosidad climática pero, mucho también, por la falta de ajuste de los diseños al clima en cada localidad. Se aprecian diferencias sustantivas en la capacidad de los edificios para limitar la demanda de energía, esto es, en aptitud para el empleo en las distintas zonas. Las infiltraciones de aire no controladas explican en gran parte este problema.

## 1.4 LA HERMETICIDAD Y LAS INFILTRACIONES DE AIRE

Las infiltraciones de aire, se definen como el paso de aire sin control a través de grietas ocultas y aberturas no previstas en la envolvente. Generan cargas térmicas, de frío o calor según la temporada, que inciden en el desempeño energético del edificio y, además, sirven de transporte de ruidos y contaminantes atmosféricos, que afectan el confort ambiental.

Este fenómeno es generado por diferencias de presiones que inducen el flujo a través de la envolvente. Estas diferencias de presiones pueden ser producidas por la acción del viento, por la diferencia de temperatura interior exterior o por la operación de aparatos de ventilación mecánica y son siempre el resultado de la acción combinada de más de un mecanismo inductor.

- **Infiltración producida por el viento:** resultado de la presión de viento sobre la fachada del edificio. Depende de la velocidad del viento incidente, la geometría del edificio y de su grado de exposición al viento (localización respecto de los edificios cercanos, topografía y rugosidad del terreno).

- **Infiltraciones por efecto de diferencia de temperatura:** infiltración por efecto convectivo, también conocida como efecto chimenea o Stack, que se explica por la relación entre la temperatura y la densidad del aire: a mayor temperatura menor es la densidad del aire, por lo que menor será el peso que ejerce la columna de fluido que queda sobre la altura considerada

de la grieta.

- **Infiltración o exfiltración por sistemas mecánicos de ventilación:** producida por la sobrepresión en el caso de un sistema de impulsión de aire o por la depresión producida por un sistema de extracción.

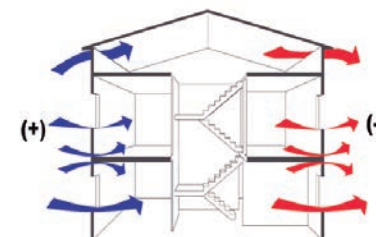


Figura 1.5: Esquema de infiltración producida por el viento.

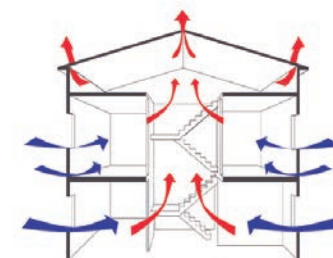
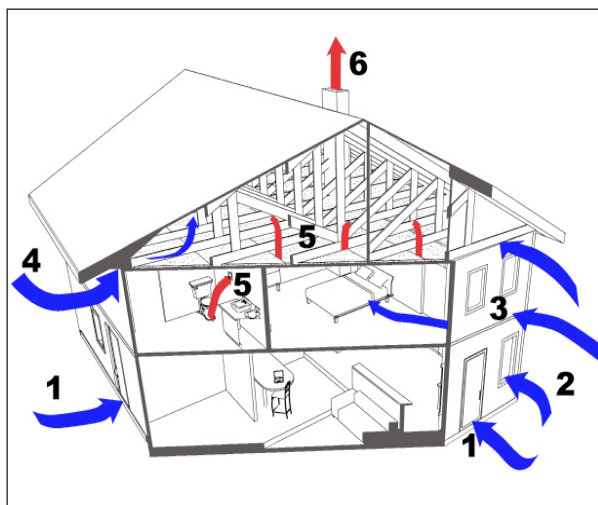


Figura 1.6: Esquema de infiltración por efecto de diferencia de temperatura.



1. Ventanas o puertas poco estancas
2. Rendijas alrededor de las ventanas
3. Vías a través de espacios en el pavimento/cielo hacia el interior del muro y luego hacia el exterior
4. Rendijas en la unión cielo-muro a la altura del alero
5. Perforaciones a través del cielo para el paso de instalaciones
6. Ductos de ventilación que atraviesan el cielo y/o techumbre
7. Aireador inserto en el muro o extractor en baños
8. Rendijas alrededor de las instalaciones de alcantarillado en baños
9. Rendijas alrededor de la unión muro-pavimento
10. Espacios en y alrededor de instalaciones eléctricas.

Figura 1.8: Principales vías de ocurrencia de infiltraciones de aire.

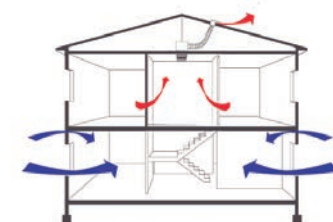


Figura 1.7: Esquema de infiltración por sistemas mecánicos de ventilación.



## 1.5 INFILTRACIONES Y DEMANDA ENERGÉTICA

La Figura 1.9 ilustra sobre la demanda energética para el acondicionamiento térmico promedio ponderado de una muestra representativa de edificaciones habitacionales en cada una de las 54 capitales provinciales de Chile. La muestra representa el 80% de las construcciones que obtuvieron el permiso de edificación el año 2011 en cada provincia del país.

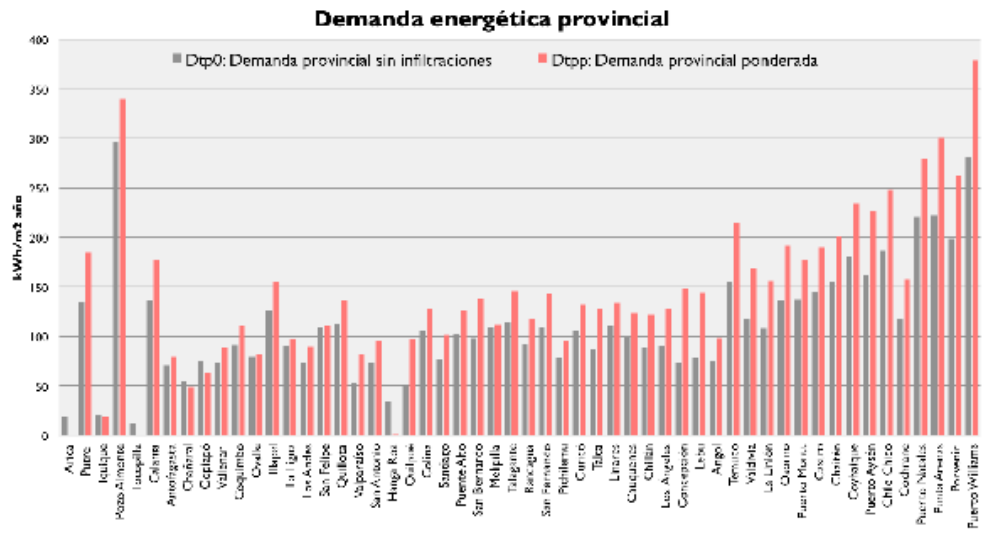
*Figura 1.9: Demanda energética de viviendas en cada capital provincial ponderada por tipologías constructivas. Demanda sin considerar infiltraciones y considerando infiltraciones.*

Se muestra la demanda total ponderada por provincia Detpp y la misma sin considerar las infiltraciones Detpp0. Las demandas se mueven en el dominio 0 y casi 500 kW h/m<sup>2</sup> año. Como se muestra las infiltraciones pueden llegar a

representar el 60% de la demanda total de energía para el acondicionamiento térmico, particularmente en zonas ventosas y con altos diferenciales térmicos.

Este análisis permite cuantificar la influencia de las infiltraciones de aire en la demanda energética, conceptualizaciones y decisiones correctas en ese sentido, ayudan a lograr edificios eficientes energéticamente, ahorrar energía, consecuentemente dinero y condiciones mejoradas de confort ambiental. Decisiones que deben ser tomadas en las fases de diseño, toda vez que es mucho más simple diseñar y construir una edificación hermética que intentar mejorar una construcción excesivamente permeable.

Las recomendaciones de diseño internacionales respecto a la hermeticidad al aire de los edificios apuntan hoy a construir edificios con el mayor grado de hermeticidad posible y atender las necesidades de aire nuevo controladamente. De forma ideal: edificios con hermeticidad suficiente, determinada por las exigencias de clima exterior y uso, y provisión de aire nuevo en cantidad justa y en el momento y lugar necesario (Wouters, Heijmans, & Francois, 2008). Sabiendo que una infiltración excesiva conlleva pérdidas de frío o calor innecesarias y disconfort producto de corrientes de aire. Hoy las exigencias de eficiencia energética y de calidad ambiental obligan, necesariamente, a preocuparse de la hermeticidad. El objetivo debiera ser “construir herméticamente y ventilar apropiadamente”. No existen edificios excesivamente herméticos, sin embargo, es esencial asegurar que exista siempre una ventilación suficiente.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bobadilla, A. (2014). *Calidad Energética y Ambiental Interior de la Edificación Habitacional en Chile. Análisis de las tendencias, logros y desafíos pendientes*. Disertación doctoral no publicada. Bélgica. Université Catholique de Louvain
- 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, & Decon UC. (2013). *TDR: Terminos de Referencia Estandarizados con Parametros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del país y Según Tipología de Edificios*. (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas, Ed.) (p. 249). Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- IRCC, (2010): The Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee IRCC. *Performance-based building regulatory systems: Principles and experiences*. 174.
- ISO 16343. (2013). *Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*.
- Künzel, H. M. (1995). Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters . *Physics*, 1995, 1–65.
- Meacham, B.J., Moore, A., Bowen, R. and Traw, J. (2005). Performance-Based Building Regulation: Current Situation and Future Needs, *Building Research and Information*, 33 (1), 91-106.
- Meacham, B.J., Tubbs, B., Bergeron, D., and Szigeti, F. (2002). Performance System Model – A Framework for Describing the Totality of Building Performance, *Proceedings of the 4th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design, SFPE*, Bethesda, MD, 63-77.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). *Aplicación Práctica Artículo 4.1.10. En Manual de aplicación de la reglamentación térmica*. Santiago de Chile.

---

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Obras Públicas, & Ministerio de Energía. (2013). *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*. 1–50.

The Aalborg Commitments, (1994). Los compromisos de Aalborg: Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad. *Conferencia europea sobre Ciudades Sostenibles*, Aalborg, Dinamarca, mayo de 1994.

Wouters, P. (2000). *Quality in Relation to Indoor Climate and Energy Efficiency. An analysis of trends, achievements and remaining challenges*. Louvain-la-Neuve: Tesis Doctoral, Université catholique de Louvain.

Wouters, P., Heijmans, N., & Francois, R. C. (2008). Implementation of Energy Performance Regulations: Opportunities and Challenges related to Building Airtightness. *EPBD Buildings Platform*, (August 2008), 1–10.

# **CAPITULO 2:** LÍNEA BASE DE HERMETICIDAD AL AIRE DE LAS EDIFICACIONES EN CHILE

RODRIGO FIGUEROA S.M.  
COLABORADOR: ALEX GONZÁLEZ C.  
CITEC UBB



# LÍNEA BASE DE HERMETICIDAD DE LAS EDIFICACIONES EN CHILE

El presente capítulo da cuenta de la línea base de hermeticidad de las edificaciones en Chile, entendida como el resultado de una medición que representa el estado actual de los niveles de hermeticidad al aire de la envolvente exterior del parque de edificios en el país. Línea que se deduce de ensayos experimentales normados realizados en terreno a una muestra representativa de edificios destinados a habitación y servicios. El propósito de la línea basal es poder elaborar juicios de calidad sobre la hermeticidad de la edificación actual, para inferir sobre causas y factores que las determinan, evaluar potencialidades de mejoramiento, y finalmente, establecer criterios para definir las clases de infiltración o grados de hermeticidad que se aplicarán a las futuras edificaciones en Chile.

Para establecer la línea base fue necesario definir una metodología de trabajo que constó básicamente de tres etapas. En primer lugar se seleccionó una muestra representativa del parque de edificios, posteriormente se evaluó experimentalmente la hermeticidad al aire de la muestra y se analizaron los resultados de las evaluaciones experimentales, por último, mediante técnicas estadísticas, se determinó la línea base de la hermeticidad de las edificaciones en Chile.

## 2.1 SELECCIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

Las muestras son concebidas como una fracción representativa de las poblaciones objeto de estudio, en cuanto reúnen sus mismas características de interés y cuyo tamaño se determina estadísticamente. En este caso, la fuente de información son los permisos de edificación



Figura 2.1: Esquema de elección de muestra representativa.



Figura 2.2: Equipo Standard Model 3 Minneapolis en funcionamiento.



Figura 2.3: Equipo Model 3 Three Fan System Minneapolis instalado.

otorgados mensualmente por las Direcciones de Obras de las Municipales de todo el país categorizados por comuna. La información se captura del Formulario Único de Edificación (FUE) que debe acompañar a la solicitud de permiso una vez revisada por la DOM respectiva. Este formulario consigna toda la información de interés para propósitos de estadísticas de la edificación, información que publica finalmente el Anuario de la Edificación del Instituto Nacional de Estadísticas (Instituto Nacional de Estadísticas, 2007, 2010).

El modelo estadístico utilizó información derivada de los Anuarios de la Edificación de los años 2007 y 2010, de las regiones Metropolitana y del Biobío para viviendas y edificación terciaria o de servicios. En el caso de viviendas se consideraron 5 tipos de materialidad, tres tipos de agrupamiento y dos edades de construcción como se muestra en la Figura 2.1. Conforme a los casos definidos y considerando la dispersión de datos encontrada en evaluaciones previas, la muestra de edificación habitacional quedó conformada por un total de 135 unidades, con un error del 10% y un nivel de confianza del 95%. La muestra consideró la materialidad predominante en muros, agrupamiento y año, para definir distintos grupos de interés.

Por su parte la muestra de la edificación terciaria quedó conformada por 20 unidades, con un error del 15% y un nivel de confianza del 95%. La muestra consideró sólo la materialidad predominante en muros como variable de interés.

## 2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos recolectados provienen de las evaluaciones experimentales realizadas in situ a la muestra mínima representativa en la forma que lo describe la norma UNE-EN13829, métodos A y B, procedimiento que se explica con más detalles en el Capítulo 4.2 Métodos de comprobación en obra.

Para las evaluaciones se utilizaron equipos comerciales normalizados y software de procesamiento de información. Para la evaluación de viviendas se utilizó un equipo Blower Door con un ventilador como se ve en la figura 2.2. Para la evaluación de la edificación terciaria se utilizó el equipo que aparece en la figura 2.3 que cuenta con tres ventiladores lo que permite ensayar edificios de mayor volumen de aire interior.

Para los efectos de la determinación de la línea base se decide utilizar el indicador renovaciones de aire por hora de la construcción sometida a una diferencia de presión de 50Pa, conocido internacionalmente como valor n50.

Cabe destacar que la muestra mínima representativa se estableció en 135 unidades para la edificación habitacional y 20 unidades para la terciaria y que para la determinación de la línea base se realizaron 189 evaluaciones de edificaciones habitacionales y 27 evaluaciones de edificaciones terciarias.

## 2.3 ANÁLISIS DE DATOS Y ESTABLECIMIENTO DE LÍNEA BASE

Se utilizaron distintas técnicas estadísticas para establecer inferencias de interés entre la materialidad, forma de agrupamiento, la antigüedad de la edificación y la hermeticidad al aire de la construcción. Las principales técnicas estadísticas utilizadas fueron Diagramas box-plot, pruebas paramétricas de Mann-Whitney y métodos multivariable de análisis de correspondencias múltiples y de medias de discriminación.

A través de este análisis estadístico se determinaron valores referenciales de hermeticidad de grupos o tipos de construcción homogéneos de la población objeto de estudio, diferenciados por la característica de hermeticidad de sus envolventes. Los grupos y valores de referencia que se fijan buscan describir la situación país o punto de partida para posteriores intervenciones destinadas a mejorar la hermeticidad al aire de las construcciones y medir sus progresos.

### EDIFICIOS HABITACIONALES

Para el caso de la definición de línea base de viviendas, el análisis de los factores explica que la variable materialidad predominante en muros es la más apropiada para la creación de la línea base, debido a las grandes diferencias entre una materialidad y otra respecto de la hermeticidad.

Se identifican las cuatro materialidades predominantes en la envolvente con mayor presencia a nivel nacional: Hormigón, albañilería de ladrillo, albañilería de ladrillo combinado con estructuras livianas y madera. Los sistemas constructivos con menor presencia o que recién se están implantando en el país se agrupan bajo el nombre de otras materialidades.

La línea base de la edificación habitacional corresponde entonces, al valor promedio de las mediciones realizadas, valor que nos permite estimar la capacidad de oponerse a las infiltraciones de aire de la construcción en Chile. La hermeticidad al aire del parque es de 12,9 cambios de aire por hora, valor que sin embargo no permite apreciar las diferencias entre materialidades, por lo que se recomienda un análisis desagregado por materialidad.

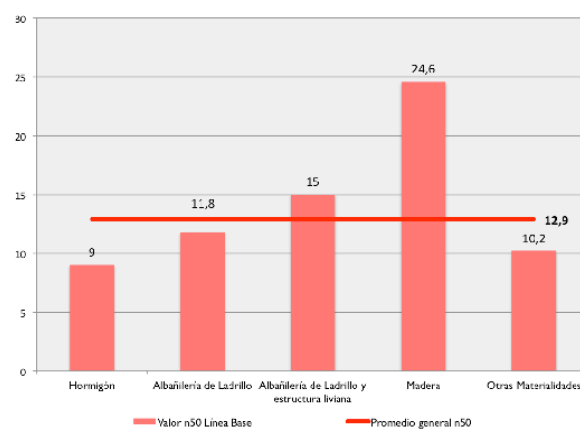


Figura 2.4: Línea base de hermeticidad al aire promedio según materialidad predominante en la envolvente para la edificación habitacional.



En la tabla 2.1 se muestran los valores de la línea base de hermeticidad al aire de la edificación habitacional de acuerdo a la materialidad predominante en muros y su respectiva desviación estándar.

La desviación estándar permite observar la dispersión que existe entre los posibles resultados de la hermeticidad para cada grupo. La menor desviación estándar se presenta en las viviendas en albañilería de ladrillo, donde los valores se encuentran entre 8,2 y 15,4 cambios de aire hora. Por el contrario la mayor dispersión se encuentra en las viviendas cuya materialidad predominante es madera, con valores entre 12,2 y 37,0 cambios de aire hora.

**Tabla 2.1:** Línea base de hermeticidad y desviación estándar para la edificación habitacional.

Materialidad predominante envolvente	Valor n50 Línea base	Desviación estandar
Hormigón	9,0	5,3
Albañilería de Ladrillo	11,8	3,6
Albañilería de Ladrillo y estructura liviana	15,0	10,4
Entramado de Madera	24,6	12,4
Otras Materialidades	10,2	4,3

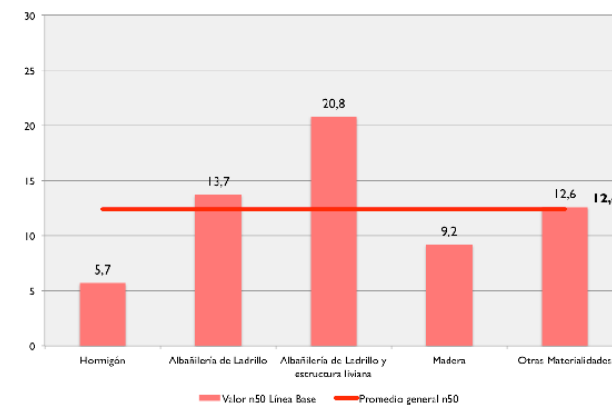
**Figura 2.5:** Línea base de la hermeticidad al aire promedio según materialidad predominante en muros para la edificación terciaria.

## EDIFICIOS TERCIARIOS

Para el caso de la definición de línea base de edificios, la variable materialidad predominante en muros es la más apropiada para la creación de la línea base, debido a las mayores diferencias que se observan.

Como se muestra en la figura 2.5, la materialidad ladrillo combinado con estructura liviana tiene una menor hermeticidad y la materialidad hormigón es la más hermética. En la edificación terciaria las diferencias entre materialidades son menores, encontrándose el promedio en 12,4 cambios de aire por hora.

En la tabla 2.2 se muestran los valores de la línea base de hermeticidad al aire de la edificación terciaria de acuerdo a la materialidad predominante en muros y su respectiva desviación estándar.



**Tabla 2.2:** Línea base de hermeticidad y Desviación estándar para la edificación terciaria

Materialidad muro predominante	Valor n50 Línea Base	Desviación Estándar
Hormigón	5,7	3,5
Albañilería de Ladrillo	13,7	5,2
Albañilería de Ladrillo y estructura liviana	20,8	7,4
Madera	9,2	1,9
Otras Materialidades	12,6	10,7

Los resultados de línea base muestran que las edificaciones en Chile tienen una hermeticidad entre 3 o 4 veces inferior a la hermeticidad límite promedio exigible en países europeos.

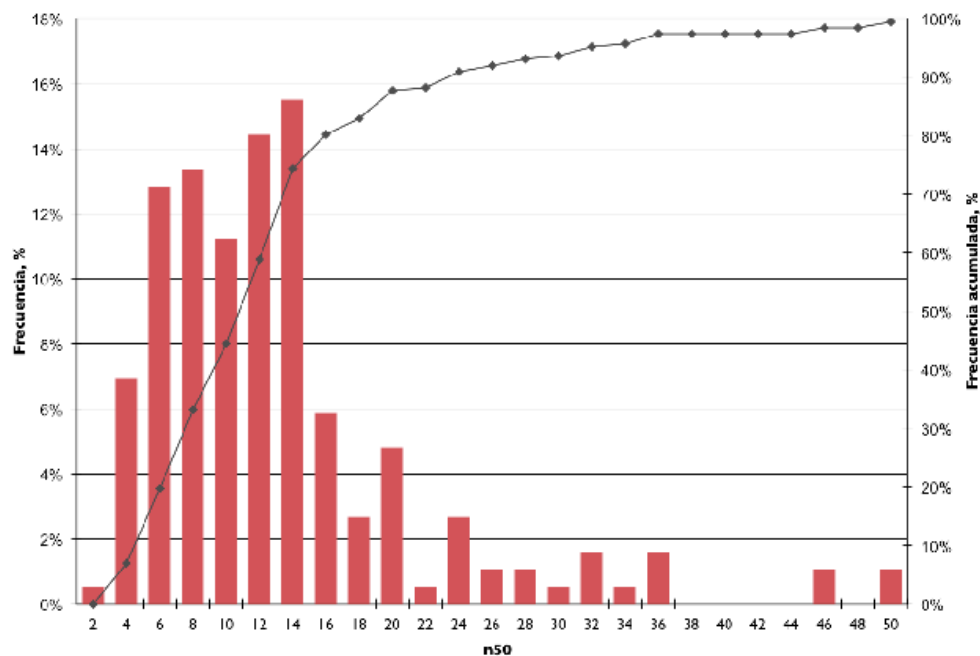
La figura 2.6 muestra las frecuencias relativas y acumuladas, de la característica hermeticidad al aire del parque de construcciones habitacionales evaluado. Se observa una concentración de los resultados entre los 4 y 14 cambios de aire hora correspondiente al 67,4% del total de la muestra, siendo excepcionales los datos sobre 20 cambios de aire hora. Porcentualmente los datos bajo 4 cambios de aire hora representan solo el 6,9% de la muestra.

La baja capacidad del parque de edificios analizados para oponerse a las infiltraciones y la alta dispersión de resultados es debido, entre otros a: ausencia de

regulaciones, no uso de técnicas de sellado, mala calidad de ejecución, elementos de la envolvente altamente permeables, entre otros.

La presente línea base permite observar el estado actual de las características de hermeticidad de la edificación en Chile, sirviendo principalmente para la creación de futuras disposiciones que la regulen y limiten, contribuyendo a la reducción energética para el acondicionamiento térmico.

**Figura 2.6:** Frecuencia y frecuencia acumulada de valores de hermeticidad (n50) de la muestra ensayada.



---

## BIBLIGRAFÍA

Instituto Nacional de Estadísticas. (2007). *Informe anual 2007*. Santiago de Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2010). *Informe anual 2010*. Santiago de Chile.

# **CAPITULO 3:** CLASES DE HERMETICIDAD AL AIRE DE EDIFICACIONES

ARIEL BOBADILLA M.  
MURIEL DÍAZ C.  
CITEC UBB



# CLASES DE HERMETICIDAD AL AIRE DE EDIFICACIONES

Este capítulo presenta la propuesta de clases de hermeticidad al aire aceptables para la edificación por zona territorial de Chile, desarrollada por el proyecto Fondef D10 I 1025. Se explican los indicadores utilizados internacionalmente para caracterizar la hermeticidad al aire de edificios; la práctica respecto a las formas de subdivisión territorial para efectos de establecer exigencias de hermeticidad por zonas; los estándares de hermeticidad aceptables en diversos países, y brevemente; los criterios y métodos empleados para definir valores límites aceptables de hermeticidad. Finalmente, se exponen las brechas que resultan de comparar los estándares o clases de hermeticidad que se entienden aceptables por provincia, con los estándares de hermeticidad que alcanza una muestra representativa de construcciones del año 2011.

## 3.1 INDICADORES DE HERMETICIDAD AL AIRE DE EDIFICACIONES

Tal como se explica en el Capítulo I, la hermeticidad al aire de una edificación define su capacidad para

oponerse a las infiltraciones de aire. Se le conoce como propiedad específica; vale decir, es una característica propia de la envolvente, sus partes y elementos constituyentes de ella.

Para caracterizar y medir la hermeticidad de un edificio y sus partes, se utilizan a nivel mundial distintos indicadores, algunos de los cuales se explican en la tabla 3.1. Todos, de distinta forma, miden y expresan el flujo de aire que pasa a través de la envolvente, o elementos presentes en la envolvente, tal como ventanas y puertas, expuestos a un nivel de presión estandarizado. No obstante los esfuerzos por uniformar ponderadores y niveles de presión, las normas internacionales utilizan aún distintas referencias. Las más comunes son el volumen interior contenido por la envolvente, la superficie de la envolvente, el área acumulada de grietas, otros. Todos estos indicadores se obtienen experimentalmente a través de un test de presurización normalizado (NCh 3295; EN13829; ASTM E779 10), conocido también como test del Blower Door, que se explica con detalle en el Capítulo 4.

**Tabla 3.1: Indicadores de hermeticidad utilizados a nivel mundial para caracterizar edificios, recintos y ventanas. Unidades y descripción.**

Indicador	Descripción	País	Normas/ Códigos
<b>n50</b>	Cambios de aire por hora a 50 Pascales, Valor n50 : Expresa el número de veces que se renueva el aire contenido al interior de un edificio durante una hora. Sometido éste a una presión diferencial de 50 Pascales, expresado en (l/h)	Alemania	(EnEV)
		Dinamarca	(Building Regulations, 2010)
		Noruega	(Planning and Building Act 1997)
		Suecia	(BFS 1998:38)
		Bélgica	(NBN D 50-001)
		Internacional	Estandar Passivhaus
<b>q50</b>	Caudal de aire a 50 Pascales, Valor q50: Expresa el caudal de aire que fluye a través de la envolvente del edificio sometido a una diferencia de 50 Pascales, expresado en ( $m^3/h m^2$ ), refiriéndose a la superficie de envolvente.	Reino Unido	(Building Regulations)
<b>q4</b>	Caudal de aire a 4 Pascales, Valor q4: Expresa el caudal que fluye a través de la envolvente del edificio sometido a una diferencia de presión de 4 Pascales, expresado en ( $m^3/h m^2$ )	Francia	(RT 2000)
		Suiza	(SIA 180)
<b>As</b>	Área de salida, Valor As de la construcción: Expresa el tamaño acumulativo de todos los puntos de escape del edificio en un cuadrado de bordes perfectos, expresada en ( $mm^2/m^2$ ) a 4 Pa.	Internacional	(Norma de cálculo UNE-EN13829)
<b>ELA</b>	Área Efectiva de Fuga, Valor ELA: Expresa el área de todas las grietas o agujeros en la envolvente de una construcción en un solo orificio idealizado. En EEUU se determina una presión de referencia de 4 Pa, mientras que en Canadá se determina a 10 Pa ( $m^2$ ).	Estados Unidos, y Canadá	(ASHRAE 119-1988 RA 2004)
<b>Ln</b>	Coeficiente de infiltración normalizado, Valor Ln de la construcción: Valor adimensional establecido en función del área de salida (As) a 4 Pascales y dimensiones características del edificio.	Estados Unidos y Canadá	(ASHRAE 119-1988 RA 2004)
<b>q100</b>	Caudal de aire a 100 Pa de ventanas: Expresa el caudal de aire por $m^3/h$ que fluye a través de una ventana cerrada sometida a una presión diferencial de 100 Pa. Se refiere a la longitud de las batientes ( $m^3/hm$ ).	Alemania	(EnEV)
		Holanda	(NEN 3661)
		Reino Unido	(BSI 6375:1983)
	Igual indicador pero se expresa en $m^3/h m^2$ , refiriéndose a la superficie total de la ventana y/o superficie de abertura.	EEUU y Canadá	(ASHRAE Standard 90.1-99 y ASHRAE Standard 90.2-99)
		Finlandia	(SFS 3304)
	Francia	(NF P20-302) el indicador $m^3/h m^2$	

## 3.2 EXIGENCIAS DE HERMETICIDAD A NIVEL INTERNACIONAL

Como hemos visto en capítulos anteriores, las ordenanzas de construcciones son los instrumentos utilizados normalmente para fijar los requisitos mínimos que deben cumplir los edificios. Por lo general, estos requisitos mínimos están asociados a objetivos de seguridad, salud, ahorro de energía y sustentabilidad, entre otros. Objetivos que resumen la expresión de los intereses esenciales del usuario, en cuanto al edificio y condiciones del edificio que lo hacen adecuado al uso previsto. La hermeticidad es uno de los requisitos exigibles, y se suele definir ya sea para la edificación en su conjunto, y/o para puertas y ventanas de uso exterior.

La clase de hermeticidad aceptable corresponde al estándar o nivel de hermeticidad límite, normalmente establecidos por zonas o todo un territorio nacional, que la ordenanza acepta para un país o territorio. En la práctica, la clase fija las condiciones específicas que deben verificar el diseño del edificio, sus sistemas constructivos y los productos que la componen, para cumplir con un objetivo de hermeticidad determinado. Las clases se definen y respaldan mediante estudios de base experimental y se expresan de manera cuantitativa a través de indicadores.

Las infiltraciones de aire generan cargas térmicas, de frío o calor según se trate, que inciden en el desempeño energético del edificio, y además, sirven de transporte de ruidos y contaminantes atmosféricos que afectan el confort ambiental. Existen varias razones para pretender regular las infiltraciones, donde la principal deriva del interés por limitar la demanda energética para el acondicionamiento térmico del edificio. En tanto, los niveles de exigencias o clases que fijan las ordenanzas de construcción, están determinados y/o influenciados por condiciones de clima exterior; por las expectativas de la sociedad sobre la calidad de la construcción; los costos y tipo de energía utilizada para el acondicionamiento térmico; y muy fuertemente, por condiciones tecnológicas y económicas. En este contexto, la clase aceptable de hermeticidad define lo que la sociedad está dispuesta a admitir como máxima pérdida de energía (frío o calor) en sus edificios por concepto de infiltraciones de aire.

En la tabla 3.2 se muestran clases aceptables de hermeticidad al aire de edificaciones en distintos países. Clases expresadas a través de distintos indicadores factibles de verificar objetivamente mediante métodos normados. La diversidad de indicadores sin embargo dificulta la comparación entre clases con bases de referencia distinta.



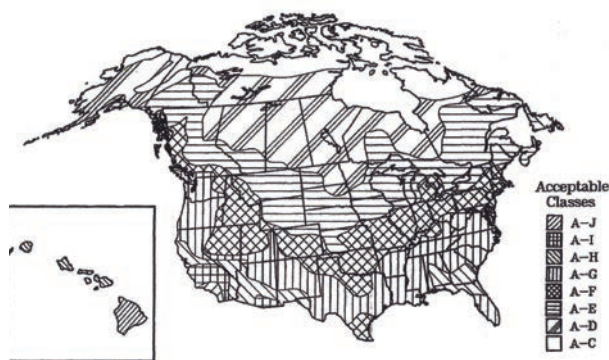
Tabla 3.2: Clases de hermeticidad al aire aceptables para edificios en distintos países.

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	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	50	
	Inmuebles de gran tamaño	3,0				
Francia	Viviendas unifamiliares	0,8	q4	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	4	
	Otros tipos de viviendas	1,2				
Letonia	Todo tipo de edificios	3,0	q50	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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 m <sup>2</sup>	50	
Suiza	Viviendas nuevas	0,75	q50	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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					

### 3.3 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN PARA EXIGENCIAS DE HERMETICIDAD

A nivel internacional, se utilizan distintos enfoques y criterios para fijar las clases de hermeticidad aceptables. Los sistemas más comunes diferencian exigencias por clima y territorio, mientras que los más complejos, diferencian exigencia por tipo de edificio, y por tamaño y tipo de sistema de ventilación.

Los países con menor diversidad climática, establecen normalmente una clase o exigencia única para todo el territorio nacional. Es el caso que se observa en Inglaterra, Alemania y la mayoría de los países europeos. En cambio los países con climas marcadamente distintos dentro de su territorio, optan por subdividir el territorio en zonas que agrupan localidades con demandas energéticas por infiltraciones relativamente similares. La exigencia de hermeticidad en estos casos es diferenciada por zonas y el nivel de exigencia por el potencial climático para generar infiltraciones. El potencial queda determinado por las variables climáticas presión de viento, temperatura y humedad ambiente. En Chile las presiones de viento son más determinantes que las temperaturas en la generación de infiltraciones (Bobadilla, 2014).



Infiltración normalizada	Clase de infiltración
$Ln < 0,1$	A
$0,1 \leq Ln < 0,14$	B
$0,14 \leq Ln < 0,2$	C
$0,2 \leq Ln < 0,28$	D
$0,28 \leq Ln < 0,4$	E
$0,4 \leq Ln < 0,57$	F
$0,57 \leq Ln < 0,8$	G
$0,8 \leq Ln < 1,13$	H
$1,13 \leq Ln < 1,6$	I
$1,6 \leq Ln$	J

Un caso típico de zonificación es el norteamericano (ANSI/ASHRAE I 19-1988, 2004) que aplica a EEUU y Canadá, donde se subdivide el territorio en base a los Grados Días de Infiltración (GD<sub>i</sub>), indicador de severidad climática que se explica más adelante.

Figura 3.1: Zonificación por grados día de infiltración y clases de infiltración para Estados Unidos y Canadá (ASHRAE, 2004).

### 3.4 ZONIFICACIÓN DEL TERRITORIO NACIONAL POR GRADOS DÍAS DE INFILTRACIÓN

Los Grados Días de Infiltración (GD<sub>i</sub>) son un indicador característico de cada localidad. La cantidad de grados de este tipo caracteriza, cuantitativamente, la rigurosidad del clima en lo que respecta a las cargas de infiltración a que están expuestas las edificaciones en la localidad. Depende de las variables climáticas de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; y de la configuración y dimensiones características de las edificaciones en la localidad. El concepto de grados días de infiltración fue desarrollado por Max Sherman y se explica en detalle en el texto “Infiltration degree-days: A statistic for quantifying infiltration-related climate” (Sherman, 1986). Para el cálculo numérico de los GD<sub>i</sub> se utiliza el modelo de infiltración LBL desarrollado por el Lawrence Berkley Laboratory (Scherman & Modera, 1984) que se sintetiza en la norma ANSI/ASHRAE 119-1988 (ASHRAE, 2004).

En la tabla 3.3 se muestra los grados día de infiltración (GD<sub>i</sub>) correspondientes a las 54 capitales provinciales de Chile. El cálculo fue desarrollado según la metodología descrita por Sherman, utilizando información climatológica que

se levantó y desarrolló como parte del proyecto Fondef D10 I 1025.

En la tabla 3.4 se muestra una clasificación por grados días de infiltración en base a niveles de GD<sub>i</sub>. Siguiendo pautas internacionales, se distinguen en el territorio nacional a lo menos cinco niveles de potencial climático para generar infiltraciones. Desde bajo nivel, en localidades con GD<sub>i</sub> menores a 500, a otras con muy alto potencial y nivel, en localidades con GD<sub>i</sub> superiores a 4500. De esta clasificación se deduce la zonificación por grados días de infiltración que muestra la figura 3.2.

Tabla 3.4: Zonificación por GD<sub>i</sub>.

Zona	Rango de GD <sub>i</sub>	N° ciudades
Zona 1	< 500	5
Zona 2	500 - 1500	18
Zona 3	1500 - 3000	19
Zona 4	3000 - 4500	7
Zona 5	> 4500	5

**Tabla 3.3: GDi para las 54 capitales provinciales del país**

ciudad	temperatura mínima promedio (°C)	temperatura máxima promedio (°C)	velocidad del viento m/s	°C GDi día/año
1 Arica	16,1	22,4	5,1	57
2 Putre	2,3	23,0	8,7	5337
3 Iquique	15,1	21,3	3,1	161
4 Pozo Almonte	2,3	23,0	8,5	4951
5 Tocopilla	15,1	21,3	3,1	138
6 Calama	2,3	23,0	8,7	5097
7 Antofagasta	13,7	20,1	5,1	942
8 Chañaral	13,7	20,1	5,7	362
9 Copiapó	9,3	23,9	5,1	842
10 Vallenar	11,2	17,5	2,0	750
11 La Serena	10,3	18,2	4,1	847
12 Ovalle	9,6	22,3	5,5	842
13 Illapel	9,6	22,3	2,2	1428
14 La Ligua	6,7	22,4	2,4	1736
15 Los Andes	6,8	25,1	5,5	1250
16 San Felipe	6,7	22,4	5,6	1675
17 Quillota	6,7	22,4	2,5	1335
18 Valparaíso	9,7	22,7	6,2	1078
19 San Antonio	11,2	17,5	5,6	1090
20 Hanga Roa	17,5	24,0	4,9	18
21 Quilpué	11,2	17,5	5,6	1053
22 Colina	6,7	22,4	2,7	1798
23 Santiago	6,7	22,4	3,6	1800
24 Puente Alto	6,7	22,4	3,6	1267
25 San Bernardo	6,7	22,4	3,6	1800
26 Melipilla	6,7	22,4	2,7	1800
27 Talagante	6,7	22,4	3,6	1800
28 Rancagua	7,1	21,4	3,1	1317
29 San Fernando	7,1	21,4	3,1	1328
30 Pichilemu	11,2	17,5	5,6	1048
31 Curicó	7,1	20,8	3,1	2115
32 Talca	7,2	21,7	3,1	1429
33 Linares	7,0	20,6	3,3	1646
34 Cauquenes	7,7	21,3	7,0	1433
35 Chillán	6,7	20,1	3,1	2675
36 Los Ángeles	6,7	20,1	2,4	1519
37 Concepción	7,7	17,7	6,7	2958
38 Lebu	7,7	17,7	7,0	2720
39 Angol	6,7	20,1	2,4	1522
40 Temuco	6,3	17,7	3,0	4332
41 Valdivia	5,9	16,9	1,0	1607
42 La Unión	5,9	16,9	0,5	1467
43 Osorno	5,4	16,6	3,3	2461
44 Puerto Montt	6,4	14,9	4,6	3094
45 Castro	6,7	20,1	3,8	1544
46 Futaleufú	6,4	14,9	5,1	3033
47 Coyhaique	8,1	12,4	5,1	3415
48 Puerto Aysén	6,0	12,8	3,1	2608
49 Chile Chico	4,2	15,3	9,8	4338
50 Cochrane	3,2	13,0	6,6	5215
51 Puerto Natales	2,8	9,7	2,8	3802
52 Punta Arenas	2,8	9,7	8,2	3953
53 Porvenir	2,8	9,7	2,8	3754
54 Puerto Williams	2,4	9,4	5,7	5392



Figura 3.2: Zonificación por grados día de infiltración.

Como se puede observar en la tabla 3.3, existe gran diversidad de valores de GDi en el país, siendo el clima más benigno (respecto de las infiltraciones) el de Hanga Roa y el más riguroso el de Puerto Williams.

Los GDi más bajos se asocian a localidades interiores, principalmente de la zona centro norte del país, con microclimas algunas de ellas, compatibles con velocidades medias de viento bajo los 2,5 m/s y varios meses con denominación meteorológica calma (menos de 2,0 m/s). Localidades compatibles también, en algunos casos, con temperaturas medias exteriores relativamente altas, que minimizan los efectos de tiro térmico. Los GDi medios y altos se asocian a localidades más bien costeras, principalmente de la zona centro sur, con velocidades medias anuales sobre los 2,5 m/s y/o temperaturas medias bajas. GDi alto y muy altos se dan en provincias del sur extremos como Puerto Williams, Punta Arenas y en provincias del altiplano andino con altas velocidades de viento y también altas oscilaciones térmicas.

En general se puede observar que los grados día de infiltración (GDi) no se corresponden con los grados día de calefacción que se utilizaron para definir la zonificación térmica de Chile, definida en su momento exclusivamente a partir de la variable climática temperatura del aire. Las infiltraciones son el resultado de fenómenos complejos muy bien documentados en la literatura internacional.

Los principales mecanismos inductores del flujo de aire a través de la envolvente son las presiones de viento y los diferenciales térmicos combinados con Stack integrados a los edificios. Sobre los 3 m/s las presiones de viento se hacen más importantes en la explicación de la ventilación natural e infiltraciones de aire. De la observación de variables climáticas en el territorio nacional se deduce que las presiones de viento son el principal inductor de las infiltraciones de aire.

El proceso de establecimiento de clases de hermeticidad consultó la creación de nuevas bases climáticas para cubrir todo el territorio nacional de Chile y realizar mejoras a las bases existentes. Las bases obtenidas incluyen información horaria de variables climatológicas de las 54 capitales de provinciales de Chile y se obtienen mediante un proceso de adecuación y validación de las bases que genera el software Meteonorm (Meteonorm, 2012).

La corrección y adecuación de datos utilizó el método de ajuste Utilizado en la Universidad de Southampton (Hampton y otros, 2013), utilizadas originalmente para corregir los efectos del calentamiento global en las bases climáticas. Con esta metodología se consigue modificar la respuesta horaria de las bases conseguidas con Meteonorm, para hacerla coincidir con la información oficial mensual que informa la NCh1079 (INN, 2008) y otras fuentes locales específicas (González y Díaz, 2013).

## 3.5 CLASES DE HERMETICIDAD ACEPTABLE PARA EDIFICIOS DE CHILE

En la tabla 3.5 se plantea la propuesta de clases de hermeticidad aceptable para edificios en Chile que desarrolló el proyecto Fondef D1011025. Se indica por capital provincial el nivel mínimo deseable del desempeño hermeticidad al aire de las edificaciones en la provincia. Se determinan utilizando en parte procedimientos y criterios que para propósitos similares acordó la ASHRAE en los Estados Unidos (ASHRAE, 2004).

La propuesta de clase de hermeticidad de edificios para Chile utiliza, más que una zona térmica, la provincia como unidad territorial para fijar exigencias. Decisión respaldada por los estudios de simulación energética realizados. La geografía física del territorio, su orografía y topografía particular, la altitud y naturaleza de los terrenos, genera microclimas y regímenes de vientos que van desde calmo casi permanentemente en algunas localidades a situaciones casi extremas en otras dentro de una misma región. Situación que hizo más aconsejable utilizar la provincia como unidad territorial.

Los criterios utilizados para definir las clases son los siguientes:

**Criterio 1:** que la clase de hermeticidad de una zona o lugar sea una que cumpla a lo menos un porcentaje del parque de edificación antes de colocar la exigencia, y que al mismo tiempo signifique una mejora en los valores actuales del parque en su conjunto (criterio estado de hermeticidad actual). La fuente de información es el estudio de línea base de las infiltraciones de aire del parque de edificios en Chile, informado en el capítulo 2.

**Criterio 2:** que la carga energética asociada a las infiltraciones no supere un límite determinado que se justifica económicamente. Se realiza para estos propósitos un extenso estudio de simulación energética utilizando TAS versión 9.2.1.4, que cubrió las 54 capitales provinciales de Chile. En cada capital provincial se mide el impacto de distintos clases de hermeticidad en la demanda energética de muestras de construcciones representativas presentes en cada provincia.

La clase por provincia se establece tratando de compatibilizar (que se cumplan simultáneamente) los dos criterios señalados: de no superar una demanda límite y de que la clase a fijar la cumpla un porcentaje del parque de la provincia, y teniendo a vista los distintos escenarios que arrojan la sensibilización de niveles de clases de hermeticidad

---

aceptable y de cargas energéticas por infiltración que arrojan las simulaciones.

Se fija finalmente los límites de 40 kWh/ m<sup>2</sup> año para carga por infiltración aceptable y en 10% el porcentaje de cumplimiento. Parámetros límites que se cumplen simultáneamente en el mayor número de provincias, por lo menos en las que se concentra el mayor número de población. En Las provincias que no se cumple con los dos criterios simultáneamente; casos que se dan en algunas zonas en el sur extremo y altiplano, se privilegia el criterio de demanda energética máxima. Coinciden en estas localidades edificaciones con bajos niveles de hermeticidad, especialmente construcción liviana en madera, con presiones de viento altas y bajas temperaturas, donde necesariamente las clases hermeticidad deben ser mucho más exigentes.

La propuesta de clases considera el estado actual de la hermeticidad en cada una de las provincias y las brechas de calidad en hermeticidad al aire existentes. No deben ser tan difíciles de cumplir considerando las posibilidades tecnológicas y económicas actuales, como lo demuestran estudios de campo de validación de estrategias de sellado y hermeticidad de construcciones que se documentan en este mismo manual. El nivel de clases que se propone lo determina principalmente el criterio estado de hermeticidad actual, cumple con la condición de no ser tan estricto al comienzo pero está a mitad de camino

del nivel de hermeticidad que debiera tener el parque considerando estándares internacionales. Las exigencias deben modificarse progresivamente en el tiempo de acuerdo a un programa debidamente calendarizado y de acuerdo al aprendizaje en esta nueva exigencia. Esto debiera permitir un proceso de mejoramiento de la calidad energética del parque, proceso que debe ser sostenido en el tiempo y monitoreado a objeto de medir sus progresos.

ciudad	n50 límite para 40 kWh/m <sup>2</sup> año (1/h)	n50 para 10% del parque edificación (1/h)	Valor de n50 límite propuesto (1/h) <sup>1</sup>	Demanda energética por infiltración para clase propuesta (kWh/m <sup>2</sup> )
Arica	-	5,2	- <sup>2</sup>	-
Putre	7,5	n/a	4	22
Iquique	-	4,8	- <sup>2</sup>	-
Pozo Almonte	5,6	7,8	4	29
Tocopilla	-	n/a	- <sup>2</sup>	-
Calama	3,5	5,1	4	46
Antofagasta	16,1	4,1	10	27
Chañaral	-	n/a	- <sup>2</sup>	-
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	- <sup>2</sup>	-
Quilpue	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

**Tabla 3.5:** Límites de hermeticidad al aire de edificaciones por provincia.

**Notas:**

<sup>1</sup>Clase verificada mediante la NCh3295:2013, “Determinación de la tasa de fuga de aire mediante el método de presurización del ventilador”, excluyendo (sellando) los dispositivos previstos para la ventilación.

<sup>2</sup>No se limitan las infiltraciones.



### 3.6 BRECHAS DE HERMETICIDAD AL AIRE POR TIPO Y ZONA TERRITORIAL

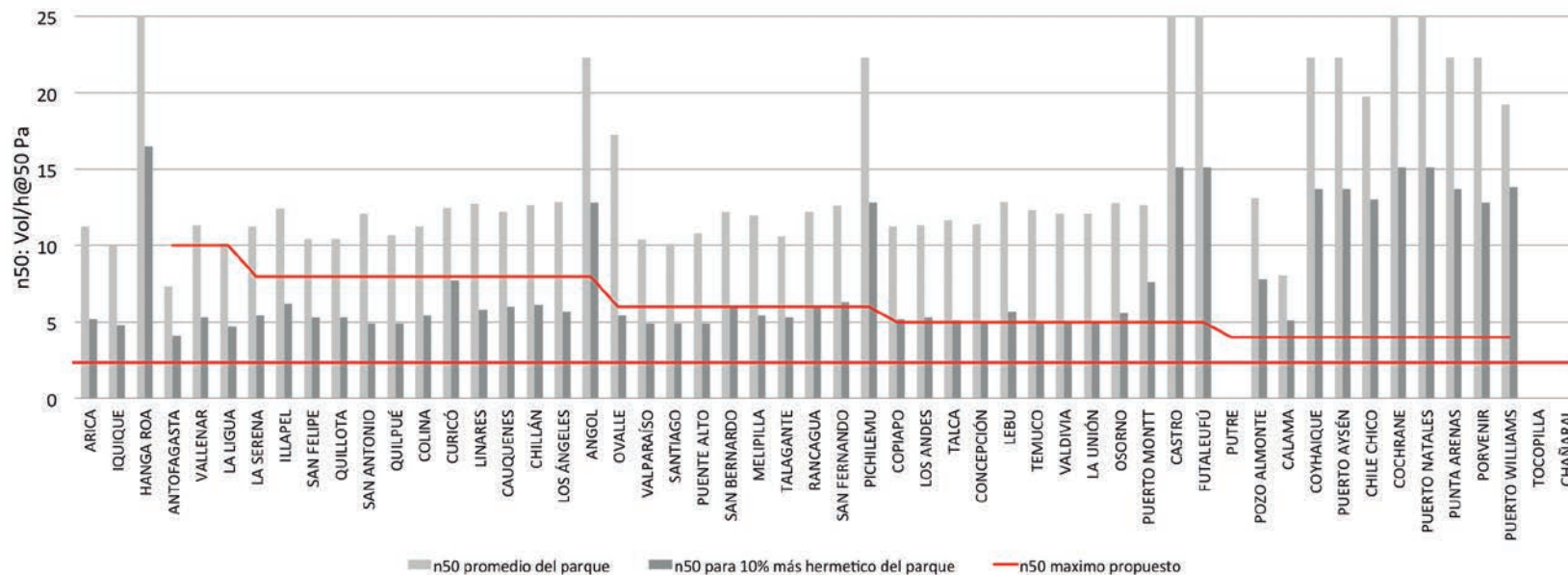
La línea base de las infiltraciones al aire de la oferta masiva de nuevas construcciones habitacionales en Chile se encuentra en el nivel n50: 13(1/h). Su capacidad para oponerse a las infiltraciones, y por lo mismo para limitar las cargas energéticas por ese concepto, es un cuarto de la exigible de acuerdo a estándares internacionales comparables. En el estado actual sólo un 3% de las nuevas

construcciones alcanzan clases de hermeticidad internacional.

La figura 3.3 muestra distintas referencias de clases de hermeticidad. Útiles para observar el estado actual, brechas de calidad y el nivel de esfuerzo que es necesario realizar. Se muestra la hermeticidad media en el estado actual del parque de construcciones en cada una de las 54 capitales provinciales; nivel de hermeticidad o clase propuesta; el nivel que cumple el 10% del parque y el estándar medio de hermeticidad en Europa, en torno a 3 (1/h).

En las ciudades con mayores exigencias de hermeticidad, se puede observar el 10% más

Figura 3.3: Brecha entre los valores límite y el 10% más hermético por localidad.



---

hermético del parque no logra cumplir con el valor límite propuesto. Este caso se presenta principalmente en las ciudades del sur del país en que predomina la construcción en madera y el clima es más riguroso. En estos casos fue necesario privilegiar el comportamiento energético de las viviendas, las brechas en esas localidades se aprecian importantes. Es posible sin embargo conseguir los desempeños de hermeticidad al aire en todas las capitales provinciales con estrategias de diseño y ejecución adaptas a las exigencias de clases. En los capítulos 6, 7, 8, 9 y 10 de este manual se muestran distintas soluciones con ese fin.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (2004). *ASHRAE 119: Air Leakage Performance for Detached Single-Family Residential Buildings*. Atlanta, EEUU.
- ASTM E1827 (2011). *Standard Test Methods for Determining Airtightness of Buildings Using an Orifice Blower Door*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/E1827-11, www.astm.org.
- Comité Europeo de Normalización, (2010). *UNE-EN 13829: Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador*. Madrid, España.
- Ghiaus, C., & Allard, F. (2005). *Natural ventilation in the urban environment: assessment and design*. (F. Allard & C. Ghiaus, Eds.) (p. 260). London: Earthscan.
- González, A., & Diaz, M. (2013). Función e impacto del archivo climático sobre las simulaciones de demanda energética. *Habitat Sustentable*, 3(2), 75–85.
- Hampton Jentsch M.F., James P.A.B., Bourikas L. and Bahaj A.S. (2013) Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates, *Renewable Energy*, Volume 55, pp 514-524.
- Instituto Nacional de Normalización. (2001). *Nch 2457 Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios - Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua*. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de normalización. (2013) *Nch 3295 Construcción– Determinación de la tasa de fuga mediante el método de presurización mediante ventilador*. Santiago, Chile.
- Ossio, F., De Herde, A., & Veas, L. (2012). Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. *Revista de La Construcción*, 11(1), 54–63.

- 
- Sherman, M. (1984). Description of Ashrae's air tightness Standard. En *The Implementation and effectiveness of air infiltration standards in buildings. 5th AIC Conference* (p. 27). Reno, Nevada: AIC.
- Sherman, M. (1986a). *Exegesis of proposed ASHRAE Standard 119: Air Leakage Performance for Detached Single-Family Residential Buildings* (p. 22). Berkeley, California.
- Sherman, M. (1986). Infiltration degree-days: A statistic for quantifying infiltration-related climate. En *ASHRAE Transactions V.92*.
- Sherman, M. and Modera, M. (1984). Comparison of measured and predicted infiltration using the LBL infiltration model. En *ASTM special technical publication 904; Measured air leakage of buildings*: Ed. Trechsel, Lagus.



# CAPITULO 4: CONTROL PRESTACIONAL DE HERMETICIDAD

ROBERTO ARRIAGADA B.  
COLABORADOR: ALEX GONZÁLEZ C.  
CITEC UBB



# CONTROL PRESTACIONAL DE HERMETICIDAD

La tendencia mundial hoy en día es la de desarrollar edificaciones energéticamente eficientes, las cuales demanden el menor consumo energético para su operación y tengan una alta capacidad de mantener los parámetros de confort y la calidad del aire interior en niveles aceptables. La hermeticidad de una edificación es un factor importante al momento de analizar la demanda y/o consumo energético asociado a calefacción y refrigeración, representando en algunos casos el 60% o más de las pérdidas energéticas totales de ésta.

En este sentido resulta fundamental que una edificación aborde este aspecto en su fase de diseño; resolviendo las singularidades del sistema constructivo que se utilice, sus instalaciones y todos aquellos elementos que forman parte de su envolvente, sean estos materiales o elementos, y en su fase de obra; controlando la ejecución de las partidas y el empleo de los materiales especificados.

En este capítulo se abordan métodos y herramientas de control en diseño y obra que se deducen de la experiencia adquirida en el contexto del desarrollo del proyecto Fondef D10 I 1025, las cuales tienen por objetivo cuantificar en fase de diseño y obra el nivel de hermeticidad de ésta, permitiéndoles visualizar

a los diseñadores y/o ejecutores de obras en fase temprana el grado de hermeticidad al aire que posee una edificación, pudiendo, a su vez, verificar el cumplimiento de requisitos de esta naturaleza y/o tomar decisiones respecto del diseño y control de obra.

De la misma forma se entregan recomendaciones generales de verificación y/o control de obra asociadas a aquellas partidas que normalmente contribuyen a desmejorar el nivel de hermeticidad al aire.

*Figura 4.1: La eficiencia energética de una edificación se ve afectada por su nivel de hermeticidad al aire.*





## 4.1 MÉTODO DE VERIFICACIÓN DE LA HERMETICIDAD EN ETAPA DE DISEÑO.



Figura 4.2: Determinación del nivel de hermeticidad en fase de diseño de un proyecto.

El método de verificación en diseño es de carácter analítico, y se basa en las ecuaciones físicas que gobiernan las infiltraciones de aire a través de la envolvente. Su aplicación queda limitada a edificaciones nacionales, sin embargo, conociendo los input requeridos, su aplicación puede extenderse a otros países. El método de comprobación se sustenta en bases de datos de las propiedades de permeabilidad al aire de ventanas, puertas y envolventes opacas que representan la realidad de la construcción en Chile, las que fueron obtenidas a través de diversos ensayos de laboratorio y terreno realizados por el CITEC de la Universidad del Bío-Bío en los últimos 20 años.

### 4.1.1 PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO

El procedimiento de aplicación del método se puede sintetizar en tres fases, la primera; identificación del proyecto y su localización, la segunda; cálculo de infiltración normalizada mediante herramienta de cálculo, y la tercera; comparación del cumplimiento de exigencias locales, como se grafica en la tabla

4.1. El parámetro de comparación que utiliza el método, en su tercera fase, son las exigencias límites de hermeticidad al aire propuestas por el proyecto para las 54 capitales provinciales del territorio nacional. No obstante lo anterior, de ser necesario, el método admite que la comparación se realice con otras exigencias oficiales si las hubiese.

*Tabla 4.1: Esquema de los pasos que considera el procedimiento del método de evaluación de la hermeticidad al aire en etapa de diseño.*

1	Identificación de la edificación y su ubicación geográfica.
2	Caracterización constructiva y arquitectónica de la edificación.
3	Levantamiento de las estrategias y medios previstos para la ventilación.
4	Determinación de la clase aceptable de hermeticidad al aire de la edificación.
5	Definición del valor característico de permeabilidad al aire de cada uno de los elementos que conforman la envolvente de la edificación.
6	Determinación de la hermeticidad al aire de la edificación (Planilla EHeD).
7	Comprobación de la forma en que se compara la hermeticidad al aire de la edificación obtenida en el paso 6 con la exigida y/o determinada en el paso 4.

## 4.1.2 HERRAMIENTA DE CÁLCULO

La herramienta de cálculo que utiliza el método es la EHeD<sup>®</sup> (Evaluación de Hermeticidad en Diseño), consiste en una planilla Excel de fácil utilización, cuyo principal Output es el valor de hermeticidad de una edificación a un diferencial de presión de 50Pa.

### 4.1.2.1 INPUTS

Los principales inputs de la herramienta de cálculo que utiliza el método son los siguientes:

**Emplazamiento.** Se debe definir la localidad donde se emplazará el proyecto. Considerar el listado de las 54 capitales provinciales para las cuales se establecen los valores límites de hermeticidad (Ver capítulo 3 de este manual). De no aparecer la localidad específica, considerar la más cercana que represente las características climáticas de ésta, para lo cual hay que tener presente, principalmente la temperatura media y velocidad media del viento. En este último caso se recomienda la utilización de la base de datos climática de la norma chilena NCh 1079 Of. 2008 Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

**Datos Arquitectónicos.** Se deben poseer los siguientes antecedentes: orientación de la

edificación, superficie total de la envolvente opaca que conforma la envolvente (muros, piso, cielo) y las EETT de éstos; superficie total de puertas en la envolvente y las EETT de éstas; superficie total de ventanas en la envolvente y las EETT de éstas, y finalmente, el volumen interior de la edificación.

### 4.1.2.2 BASES DE LA HERRAMIENTA

Las principales bases de datos que incorpora la herramienta de cálculo que utiliza el método son los siguientes:

**Bases de datos de ventanas:** Para la aplicación del método de cálculo en etapa de diseño se utilizan datos de ensayos de ventanas realizados en el laboratorio del CITEC UBB, según procedimiento descrito en la NCh892 Of. 2001. Los datos obtenidos mediante ensayo representan a los tipos de ventanas más utilizados en el país hasta fines del año 2013, según información levantada en el proyecto Fondef D10 I 1025 (Ver Capítulo 6).

Los valores de permeabilidad al aire de las ventanas, para una misma materialidad, tamaño y condición de apertura, son en algunas ocasiones variables, lo cual obedece principalmente a diferencias en los niveles de estandarización de los procesos fabricación de éstas, pasando a ser un indicador de la calidad de armado que posee el proveedor o instalador. En estos casos se debe considerar la media de dichos valores.



Figura 4.3: Herramienta de cálculo EHeD<sup>®</sup> que utiliza el método.

Bases de datos de puertas: Se utilizan datos de ensayos de puertas realizados en el laboratorio de CITEC UBB, según procedimiento descrito en la Norma Chilena NCh892 Of. 2001. Los datos obtenidos mediante ensayo representan los tipos de puertas más comunes del mercado nacional hasta fines del año 2013, según información levantada en el proyecto Fondef D10 11025 (Ver Capítulo 6).

Al igual que en las ventanas, en las puertas, se observan diferencias en los valores de permeabilidad al aire cuando se analizan datos de puertas similares; misma materialidad y tamaño, lo que tiene que ver principalmente con la calidad de instalación del sistema puerta; marco – hoja de puerta. En estos casos se recomienda considerar la media de dichos valores.

Bases de datos Muros: Para la aplicación del método de cálculo en diseño se utilizan los datos de los ensayos de terreno realizados a diferentes viviendas y edificios a través del proyecto Fondef D1011025. Para obtener la permeabilidad al aire de los elementos opacos de dichas edificaciones, metodológicamente se realizó el ensayo de Blower Door (UNE EN 13829:2002) sellando ventanas, puertas y dispositivos de ventilación, tales como: celosías, rejillas y aireadores.

Para la herramienta se utilizan los valores promedios por materialidad predominante en

muros y sus valores esperables. El diseñador deberá evaluar aproximadamente la calidad de la mano de obra disponible para la ejecución de soluciones y al mismo tiempo la calidad de los materiales y capas que conforman la solución. Los valores de esta base de datos se desprenden de la línea base de hermeticidad de la edificación en Chile que se expone en el Capítulo 2.

En términos generales, es importante indicar que la versión de la herramienta de cálculo, a la fecha de impresión del manual, considera las bases de datos que reflejan el estado del arte actual de la construcción nacional, por lo que se debería ir actualizando en virtud de los avances en el sector en materia de hermeticidad (nuevas soluciones, sellos, etc.), en línea con las recomendaciones propuestas por este manual.

### 4.1.2.3 OUTPUTS

Conforme a su relevancia, los output de la herramienta se agrupan en dos categorías: principales y secundarios.

#### **Principales:**

Hermeticidad de la edificación a un diferencial de presión de 50Pa,  $n_{50}$  (1/h)

Caudal de aire infiltrado en la edificación a un

diferencial de presión de 50Pa,  $V_{50}$  (m<sup>3</sup>/h)

**Secundarios:**

Caudal de aire infiltrado a través de las ventanas (m<sup>3</sup>/h)

Caudal de aire infiltrado a través de las puertas (m<sup>3</sup>/h)

Caudal de aire infiltrado a través de elementos opacos (m<sup>3</sup>/h)

muros de ferrocemento en primer piso y Partition Wall en el segundo, radier de hormigón con distintos pavimentos según recinto y complejo de techumbre de estructura liviana en base al sistema techo listo con cielo de yeso cartón.

El volumen interior de la vivienda es de 122,80m<sup>3</sup>, la superficie de ventanas es de 10,6m<sup>2</sup>, la superficie de puertas es de 3,00m<sup>2</sup> y la superficie de envolvente es de 134,5m<sup>2</sup>(considera piso, muros y cielo).

#### 4.1.2.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN HERRAMIENTA

A continuación se muestra un ejemplo de la determinación del nivel de hermeticidad al aire de una vivienda en etapa de diseño, utilizando el método propuesto.

**Paso 1. Identificación de la edificación y su ubicación.**

Vivienda de 2 pisos emplazada en la localidad de Concepción, muros perimetrales en base a paneles de ferrocemento, radier de hormigón y techumbre de estructura liviana.

**Paso 2. Caracterización de la edificación.**

La vivienda contempla ventanas tipo corredera y proyectante de la línea AL 30 en muros perimetrales, ventanas proyectantes tipo Velux en techumbre, puerta de acceso principal y de cocina de madera,

**Paso 3. Levantamiento de estrategias de ventilación.**

Considera ventilación forzada a través de extractores en baños. En cocina, se considera extracción puntual mediante campana y ventilación natural mediante celosías.

**Paso 4. Determinación de Clase de hermeticidad requerida.**

Considerando las Clases propuestas en el capítulo 3 de este manual, se obtiene que para la localidad de Concepción el requisito de hermeticidad al aire es de 5,0 cambios de aire hora a un diferencial de presión de 50Pa (1/h).

**Paso 5. Determinación de valor característico de permeabilidad al aire de los elementos.**

De acuerdo a las líneas de ventanas, tipos de



Figura 4.4: Vivienda evaluada en etapa de diseño.

puertas y las soluciones constructivas, se obtienen las características de permeabilidad al aire de las bases de datos que posee la herramienta de cálculo. Estos valores son:

Permeabilidad al aire de muros : 9,3(1/h) a 50Pa.

Permeabilidad al aire de ventanas: 52 (m<sup>3</sup>/hxm<sup>2</sup>) a 100Pa\*.

Permeabilidad al aire de puertas : 100 (m<sup>3</sup>/hxm<sup>2</sup>) a 100Pa\*.

(\*) Para el desarrollo de este ejemplo se simplifica considerando los valores promedios de permeabilidad al aire de todas las ventanas y puertas que posee el proyecto. Al momento de utilizar la herramienta se debe determinar la propiedad para cada elemento en particular.

### Paso 6. Determinación de la hermeticidad de la edificación.

De la utilización de la herramienta EHeD<sup>®</sup>, se obtiene que la vivienda posee una hermeticidad al aire de 14,5 (1/h).

### Paso 7. Comprobación

Al comparar el resultado obtenido con el requerido para la localidad se obtiene que la vivienda no cumple con el estándar definido en el paso 4 del método.

## 4.2 MÉTODO DE VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD EN OBRA

El método de verificación en obra es de base experimental, ya que a diferencia del método de

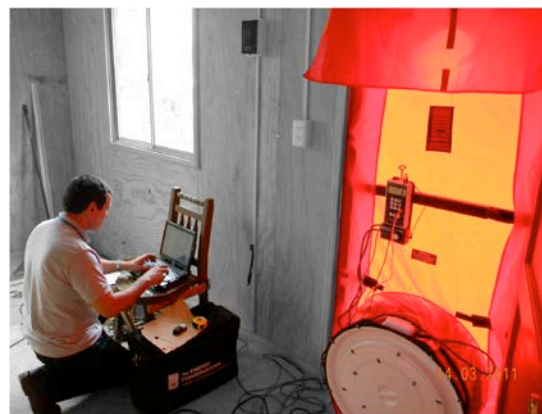
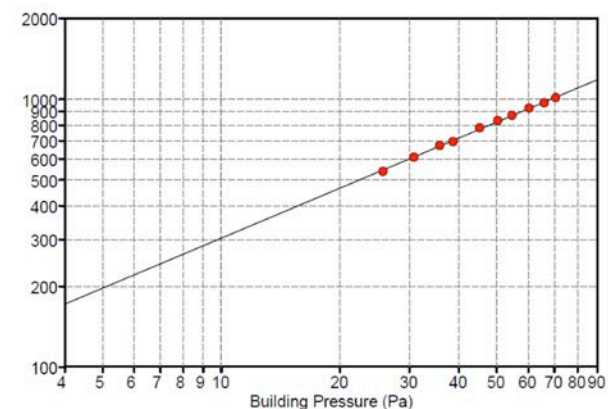


Figura 4.5: Ensayo de Blower Door.



verificación en etapa en diseño, la herramienta de comprobación no es un software o programa, sino más bien una evaluación experimental de terreno. Para la evaluación se utiliza la técnica de presurización conocida como Blower - Door, en la cual se generan diferenciales de presión a fin de construir la gráfica de diferencial de presión (Pa) v/s caudal de infiltración ( $m^3/h$ ), con lo cual es factible determinar la hermeticidad de la edificación en estudio. Para este método de verificación, se consideran las renovaciones de aire hora que se obtienen como resultado de someter la edificación a un diferencial de presión de 50Pa.

Internacionalmente, se reconoce este método de ensayo experimental como absoluto; método que se acepta como referencia para discriminar la calidad de respuesta de otros métodos.

El procedimiento de ensayo considera la instalación, en el marco de una de las puertas de acceso de la vivienda o departamento, de una puerta plegable que posee un ventilador y una serie de dispositivos de medición y control para generar diferenciales de presión entre el interior y exterior de la vivienda o departamento a fin de cuantificar el caudal de aire que se está perdiendo y/o ingresando a través de la envolvente de la edificación producto de grietas, fisuras u otras vías de comunicación entre el interior y exterior. En una primera instancia se presuriza el recinto, y en una segunda, se despresuriza. Al promediar los valores de ambas condiciones se

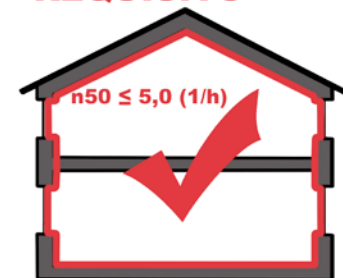
obtiene el indicador normalizado de hermeticidad al aire.

Es necesario aclarar que al medir la hermeticidad al aire mediante esta prueba de ensayo, no se está midiendo la tasa de infiltración de aire del edificio, ya que con el equipo (ventilador) se generan diferenciales de presión constantes que son aplicados en toda la envolvente de manera similar, sin importar la condición de exposición a la cual este sometida ésta; sobrepresión o depresión; situación distinta al régimen de presión dinámico que se ve sometido una edificación en su condición normal, el cual está marcado por las presiones de viento y efectos stack, las que en definitiva movilizan el aire asociado a las infiltraciones.

#### 4.2.1 PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO

El procedimiento de aplicación del método se puede sintetizar en cuatro fases, la primera; identificación del proyecto y su localización, la segunda; determinación de cantidad de viviendas a evaluar, la tercera; determinación de cambios de aire hora a 50Pa mediante ensayo, y la cuarta; comparación del cumplimiento de exigencias locales, las que se grafican en la tabla 4.2. El parámetro de comparación que utiliza el método, en su cuarta fase, son las exigencias límites de hermeticidad al aire propuestas por el proyecto para las 54 capitales provinciales del territorio

#### REQUISITO



#### CASO EVALUADO



Figura 4.6: Comprobación de cumplimiento de requisito de hermeticidad para una vivienda en la ciudad de Concepción, etapa de diseño.



Figura 4.7: Proceso de instalación equipamiento de ensayo.

nacional. No obstante lo anterior, de ser necesario, el método admite que la comparación se realice con otras exigencias oficiales si las hubiese.

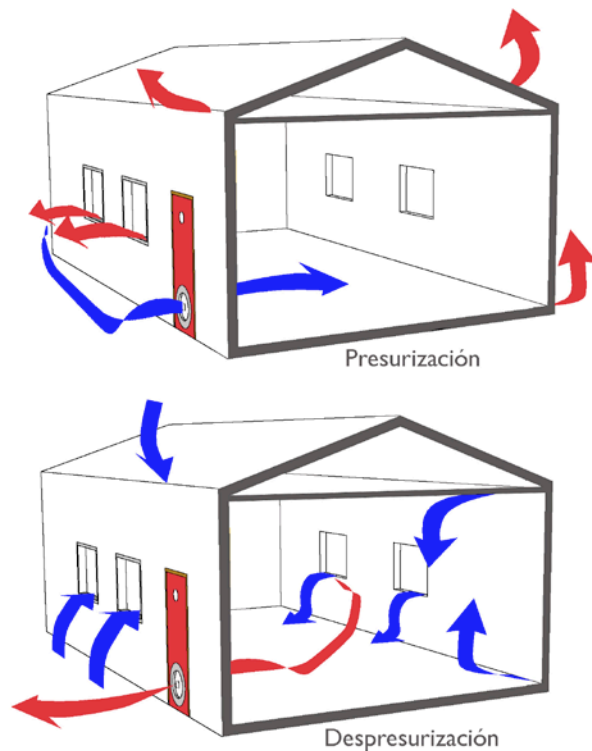


Figura 4.8: Presurización y despresurización de recinto.

Tabla 4.2: Esquema de pasos considerados por el procedimiento del método de verificación en obra.

1	Identificación de la edificación y su ubicación geográfica
2	Caracterización constructiva y arquitectónica de la edificación
3	Levantamiento de las estrategias y medios previstos para la ventilación
4	Determinación de la clase aceptable de hermeticidad al aire de la edificación
5	Definición de la muestra a ensayar
6	Determinación de la hermeticidad al aire de la edificación (Ensayo de Blower Door)
7	Comprobación de la forma en que se compara la hermeticidad al aire de la edificación obtenida en el paso 6 con la exigida y/o determinada en el paso 4

## 4.2.2 MUESTRA A ENSAYAR

Para la definición de la muestra a ensayar, se consideran los siguientes criterios:

Para edificaciones de destino habitacional, se utiliza el criterio definido en el Manual de Cumplimiento

Residencial para estándares de eficiencia energética de edificios de la Comisión Energética de California, V.2010, el cual establece que se deberá considerar un mínimo de una vivienda y/o departamento por cada siete unidades de vivienda y/o departamentos del conjunto, redondeado al número entero más próximo. Se debe aplicar este criterio por cada modelo de vivienda y/o departamento que considere el proyecto.

Para edificaciones de otro destino (Educación, Salud, Oficinas), la muestra corresponderá a lo menos el 5% de los espacios habitables y/o acondicionados que componen la edificación.

Se podrá utilizar también la metodología de selección de muestra que propone la Norma Técnica MINVU NTM 011/3 2014 “Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior; una vez que ésta sea oficializada, ya que a la fecha de elaboración de este Manual se encuentra en consulta pública.

## 4.2.3 HERRAMIENTA DE COMPROBACIÓN

La herramienta de comprobación que utiliza el método es el ensayo de terreno descrito en la normas UNE EN13829-2002, ASTM E779-10 ó su homologación nacional NCh3295:2013 “Construcción – Determinación de la tasa de fuga

de aire mediante el método de presurización del ventilador”, que define el Blower Door Test, verificando siempre que se utilice la última versión oficial de la norma en cuestión.

Para efectos de la comprobación del cumplimiento se deberá excluir los dispositivos previstos para ventilación (celosías, aireadores, ventiladores y campanas de extracción, etc.) lo cual se logra sellando y no cerrando dichos elementos al momento de realizar el ensayo.

### 4.2.3.1 INPUTS

Los principales inputs del ensayo son los siguientes:

**Datos Generales:** Ubicación y descripción de la edificación a evaluar.

**Datos Arquitectónicos.** Superficie de piso, volumen y superficie de la envolvente (considera muros, piso y cielo).

### 4.2.3.2 OUTPUTS

Conforme a su relevancia, los output de la herramienta se agrupan en dos categorías: principales y secundarios.





Figura 4.9: Equipo Model 3 Three Fan System Minneapolis de tres ventiladores, disponible en laboratorio CITEC.



Figura 4.10: Equipo Q4E Blower Door Retrotec de un ventilador adecuado para medición de viviendas y edificios pequeños, disponible en laboratorio CITEC.

### Principales:

Hermeticidad de la edificación a un diferencial de presión de 50Pa,  $n_{50}$  (1/h)

Caudal de aire infiltrado en la edificación a un diferencial de presión de 50 Pa,  $V_{50}$  ( $m^3/h$ )

### Secundarios:

Área de infiltración equivalente, a un diferencial de presión de 4Pa, EBL ELA ( $cm^2$ )

Caudal de aire infiltrado en relación a la superficie de piso, a un diferencial de presión de 50Pa,  $W_{50}$  ( $m^3/hm^2$ )

### 4.2.3.3 EQUIPAMIENTO

El equipamiento a utilizar consta básicamente de un sistema automático de presurización, compuesto por un ventilador para el caso de ensayos a viviendas/departamentos y tres ventiladores para edificios de mayor volumen (Figuras 4.9 y 4.10), medidor de presión y de flujo con control crucero que permite mantener una presión constante, un marco de aluminio ajustable, panel de nylon y software de procesamiento de información. Este equipamiento está actualmente normalizado y disponible comercialmente en el mercado europeo y americano.

El ventilador del equipo permite ingresar o extraer un caudal de aire del interior del recinto evaluado, el cual es determinado por un sensor de flujo que está ubicado en la parte trasera del motor del ventilador. El área de apertura del ventilador queda definida por anillos que se disponen en la toma de aire (Figura 4.11). Los medidores de presión y flujo de aire tienen una toma de presión de entrada y su correspondiente toma de presión de referencia; cuentan con canales para la recolección de datos, los que permiten monitorizar la presión en el edificio y el flujo de aire a través del ventilador durante el test. Estos equipos pueden ser utilizados con un software, el cual integra todos los dispositivos y las variables que define el método de ensayo y automatiza la toma de datos a través de un PC. Los resultados son almacenados, y a la vez, visibles en forma instantánea en la pantalla del PC, lo cual permite ir conociendo el desempeño de la edificación. En general los software de los equipos entregan un reporte o informe una vez finalizado el ensayo, del cual se desprenden las características, condiciones de ensayo y los distintos indicadores de desempeño de hermeticidad de la edificación (output).

### CONSIDERACIONES ESPECIALES.

Previo a la realización de los ensayos, resulta necesaria la realización de una inspección visual general de la

edificación a evaluar, con el objeto de identificar los elementos que componen la envolvente. Se debe contrastar los planos y especificaciones técnicas del proyecto con lo materializado realmente, para lo cual se recomienda hacer una vista previa al ensayo.

En paralelo a la instalación del equipamiento, se debe verificar que todas las ventanas estén cerradas al igual que los ductos de ventilación y/o aireadores (en caso de que su diseño lo permita). En el caso de edificaciones en que las instalaciones de agua no estén cargadas, los sifones y tuberías sin llaves de corte deben ser sellados.

La edificación debe ser acondicionada para que ésta represente una zona única, esto quiere decir que deben abrirse todas las puertas interiores y otros vanos existentes para que todos los recintos interiores queden comunicados. Las puertas que conectan con áreas que no son acondicionadas deben quedar cerradas, los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado con admisión de aire deben ser desconectados.

Posteriormente, se procede a la instalación del equipamiento, el cual es colocado en el marco de una puerta, asegurándose de que las uniones entre el equipo y el edificio se encuentran selladas, para evitar fugas. Para realizar el ensayo se debe prestar atención a los siguientes factores:

- Al momento de realizar las mediciones se debe

considerar que las condiciones meteorológicas pueden incidir en los resultados. No se consideran validos datos tomados si la velocidad del viento supera los 6 m/s o si el producto de la diferencia de temperatura del aire; interior y exterior, multiplicado por la altura de la envolvente del edificio en metros, da un valor mayor a  $200m^{\circ}C$ .

- La media de los valores positivos para flujo cero con una diferencia de presión de  $p_{01+}$  y  $p_{01-}$  por un periodo mayor a 30s debe ser medida. Esta condición se verifica conectando el equipo para medir la diferencia de presión interior-exterior, cubriendo temporalmente la abertura del equipo. Si cualquiera de las lecturas positivas o negativas de las diferencias de presión con flujo cero es mayor a 5Pa, no se puede realizar el ensayo. Se debe repetir esta medición al concluir el ensayo y en caso de que se cumpla lo antes descrito, el ensayo se considerará como no válido.
- Una vez verificado los parámetros anteriores, se realiza el ensayo tomando mediciones de la tasa de flujo de aire y las diferencias de presión del interior/ exterior con incrementos de 10Pa, considerando como mínimo una presión de 50Pa, bajo dos condiciones; presurización y despresurización.

### 4.3 CONTROL EN OBRA

Para obtener edificaciones con un mayor nivel de hermeticidad, resulta necesario que este aspecto se aborde en la fase de diseño del proyecto, desarrollando soluciones constructivas con baja permeabilidad al aire, resolviendo además las singularidades de éstas, tales como encuentros (muro – fundación, muro – techumbre, muro-fundaciones, etc.) y las pasadas de las instalaciones



Figura 4.11: Anillos para controlar el área de apertura del ventilador, Equipo Q4E Blower Door Retrotec.

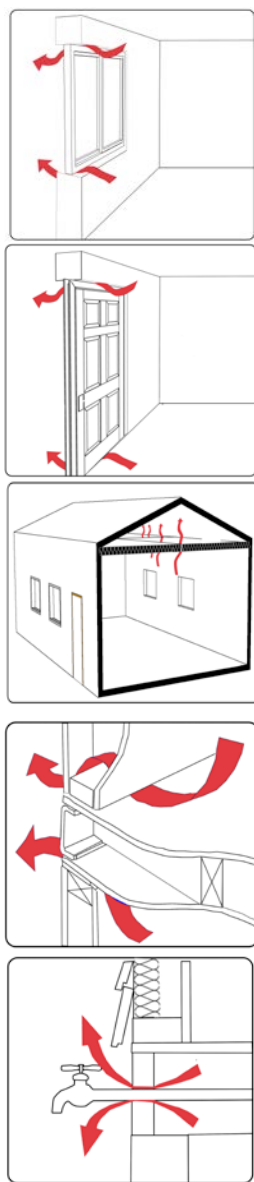


Figura 4.12: Vías de ocurrencia de infiltraciones en una edificación.

(sanitarias, eléctricas, etc.) que van y/o forman parte de la envolvente y que constituyen vías de ocurrencia de infiltraciones en una edificación.

No obstante lo anterior, en la fase de ejecución del proyecto juega un rol fundamental el control de obra que se realice sobre ésta, ya que el resultado final de un buen diseño puede verse afectado en forma significativa si no se controlan los procesos constructivos y los materiales.

Cuando hablamos de hermeticidad, definir “tolerancias” para los elementos y sistemas constructivos resulta contradictorio, ya que éstas van estar asociadas siempre a infiltraciones que impactarán negativamente la hermeticidad de la edificación, por lo tanto, entendiendo que constructivamente siempre existirán tolerancias, debemos procurar que éstas tengan la menor dimensión posible o en su defecto se trabajen en una instancia posterior, sea en etapa de obra gruesa o de terminaciones.

A continuación, se presentan recomendaciones generales para el control en obra de materiales, elementos y de las principales vías de ocurrencia de infiltración de una edificación:

### 4.3.1 CONTROL DE MATERIALES

Verificar y/o controlar:

- Verificar correspondencia con materiales especificados. Si no la hubiese, comprobar que

éste cumple con las mismas propiedades físicas del material definido originalmente, especialmente respecto de la permeabilidad al aire (exigir certificado de ensayo de permeabilidad al aire del material conforme a una de las siguientes normas de ensayo ASTM E 2178 -13 ó NCh892 Of 2001).

- Controlar el almacenamiento y manipulación de éstos, con el objeto de conservarlos en buenas condiciones, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, EETT del proyectista o normativa vigente.
- Verificar que los materiales no posean perforaciones, rasgaduras, desgaste ni cualquier daño que pudiese alterar su propiedad de permeabilidad al aire.
- Verificar el contenido de humedad de la madera al momento de su llegada a obra y durante su almacenamiento, considerando la humedad de equilibrio de la localidad, de acuerdo a lo definido en las EETT del proyectista o normativa vigente (O.G.U.C. Título 5. Capítulo 6).

### 4.3.2 CONTROL DE ELEMENTOS.

#### VENTANAS

- Verificar correspondencia con lo especificado, principalmente en lo que respecta a línea y materialidad. Si no la hubiese, comprobar que ésta cumple con las mismas propiedades físicas del elemento definido originalmente, especialmente respecto de la permeabilidad al aire (exigir

certificado de ensayo de permeabilidad al aire conforme a la norma de ensayo NCh892 Of.2001).

- Controlar que el elemento cumpla con el requisito de permeabilidad al aire definido por el proyectista, mandante u organismo técnico válido.
- Verificar que las perforaciones asociadas a las evacuaciones de las aguas de condensación y/o lluvias no queden al mismo nivel, interior – exterior, éstas deben quedar desfasadas (Figura 4.13). Es importante el uso de deflectores con aleta.
- Verificar que todas las perforaciones; de desagüe y fijación, hayan sido realizadas en fábrica y/o taller y que correspondan a las definidas por el fabricante en sus líneas respectivas. Se deben solicitar los planos de armado de la línea de ventana.
- Verificar la correcta instalación de burletes y felpas. Que no se produzca discontinuidad, ni que existan orificios en los cuales se pueda apreciar luz de un lado al otro.
- Verificar que las hojas practicables calcen perfectamente al momento de su cierre, sin necesidad de forzarlas.
- Controlar que los elementos de cierre sean suficientes o estén en la posición correcta de tal forma que no se produzcan aberturas o diferencias visibles de presión en los contornos de las hojas (figura 4.14).
- Controlar que todas las uniones y cortes asociados a la fabricación de las ventanas sean sellados con el tipo de sello recomendado por el fabricante para la materialidad y la condición de exposición de ésta. Se deben solicitar las fichas técnicas de los sellos.
- Controlar y minimizar el valor de tolerancia de las hojas al marco sin perder de vista la funcionalidad

de la ventana, de acuerdo a lo recomendado para cada línea de ventana por el fabricante.

- En ventanas del tipo corredera, controlar y minimizar el valor de tolerancia de los topes estancos de las hojas con el marco. Si la línea no considera estos elementos, se recomienda su instalación, tanto en la parte inferior como en la superior.

## PUERTAS

- Verificar correspondencia con lo especificado, principalmente en lo que respecta a la materialidad. Si no la hubiese comprobar que se cumple con las mismas propiedades físicas del elemento definido originalmente, especialmente respecto de la permeabilidad al aire (exigir certificado de ensayo de permeabilidad al aire conforme a la norma de ensayo NCh892 Of.2001).
- Controlar que el elemento cumpla con el requisito de permeabilidad al aire definido por el proyectista, mandante u organismo técnico válido.
- En los marcos de puerta, si corresponde, verificar la correcta instalación de burletes o felpas. Que no se produzca discontinuidad ni que se observen desprendimientos. Se recomienda la instalación de burletes o felpas.
- Controlar que todas las uniones de los marcos de puerta (cortes) sean selladas con el tipo de sello que recomienda el fabricante o proveedor.
- Controlar y minimizar el valor de tolerancia de la hoja de puerta al marco sin perder de vista la funcionalidad de la puerta; sistema de cierre (cerradura) y apertura (bisagras).

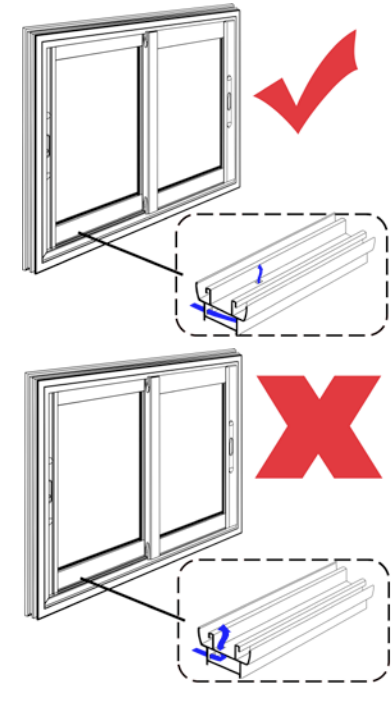
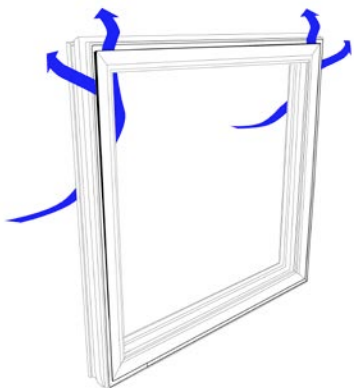


Figura 4.13: Desfase de perforaciones de desagües entre el exterior e interior de una ventana.



**Figura 4.14:** Aberturas generadas por los diferenciales de presión asociados a los mecanismos de cierre y descuadres en ventanas.

- Controlar y minimizar el valor de tolerancia del orificio de perforación para la instalación de la cerradura y la cerradura propiamente tal. Se recomienda sellar el contorno, previo a la instalación de la chapa de terminación de la cerradura.
- Controlar y minimizar el valor de tolerancia del marco de puerta y la puerta con el revestimiento de piso. Se recomienda la instalación de burletes o felpas.

### ELEMENTOS OPACOS DE LA ENVOLVENTE (MUROS, CIELOS Y PISOS)

- En construcciones de madera, controlar y verificar que las barreras asociadas a hermeticidad sean instaladas con el traslape especificado o definido en la ficha técnica del fabricante. Cuando la barrera sea perforada ésta debe ser sellada conforme a las recomendaciones del fabricante.
- En construcciones de madera, controlar que los elementos de aislación posean continuidad y/o encajen correctamente entre los elementos estructurales. Entre planchas de aislación o colchonetas se recomienda sellar con cinta mono adhesiva o tipo embalaje.
- En construcciones de madera, controlar que las separaciones entre planchas de revestimiento sea la menor posible según lo recomendado por el fabricante. Se recomienda sellar con cinta mono adhesiva pintable u otra que especifique el fabricante.
- En edificaciones de albañilería, controlar que los morteros de pega y ladrillos, no posean fisuras o

grietas visibles. En caso contrario, si no se contempla revestimiento de terminación, deberán ser retapadas o selladas de acuerdo a las recomendaciones de los proveedores de ladrillos y cemento (mortero).

- En construcciones de albañilería, controlar que los estucos no posean fisuras o grietas visibles. De poseerlas, deberán ser reparadas con mortero rico en cemento u otro tipo de sellador recomendado por el proveedor de cemento (mortero).
- En construcciones de hormigón, controlar que los muros, pisos y losas no presenten perforaciones o grietas que permitan la penetración de luz de un lado a otro. De poseerlas deberán ser reparadas con hormigón rico en cemento y árido con granulometría menor, u otro tipo de sellador, recomendado por el proveedor de hormigón o cemento.

### 4.3.3 CONTROL DE SINGULARIDADES

#### ENCUENTROS

- Controlar y minimizar tolerancia en encuentros entre rasgos de muros y techos con puertas y ventanas. En caso de existir aberturas que permitan visualizar luz de un lado al otro se recomienda sellar con espumas expansivas, cintas u otro tipo de sello adecuado para el tipo de aplicación, según lo recomiende el fabricante.
- Controlar que las perforaciones de las fijaciones de marcos de puertas y ventanas a sobremarcos o rasgos sean retapadas y/o selladas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante o proveedor.
- Controlar y minimizar la tolerancia de planeidad del cabezal superior de los sobrecimientos. En caso de recibir un muro de albañilería, se recomienda nivelar

con mortero. En el caso de recibir un tabique de estructura liviana, se recomienda nivelar con mortero y la instalación de una cinta precomprimida para recibir la estructura del muro.

- Controlar y minimizar tolerancia de planeidad de cabezal superior de vigas y cadenas que recibirán la techumbre. Se recomienda nivelar con mortero y la instalación de una cinta precomprimida, previo a la instalación del elemento de amarre (solera u otro).
- Controlar y minimizar tolerancia de unión entre elementos constructivos tales como: cielo – muro, piso-muro, muro-muro (esquinas).
- Controlar y minimizar tolerancia de unión de elementos de terminación, tales como: guardapolvos, cornisas, pilastras, molduras que se instalan en la envolvente. Se recomienda el sellado de la unión con una cinta mono adhesiva adecuada, siliconas, pastas u otro tipo de sello.

## INSTALACIONES

- En instalaciones sanitarias, controlar y minimizar la tolerancia de la perforación para la pasada de las cañerías a través de la envolvente. Se recomienda sellar con espuma de poliuretano u otro tipo de sello.
- En instalaciones eléctricas, controlar y minimizar la tolerancia de la perforación para la pasada de las tuberías e instalación de cajas eléctricas y de derivación a través de la envolvente. Se recomienda sellar la tubería de la acometida, lo más próximo al elemento de la fachada destinada para eso. Además, se recomienda sellar las cajas eléctricas dispuestas en la envolvente con espuma poliuretano u otro tipo de sello. Se deberá verificar con el proveedor del sello, que éste sea adecuado para dicha aplicación en

atención a los requisitos de seguridad establecidos en la NCh Elec. 4/2003.

- En instalaciones de ventilación, controlar y minimizar la tolerancia de la perforación de pasadas de ductos y dispositivos (aireadores, celosías, tubos de descarga, extractores, etc.) en los elementos de la envolvente. Se recomienda sellar perimetralmente con silicona u otro material, de acuerdo a la recomendación de proveedor, en atención a la aplicación y condición de exposición.

Con todo, se recomienda la realización de una prueba de hermeticidad mediante Blower Door Test (UNE EN13829-2002, ASTM E779-10, NCh3295:2013) una vez que todos los elementos de cierre de la envolvente estén instalados (etapa de obra gruesa), considerando sólo la modalidad de presurización y la utilización de una máquina de humo, con el propósito de detectar los puntos de fuga de aire que posee la edificación.

Es preciso indicar que en este apartado se entregan recomendaciones de control aplicables a la ejecución de obras, algunas de éstas pueden no estar detalladas y/o especificadas en el proyecto, no obstante, su implementación es fundamental para mejorar la hermeticidad de una edificación. En los capítulos 7 y 8 de este manual se definen con más detalle los materiales sugeridos como sello y recomendaciones de diseño que van en línea con los mismos objetivos.

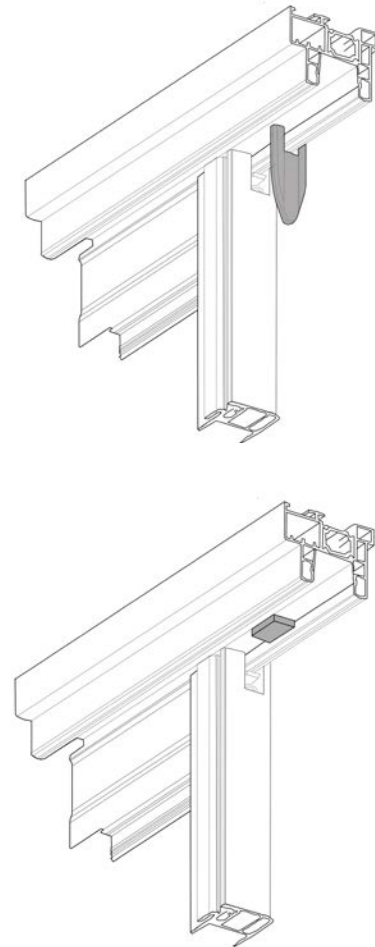


Figura 4.15: Tipos de topes estanco en ventanas correderas.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM E2178 – 13. *Standard Test Method for Air Permeance of Building Materials*.
- ASTM E779 – 10. *Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization*.
- Instituto de la Construcción. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*, Primera Edición.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción. (2011). *Manual de Tolerancias en la Edificación Habitacional*. 1 Edición.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción. (2013). *Manual de Tolerancias en la Edificación Habitacional*. 1 Edición.
- Instituto Nacional de Normalización. (2003). *NCh Elec. 4/2003. Electricidad – Instalaciones de consumo en baja tensión*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *NCh1079:2008. Arquitectura y construcción - Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2000). *NCh2496:2000. Arquitectura y construcción - Ventanas - Instalación en obra*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2013). *NCh3295:2013. Construcción – Determinación de la tasa de fuga de aire mediante el método de presurización del ventilador*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2001). *NCh892 Of.2001. Arquitectura y construcción. Ventanas - Ensayo de estanquidad del aire*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2012). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción. *Recomendaciones Técnicas para la especificación de ventanas, Documento Técnico N°28*.
- Residential Compliance Manual, Revised July 2010. California Energy Commission.
- MOP - CITECUBB - DECON UC. (2012). *Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, según Zonas Geográficas del País y según Tipología de Edificios*.
- UNE-EN 13829:2002. *Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996, modificada)*.

# **CAPITULO 5:** IMPACTO DE LAS SINGULARIDADES EN LA HERMETICIDAD AL AIRE DE LOS EDIFICIOS

RODRIGO ESPINOZA M.  
MURIEL DÍAZ C.  
CITEC UBB





# IMPACTO DE LAS SINGULARIDADES EN LA HERMETICIDAD AL AIRE DE LOS EDIFICIOS

Se definen como puntos singulares, 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 encuentran principalmente en las uniones entre dos o más elementos constructivos; en las pasadas de instalaciones tradicionales; y en los defectos constructivos de la cáscara de la edificación.

## 5.1 SINGULARIDADES Y TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

Las singularidades dependen principalmente del diseño, materialidad, sistema constructivo, y de la calidad de mano de obra. La edificación nacional está caracterizada por diferentes sistemas constructivos, que en mayor o menor medida, utilizan procesos de construcción artesanal que limitan la hermeticidad de su envolvente.

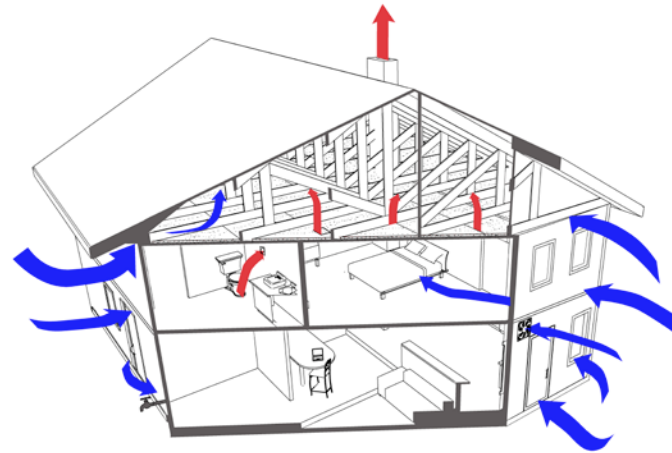
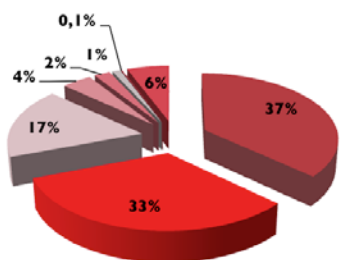


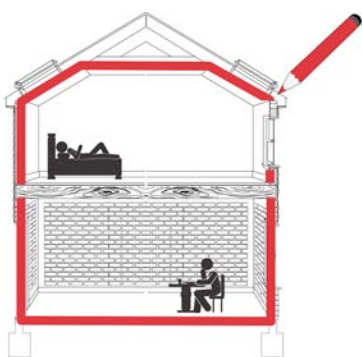
Figura 5.1: Puntos singulares de infiltración típicos de una construcción.

La figura 5.2 muestra la distribución porcentual de los sistemas constructivos participantes del parque de edificación nacional al año 2011, donde se puede observar que las materialidades predominantes son el hormigón y la albañilería de ladrillo, seguido por las edificaciones en madera.

El grado de hermeticidad de una construcción depende principalmente de las discontinuidades



**Figura 5.2:** Participación de los distintos materiales predominantemente en muros en el parque de edificación nacional al año 2011. (Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 2011).



**Figura 5.3:** Discontinuidad hermética por cambio de material.

constructivas propias de cada sistema. Algunas materialidades, como el hormigón armado y las albañilerías, otorgan mayor uniformidad y continuidad a la envolvente, pero no obstante, ésta se ve desmejorada en los encuentros con otros materiales o elementos constructivos, produciéndose en estas uniones puntos críticos o singularidades de infiltración de aire.

De la línea base de infiltraciones de aire en edificaciones del país, detallada en el Capítulo 3 de este Manual, se observa que los mejores niveles de hermeticidad al aire se dan en edificaciones cuya materialidad predominante en muros es hormigón y albañilería, con valores promedios de 9 y 11,8 cambios de aire por hora a 50 Pa, respectivamente.

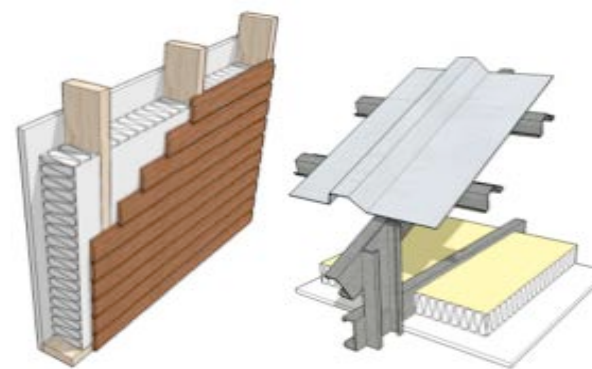
Por el contrario, los sistemas constructivos livianos, cuyos materiales predominantes en la envolvente están conformados por madera, acero galvanizado u otros, tienden a ser menos herméticos, debido principalmente a la gran cantidad de uniones entre elementos constructivos y materiales que conforman la estructura. Es posible afirmar que estos sistemas constructivos livianos poseen propiedades intrínsecamente permeables, alcanzando valores de hermeticidad que llegan a los 25 cambios de aire por hora a 50 Pa.

De esta forma, los tipos de construcciones existentes en el país se pueden clasificar de acuerdo a sus características permeables, en función de su materialidad predominante de muros, según se detalla en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1:** Clasificación de sistemas constructivos según sus propiedades de permeabilidad al aire

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

Como resultado de experiencias empíricas, se pueden identificar 14 de los principales puntos vulnerables a las infiltraciones de aire en los sistemas constructivos más utilizados en la edificación a nivel nacional, los que se grafican en la figura 5.5.

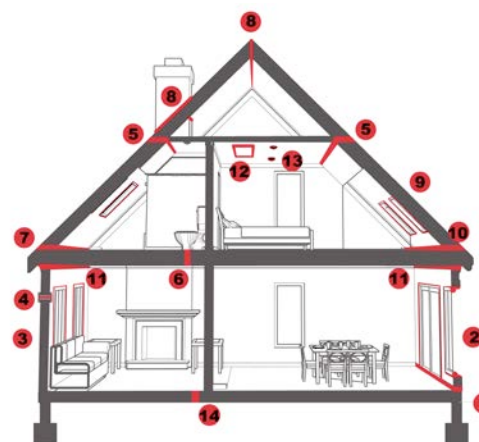


**Figura 5.4:** Sistema constructivo liviano.

Si bien en la actualidad es relativamente simple identificar estos puntos críticos en las viviendas que componen el parque de edificación nacional; y resolver algunos problemas con técnicas accesibles; hasta el momento se desconocía la influencia de cada una de estas singularidades en la hermeticidad al aire de la envolvente.

Este Capítulo expone el resultado de evaluaciones experimentales realizadas a una muestra de las principales singularidades de las edificaciones, detectadas en etapa de diseño y analizadas a través de investigación de campo. Se presentan además resultados del impacto de algunas soluciones de mejoras a la hermeticidad, aplicando técnicas de sellado de uso tradicional disponibles en el mercado nacional.

En virtud del gran impacto de las infiltraciones en las pérdidas energéticas por calefacción, es que este Capítulo pretende ser una importante herramienta de consulta para quienes proyectan, construyen o forman parte de la toma de decisiones del proyecto, en relación a la mejora de los niveles de hermeticidad de la edificación.



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.
		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 radiador o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radiador o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radiador o losa inferior para instalaciones.

*Figura 5.5: Principales puntos de fuga de aire identificables en una edificación.*



**Figura 5.6:** Evaluaciones realizadas en laboratorio.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE EN LAS SINGULARIDADES

A través del estudio experimental en base a ensayos de laboratorio y de terreno, se caracterizaron las principales singularidades o puntos críticos de infiltración de una edificación. Estas evaluaciones fueron realizadas por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, en el marco del proyecto Fondef D1011025.

### 5.2.1 EVALUACIONES DE LABORATORIO

Para las evaluaciones de laboratorio se utilizaron 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, que es equivalente al método empleado en la norma UNE-EN 1026. Este ensayo permite conocer los coeficientes de infiltración por unidad de superficie expuesta ( $\text{m}^3/\text{h m}^2$ ) y por metro lineal de junta ( $\text{m}^3/\text{h m}$ ) definidos a un diferencial de presión de 100Pa.

Estos ensayos evalúan la efectividad de algunas técnicas de sellado aplicadas sobre elementos y singularidades. La Tabla 5.2: Permeabilidad al aire de elementos constructivos y singularidades muestra los principales resultados obtenidos de las evaluaciones de laboratorio en relación a la incidencia de la técnica de sellado respecto de la reducción de la permeabilidad al aire de la singularidad o elemento de la envolvente estudiada. Los valores obtenidos se evalúan a presiones diferenciales de 100 Pa y 50 Pa.

Ítem	Singularidad o elemento	Unidad	Permeabilidad	
			100Pa	50Pa
1	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	24,05	15,15
	Instalación topes estancos de goma en ventana aluminio	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	16,45	10,36
2	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	24,05	15,15
	Instalación deflectores de plásticos con aletas en ventana aluminio	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	23,55	14,84
3	Ventanas corredera aluminio 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	24,05	15,15
	Instalación de felpa por todo el contorno	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	13,53	8,52
4	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	19,35	12,19
	Instalación topes estancos de goma en ventana PVC	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	17,78	11,20
5	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	19,35	12,19
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	19,08	12,02
6	Puerta madera sólida con cerradura y espacio inferior 5mm	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	250,8	158
	Colocación de burletes de caucho en perímetro y parte inferior de la puerta	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,80	0,50
7	Encuentro muro albañilería con cielo estructura madera	m <sup>3</sup> /h m	32,75	20,57
	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera	m <sup>3</sup> /h m	0,04	0,03
8	Encuentro muro de madera sobre marco de madera	m <sup>3</sup> /h m	5,08	3,20
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m <sup>3</sup> /h m	0,04	0,03
9	Encuentro esquina de muros madera	m <sup>3</sup> /h m	4,91	3,09
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m <sup>3</sup> /h m	0,25	0,16
10	Encuentro muro de madera con fundación	m <sup>3</sup> /h m	2,28	1,44
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m <sup>3</sup> /h m	0,04	0,03
11	Encuentro entepiso de madera con muro de madera	m <sup>3</sup> /h m	1,60	1,01
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m <sup>3</sup> /h m	0,07	0,04
12	Encuentro sobremarco madera-marco madera-ventana	m <sup>3</sup> /h m	0,38	0,24
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m <sup>3</sup> /h m	0,03	0,02
13	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,11	4,50
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	2,94	1,85
14	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,11	4,50
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	3,13	1,97
15	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,11	4,50
	Colocación membrana Tyvek a muro de madera	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	3,63	2,29

Tabla 5.2: Permeabilidad al aire de elementos constructivos y singularidades.

16	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,11	4,50
	Cambio de revestimiento exterior por Smart panel 11,1mm	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	2,43	1,53
17	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,11	4,50
	Cambio de revestimiento interior por yeso cartón 10mm	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	2,95	1,86
18	Muro de madera con punto de pasada de agua potable <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	1,63	1,03
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,23	0,14
19	Muro madera por punto de pasada de instalación de gas <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	1,28	0,81
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,02	0,01
20	Muro de madera por punto eléctrico (módulo mixto interruptor-enchufe) <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	5,22	3,29
	Sello de espuma de poliuretano, SIKA Boom por el contorno de la tubería	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,25	0,16

- (1) Muro de madera compuesto por estructura de pino de 90mm x 45mm distanciada a 400mm, 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.

La tabla 5.3 muestra el aporte de diferentes técnicas de sellado estudiadas, en la reducción de las infiltraciones de aire que se producen en la envolvente, con el objetivo de identificar cuáles son las más efectivas para reducir las infiltraciones totales de una edificación y con ello alcanzar niveles aceptables.

**Tabla 5.3:** Aporte de técnicas de sellado a la reducción de infiltraciones.

Descripción	Singularidad o elemento	Reducción de infiltración		
		Unidad	100Pa	50Pa
Ventanas	Instalación topes estancos de goma en ventana alum. 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	7,60	4,79
	Instalación deflectores de plásticos con aletas en ventana alum. 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,50	0,32
	Instalación de felpa por todo el contorno de la ventana de alum. 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	10,52	6,63
	Instalación topes estancos de goma en ventana PVC 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	1,57	0,99
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC 2 hojas móviles	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	250,00

Muros	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera en encuentro muro albañilería con cielo estructura madera	m <sup>3</sup> /h m	32,71	20,61
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro muro de madera sobre marco de madera	m <sup>3</sup> /h m	5,04	3,18
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro esquina de muros madera	m <sup>3</sup> /h m	4,66	2,94
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro muro de madera con fundación	m <sup>3</sup> /h m	2,24	1,41
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentroentrepiso de madera con muro de madera	m <sup>3</sup> /h m	1,53	0,96
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro de sobremarco madera-marco madera-ventana	m <sup>3</sup> /h m	0,35	0,22
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	4,17	2,63
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	3,98	2,51
	Colocación membrana Tyvek a muro de madera con tinglado madera exterior y traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	3,48	2,19
	Cambio de revestimiento exterior tinglado madera por Smart panel 11.1mm en muro de madera con traslapos madera interior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	4,68	2,95
Cambio de revestimiento interior traslapo de madera por yeso cartón 10mm en muro de madera con tinglado madera exterior	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	4,97	3,13



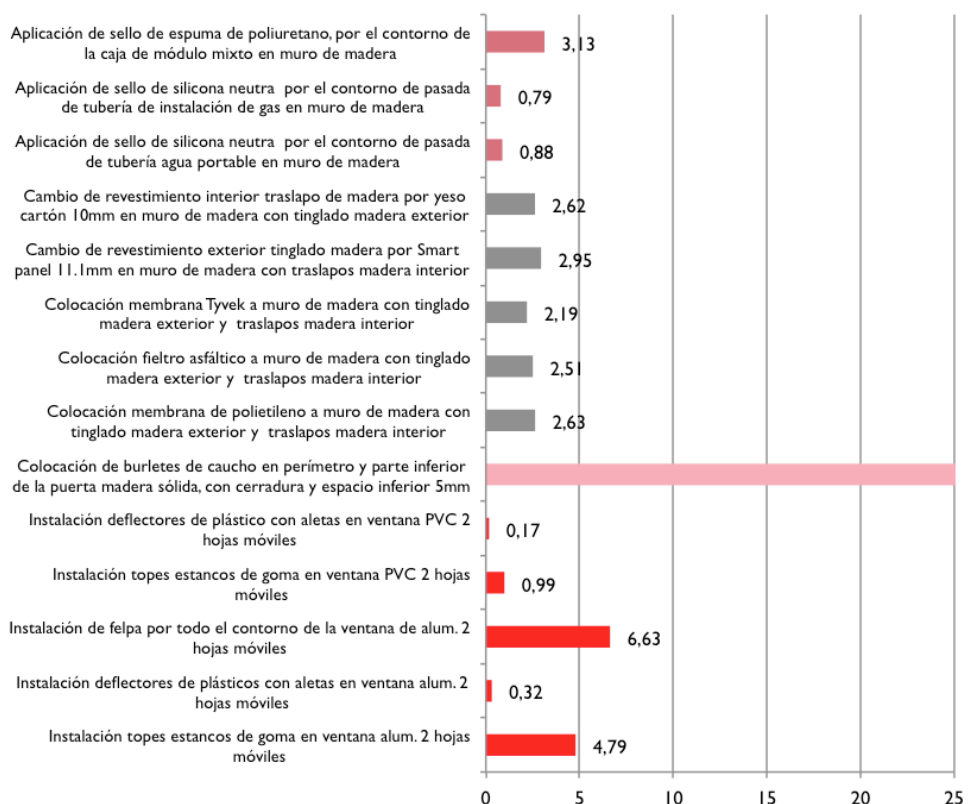


Figura 5.7: Reducción de la permeabilidad al aire mediante la aplicación de técnicas de sellado por unidad de superficie.

La figura 5.7, muestra la incidencia en la reducción de la permeabilidad al aire 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 el impacto de cada una de éstas, depende de la superficie total afectada de muro, puertas y ventanas de la envolvente de una edificación.

La figura 5.8 muestra la incidencia en la reducción de la permeabilidad al aire 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.

## 5.2.2 EVALUACIONES 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.

A través de los resultados de terreno, se identifican y cuantifican las principales fuentes de fuga de las diferentes tipologías constructivas (pesada, mixta y liviana), con lo que es posible determinar la incidencia de la singularidad en la hermeticidad al aire de la edificación como conjunto.

La metodología experimental, se basó en la

obturación de los elementos o sistemas sujetos de estudio, a través del sellado hermético mediante cintas adhesivas.

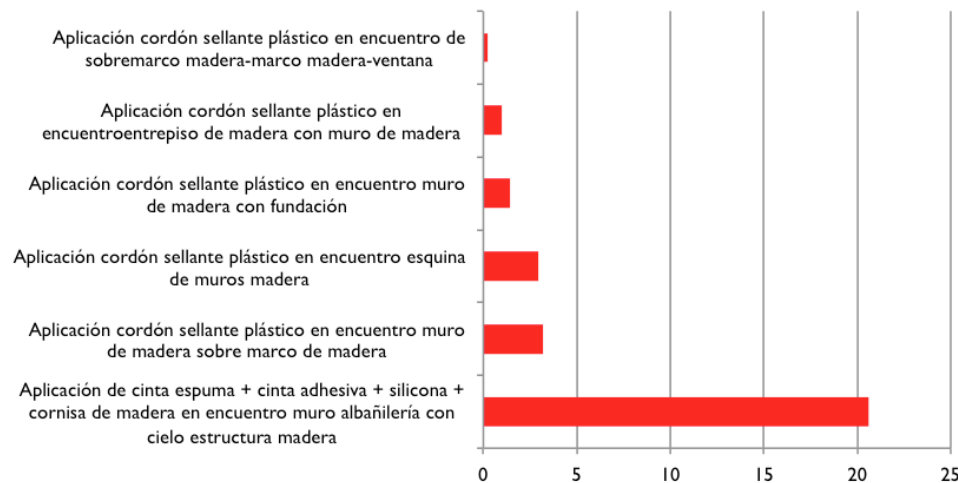
### a) Sistema pesado

Los resultados de la evaluación en terreno a viviendas de sistemas constructivos pesados se detallan en la tabla 5.4, donde se puede observar que las singularidades de mayor incidencia sobre la hermeticidad de la vivienda son las puertas.

**Tabla 5.4:** Determinación de infiltración en puntos singulares en vivienda de sistema constructivo pesado

Singularidad o elemento	Cambios de aire por hora a 50Pa	% incidencia
Sistema de ventilación natural	0,70	7%
Celosías baño y cocina	0,59	6%
Extracción (cocina y 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%
<b>TOTAL</b>	<b>9,87</b>	<b>100%</b>

En la Figura 5.9 se puede observar que el 47% del



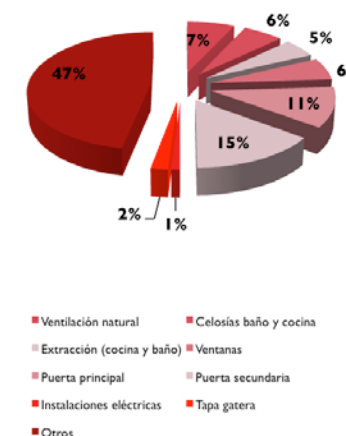
**Figura 5.8:** Reducción de la permeabilidad al aire mediante la aplicación de técnicas de sellado por metro lineal de junta.

total de las fugas de aire deriva de otras fuentes indeterminadas, a través de muros, pisos, cielos, y sus encuentros.

### b) Sistema Mixto

Los resultados de la evaluación en terreno a viviendas de sistemas constructivos mixtos se detallan en la tabla 5.5, donde se puede observar que las singularidades de mayor incidencia son la tapa gatera y las instalaciones eléctricas.

**Tabla 5.5:** Determinación de infiltración en puntos



**Figura 5.9:** Incidencia de puntos singulares a la hermeticidad al aire en sistema pesado.



Figura 5.10: Incidencia de puntos singulares a la hermeticidad al aire en sistema mixto.



Figura 5.11: Incidencia de puntos singulares a la hermeticidad al aire en sistema liviano.

singulares en vivienda de sistema constructivo mixto

Singularidad o elemento	Cambios de aire por hora a 50Pa	% incidencia
Sistema de ventilación natural	0,66	6%
Celosías baño y cocina	0,98	9%
Extracción (cocina baño)	0,13	1%
Ventanas	0,47	4%
Puerta principal	0,98	9%
Puerta secundaria	0,65	6%
Instalaciones eléctricas	1,08	10%
Tapa gatera	1,75	16%
Otros	4,52	40%
TOTAL	11,19	100%

En la figura 5.10 se puede observar que el 39% del total de las fugas de aire deriva de otras fuentes indeterminadas, a través de muros, pisos, cielos, y a los encuentros de cambios de materialidad: losa-muro, muros pesados- muros livianos, muros livianos- cielo/cubierta

### c) Sistema Liviano

Los resultados de la evaluación en terreno a viviendas de sistemas constructivos livianos se detallan en la tabla 5.6, donde se puede observar que las singularidades de mayor incidencia son las celosías del baño y cocina, y el encuentro entre

muro y cielo.

Tabla 5.6: Determinación de infiltración en puntos singulares en vivienda de sistema constructivo 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 sobrecimiento-muro	0,73	1%
Encuentro muro-cielo	6,19	11%
Otros	40,35	74%
TOTAL	54,88	100%

Tal como se ilustra en la figura 5.11, el 75% del total de las fugas de aire deriva de otras fuentes indeterminadas, a través de la envolvente de muros, piso y cielo.

## 5.3 INCIDENCIA DE LAS INFILTRACIONES EN LA EDIFICACIÓN

A través de la cuantificación de las principales infiltraciones de una edificación, se puede valorar teóricamente el comportamiento permeable de ésta, en función de la materialidad predominante de muros.

Este conocimiento técnico, permite además valorar económicamente las pérdidas energéticas por infiltración y de las estrategias de sellado para cumplir con los requerimiento de clase de infiltración propuestas en el Capítulo 3 de este manual.

Por otra parte, los sistemas de ventilación de las viviendas en estado cerrado, generan entre 1,35 y 3,69 renovaciones de aire por hora a 50Pa, determinadas conforme a las metodologías de ensayo normalizadas aceptadas actualmente; aporte no menor si se considera que en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones aún no se regulan estas materias.

La figura 5.12, muestra los principales valores de permeabilidad al aire de las singularidades y elementos constructivos de una edificación, obtenidos mediante evaluaciones experimentales.

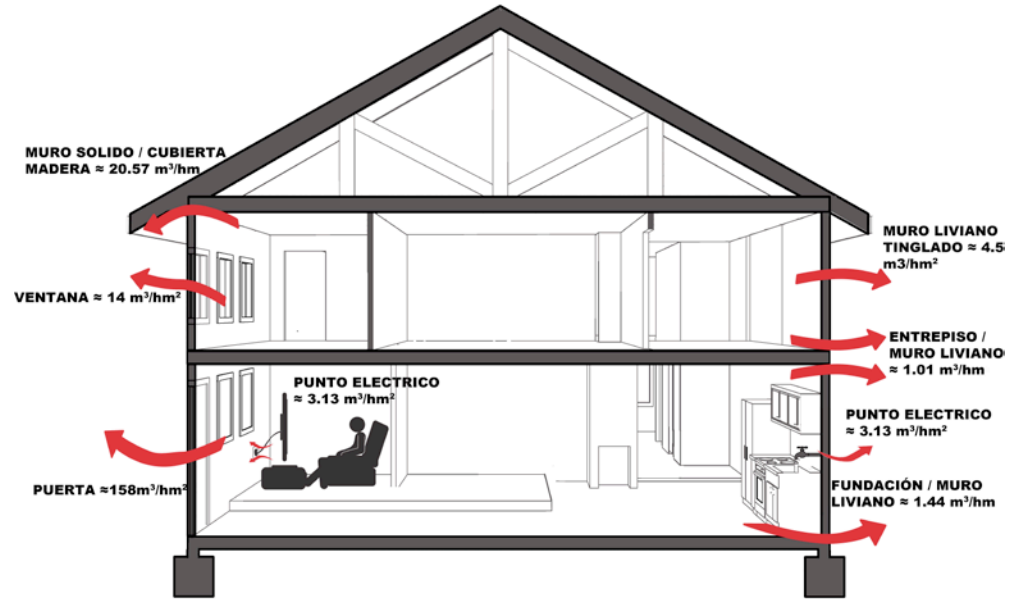


Figura 5.12: Reducción de la permeabilidad al aire mediante la aplicación de técnicas de sellado por metro lineal de junta.

---

## BIBLIOGRAFÍA

ASTM E779 – 10. *Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization*.

Bobadilla, A., Fissore, A., Gooycolea, F. (1996). Coeficiente de infiltración de carpintería interiores. *Información tecnológica*, 7(3).

Corporación de desarrollo tecnológico. (2011). Recomendaciones técnicas para la especificación de ventanas. *Documentos Técnicos Corporación de Desarrollo Tecnológico*, 167.

Fehr, R. (2009). *Guide to Building Energy Efficient Homes*. Kentucky Department for Energy Development and Independence. 1° Edición.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2011). *Informe anual 2011* (p. 138). Santiago de Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2001). *NCh892 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayo de estanquidad al aire*.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *NCh 446 Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Terminología y clasificación*.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *NCh 2496 Arquitectura y construcción - Ventanas - Instalación en obra*.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *NCh888 Arquitectura y construcción - Ventanas - Requisitos básicos*.

Instituto Nacional de Normalización (1957). *NCh355 Ventanas de madera*.

Odrizola, M. (2008). *Cálculo y Medida de Infiltraciones de Aire en Edificios*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Minas y Obras Públicas. Universidad del País Vasco.

Ossio, F., De Herde, A y Veas, L. (2012). Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. *Revista de la Construcción*. 11 (1), p.54-63.

UNE EN 1026:2000 *Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo*.

UNE-EN 13829:2002. *Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996, modificada)*.

# **CAPITULO 6:** PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS Y PUERTAS

RODRIGO ESPINOZA M.  
CITEC UBB



# PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS Y PUERTAS

La permeabilidad al aire de las ventanas y puertas se entiende como la propiedad intrínseca del elemento en estado cerrado, de oponerse al paso del aire a través de él, cuando es sometido a un diferencial de presión de aire entre dos ambientes; exterior e interior. Esta propiedad se determina a través de un ensayo de laboratorio realizado mediante procedimientos normalizados, exponiendo el elemento evaluado a diferentes presiones de aire estandarizadas (Figura 6.1).

Como resultado de la experiencia de distintas evaluaciones en terreno desarrolladas en viviendas típicas nacionales de diferentes materialidades, se ha logrado determinar que la incidencia de los elementos de ventana en la hermeticidad al aire de una edificación fluctúa, entre 0,5 y 2 renovaciones de aire por hora y entre 1,5 a 2,6 renovaciones de aire por hora para puertas a una presión diferencial de 50 Pa.

La incidencia de estos elementos en la hermeticidad al aire total de las edificaciones se torna más o menos importante dependiendo de la calidad hermética de la envolvente de muros.

En edificaciones altamente herméticas, cuyo material predominante de muros es el hormigón armado, se pueden alcanzar incidencias que van entre 22% a 51%, dependiendo de la calidad prestacional de los elementos instalados en obra (Figura 6.2).

Por el contrario, en edificaciones muy permeables, cuya materialidad predominante de muros es la madera, la incidencia relativa es menor, variando entre 8% y 18% (Figura 6.3).

Las infiltraciones en puertas y ventanas producen importantes cargas térmicas asociadas a pérdidas energéticas por calefacción, las cuales se ven acentuadas dependiendo de la rigurosidad climática donde se emplace la edificación. Además, a través de las infiltraciones se produce el transporte de

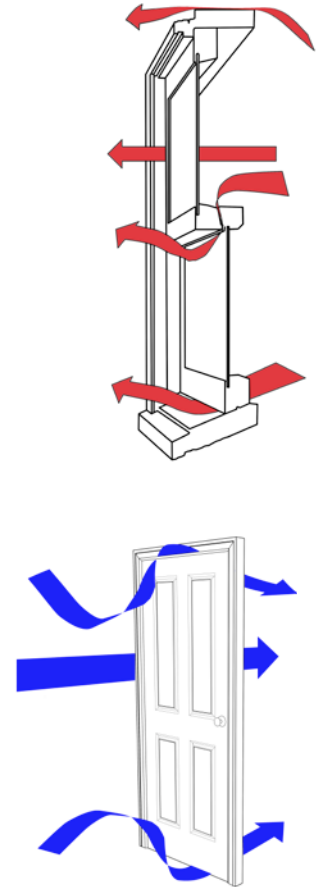


Figura 6.1: Principales vías de fuga de aire en ventanas y puertas.



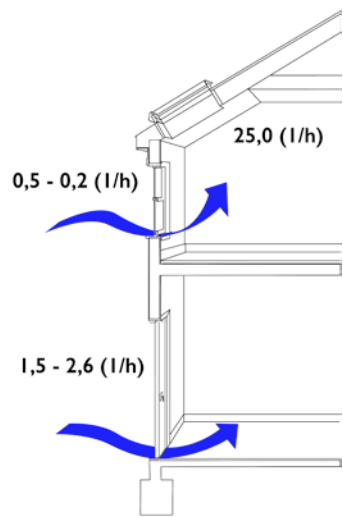


Figura 6.2: Infiltración de aire en ventanas y puertas en viviendas de hormigón armado.

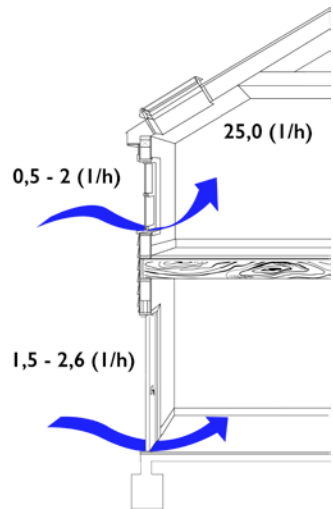


Figura 6.3: Infiltración de aire en ventanas y puertas en viviendas de madera.

humedad, partículas de polvo (bajo la puerta), y ruidos molestos, que afectan el confort interior de la edificación.

Las pérdidas energéticas por infiltración de aire a través de puertas y ventanas dependen de los siguientes factores externos: velocidad del viento, nivel de exposición y altura de instalación del elemento (figura 6.4).

Mientras mayor sea la velocidad del viento, mayor es la posibilidad de infiltración a través de juntas o aberturas, debido a que el viento ejerce una presión sobre la fachada de la edificación que se incrementa a mayor altura y exposición del elemento. Por esta razón, es necesario que los elementos de puertas y ventanas cumplan con ciertos requerimientos de calidad prestacional en relación a las presiones de viento media de la localidad donde se emplaza la edificación.

Actualmente no existen en Chile exigencias reglamentarias o valores límites para las propiedades permeables de sistemas de puertas y ventanas que puedan asociar un desempeño específico según las distintas zonas climáticas del país. El Capítulo 3 de este Manual define clases de infiltración aceptables para edificaciones localizadas en distintas localidades del territorio nacional, por lo que es importante conocer las propiedades de permeabilidad al aire de elementos que influyen en la demanda energética por infiltración, tal como las puertas y ventanas.

Este capítulo muestra los resultados de las propiedades de permeabilidad al aire de una muestra importante de puertas y ventanas que se encuentran disponibles en el mercado nacional, basados en más de 300 ensayos experimentales del tipo prestacional desarrollados por el Laboratorio de Física de la Construcción de CITEC UBB, durante el periodo comprendido entre los años 2007 al 2013.

La información está organizada de acuerdo a los siguientes parámetros: materialidad, forma de apertura, dimensiones, y diseño; que serán de utilidad a diseñadores, arquitectos proyectistas y constructores, con el objetivo de orientar la elección del tipo de ventana y puerta más adecuado a sus requerimientos.

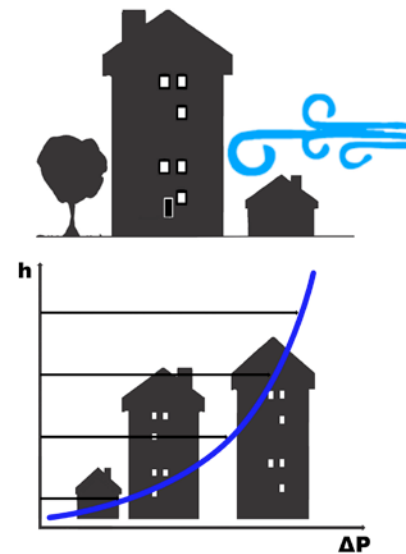


Figura 6.4: Incidencia de las presiones de viento de acuerdo a la altura y exposición al viento de la edificación.

## 6.1 NIVELES Y CLASES DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE PUERTAS Y VENTANAS

La Norma Chilena NCh892 Of.2001 especifica el método de ensayo de laboratorio para evaluar la estanquidad al aire de ventanas, el que es equivalente a la norma UNE-EN 1026 para puertas y ventanas.

La metodología de ensayo 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 (Figuras 6.5 y 6.6).

El resultado del ensayo de estanquidad al aire 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.

A través de los resultados del ensayo de laboratorio, la Norma Chilena NCh888 Of.2000, establece diferentes clases de infiltración máxima para las ventanas, medidas a una presión diferencial de 100 Pa, las que se detallan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Clases de permeabilidad según NCh888 Of.2000

Tipo	Infiltración de aire por superficie	Infiltración de aire por metro lineal de junta
	$\text{m}^3/\text{h m}^2$	$\text{m}^3/\text{h m}$
60a (mínimo)	60	$\leq 12$
30a (normal)	30	$\leq 6$
10a (especial)	10	$\leq 2$
7a (especial)	7	$\leq 1,4$

A nivel internacional, algunos países cuentan con normativa que limita los niveles de permeabilidad al aire de los elementos de ventana. Los dos criterios principales utilizados son el largo de junta y el área de ventana, valores que no son comparables entre sí (Tabla 6.2).



Figura 6.5: Cámara de infiltración del Laboratorio de Física de la Construcción de CITEC UBB con ventana instalada.



Figura 6.6: Vista lateral de la cámara de infiltración del Laboratorio de Física de la Construcción de CITEC UBB.

**Tabla 6.2: Valores límites de infiltración de ventanas y puertas.**  
Fuente: (Limb, 2001)

País		Valores límites	Unidad	Presión (Pa)
<b>Finlandia</b>	Ventanas clase 1	Menor a 0,5		
	Ventanas clase 2	0,5 a 2,5	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	50
	Ventanas clase 3	Menor a 2,5		
<b>Francia</b>	Ventanas A1	20 a 60		
	Ventanas A2	7 a 20	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	100
	Ventanas A3	Menor a 7		
	Puertas A1	20-60		
	Puertas A2	7-20	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	100
	Puertas A3	<7		
<b>Alemania<sup>1</sup></b>	Nivel de exposición A	9,5		
	Nivel de exposición B-D	4,8	m <sup>3</sup> /h m	100
<b>Italia</b>	Ventanas A1	4,0 a 8,0 m <sup>3</sup> /h m o 13,0 a 31,0 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>		
	Ventanas A2	1,3 a 4,0 m <sup>3</sup> /h m o 4,8 a 13,0 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> y m <sup>3</sup> /h m	50
	Ventanas A3	0,0 a 41,4 m <sup>3</sup> /h m o 0,0 a 4,8 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>		
<b>Holanda</b>	Ventanas	Máximo 2,5	l/s m	100 a 450
<b>Nueva Zelandia</b>	Ventanas herméticas	0,6 (l/s m) 2,0 l/s m <sup>2</sup>	l/s m	
	Ventanas con fuga de aire moderada	2,0 (l/s m) 8,0 l/s m <sup>2</sup>		150
	Ventanas con poca resistencia a las fugas de aire	4,0 (l/s m) 17,0 l/s m <sup>2</sup>	l/s m <sup>2</sup>	
<b>Suiza</b>	Ventanas altura < 8 m	5,65 m <sup>3</sup> /h m a 150 Pa		
	Ventanas altura >8 < 20 m	8,95m <sup>3</sup> /h m a 300 Pa	m <sup>3</sup> /h m	150 a 600
	Ventanas > 20 >100 m	14,25 m <sup>3</sup> /h m a 600 Pa		
<b>Reino Unido</b>	Ventanas clase A	6,3		
	Ventanas clase B	4,8		
	Ventanas clase C	1,22		
	Ventanas aluminio	0,37	m <sup>3</sup> /h m	50
	Ventanas PVC	0,375		
	Ventanas Madera	0,34		
<b>EEUU</b>	Ventanas hechas en obra	0,5		
	Otras ventanas	0,34		
	Puertas correderas	0,5	cfm/ft	
	Puertas abatible	1,0		
	Puerta giratoria	2,0		
<b>Dinamarca</b>	Puertas	0,5	l/s/m	50

---

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

## 6.2 VALORES TÍPICOS DE INFILTRACIÓN DE AIRE DE PUERTAS Y VENTANAS

En base al desarrollo experimental realizado en el Laboratorio de Física de la Construcción del CITEC de la Universidad del Bío-Bío, se elabora una importante base de datos de propiedades permeables al aire de los principales elementos de ventanas y puertas presentes en el mercado nacional.

### 6.2.1 VALORES TÍPICOS DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS

De los resultados de las evaluaciones se obtienen

valores máximos y mínimos de permeabilidad al aire por unidad de superficie de ventana ( $m^3/h m^2$ ) a 100 Pa, en función de su materialidad y forma de apertura, ilustrados en la Tabla 6.3.

Fundamentalmente, el nivel de infiltración de una ventana depende de tres factores:

- Calidad de fabricación
- Materialidad
- Forma de apertura

Respecto de la calidad de fabricación; al evaluar ventanas de una misma línea, materialidad y forma de apertura, pero de diferentes fabricantes y/o armadores, se observan importantes diferencias en los valores de infiltración, principalmente debido al grado de industrialización de los procesos de fabricación, que está asociado principalmente a las tolerancias, mecanismos de unión, y aportes en el diseño hermético del elemento.

Respecto a la materialidad de las ventanas; se observa en general que los mayores niveles de infiltración promedio, considerando diferentes fabricantes y formas de apertura, se producen en el siguiente orden descendente; fierro galvanizado, madera, aluminio, PVC y aluminio- madera (Figura 6.7)

Las infiltraciones de aire no se relacionan necesariamente con la materialidad. Se vinculan principalmente a la calidad de diseño y de ejecución. En este sentido tendrán siempre ventajas los sistemas industrializados respecto de los artesanales. El desempeño de las ventanas de fierro galvanizado y madera evaluadas se explica en parte por esto. No obstante, es posible, con diseños bien conceptuados y procesos industrializados, para esas materialidades, llegara estándares en torno a 1 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup>, que se comparan con los mejores estándares de hermeticidad del grupo de ventanas.

**Tabla 6.3:** Permeabilidad al aire típica de ventanas según materialidad y tipo de apertura.

Respecto de la forma de apertura de las ventanas, se determina que las mayores infiltraciones promedio

se producen en el siguiente orden decreciente: abatir, corredera 2 hojas móviles, guillotina, corredera 1 hoja móvil y 1 hoja fija, proyectante y oscilobatiente (Figura 6.8).

En general, los mejores resultados se consiguen en aquellas ventanas que presentan:

- Buen diseño de puntos de cierre.
- Doble contacto de junta.
- Menores metros lineales de junta.
- Incorporación de elementos que apoyen el cierre hermético, como por ejemplo; burletes, topes estancos, felpas, sellos y otros.

Materialidad	Ventana corredera 1 hoja fija, 1 móvil (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )		Ventana corredera 2 hojas móviles (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )		Ventana guillotina 1 hoja móvil (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )		Ventana oscilobatiente 1 hoja móvil (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )		Ventana proyectante 1 hoja móvil (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )		Ventana abatir 1 hoja móvil (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )	
	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	n/d	n/d
PVC	0,7	23,2	6,8	14,8	4	26	0,7	4	0,8	10	0,2	7
Madera	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	1	84
Fierro galvanizado	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	45	65
Aluminio -madera	12,38	12,38	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	1,35	1,35	n/d	n/d

- Buen diseño de las evacuaciones de aguas lluvias y condensaciones.

En este caso, las ventanas del tipo proyectante, oscilobatiente y algunas del tipo abatir, adoptan la gran mayoría de las condiciones anteriores, lo cual se ve reflejado en los bajos niveles de infiltración de aire que poseen.

La ventana corredera tiene comparadamente infiltraciones mayores, esto se explica por la dificultad natural de compatibilizar la necesidad de fácil deslizamiento con hermeticidad.

## 6.2.2 VALORES TÍPICOS DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE PUERTAS

En esta sección se presentan los resultados de permeabilidad al aire de las principales puertas de uso nacional en función de su materialidad y 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 características comunes de instalación y fabricación como: dimensiones, marcos y sobremarcos de puerta, bisagras, espacios inferiores e incorporación

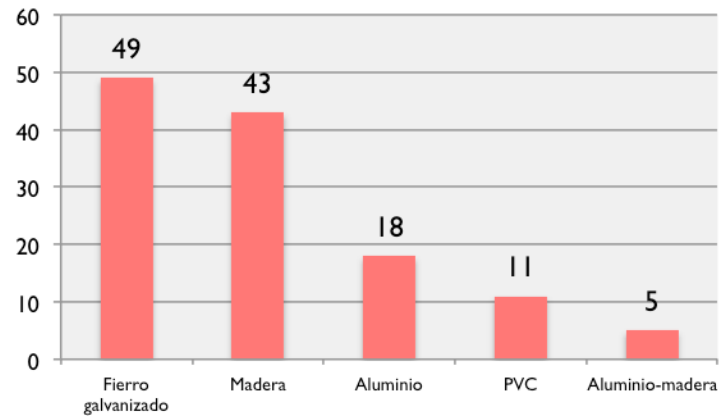


Figura 6.7: Infiltraciones de aire promedio a 100 Pa por materialidad de ventanas (m³/h m²).

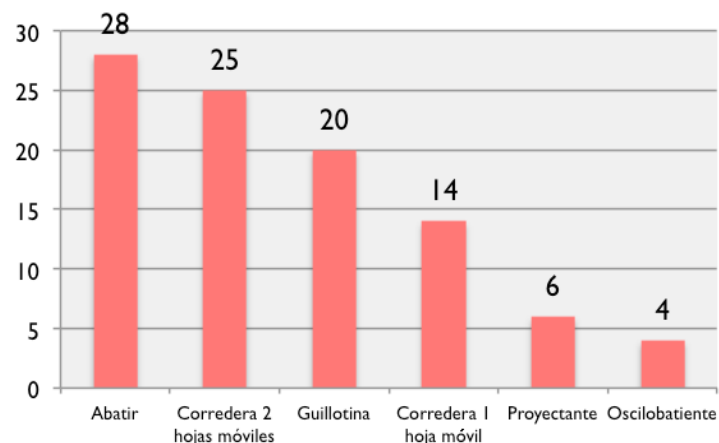


Figura 6.8: Infiltraciones de aire a 100 Pa por tipo de apertura de ventanas (m³/h m²).

de cerraduras.

La tabla 6.4 muestra los resultados de las propiedades de permeabilidad al aire de las puertas evaluadas, expresados en superficie de infiltración ( $m^3/h m^2$ ).

De los resultados de los ensayos se observa que los mayores valores de infiltración por superficie, se obtienen en las puertas de revestimiento de lámina metal y de fibras de madera, mientras que los menores resultados de infiltración, se presentan en puertas de madera sólida (Figura 6.9).

El mayor o menor nivel de permeabilidad al aire que poseen los elementos de puertas, dependen principalmente de:

- Calidad de fabricación.
- Calidad de la mano de obra de instalación.
- Incorporación de elementos adicionales o de diseño que apoyen a la hermeticidad.

Como se señaló anteriormente, 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

*Tabla 6.4: 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 $41mm \times 65mm$ 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 $41mm \times 65mm$ y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior $5mm$ .	61
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
Madera sólida	Puerta madera sólida con marco y sobremarco de pino seco cepillado $41mm \times 65mm$ y cerradura de pomo acero inoxidable. Espacio inferior $5mm$ .	23

como a la puerta propiamente tal. Estas tolerancias cobran mayor importancia en elementos de madera, cuyas propiedades higroscópicas naturales pueden presentar inestabilidad dimensional en el tiempo, lo que afecta directamente 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.

Respecto de la incorporación de elementos adicionales o de diseño, es posible mejorar el nivel de hermeticidad a través de un diseño hermético de contacto marco-puerta, utilizados frecuentemente en puertas especiales termoacústicas.

Es posible mejorar el nivel de hermeticidad de un sistema de puerta post-instalada, incorporando diferentes técnicas de sellado disponibles en el mercado nacional, tales como sellos de silicona, materiales de espuma, PVC, etc.

En el marco de este estudio, se aplicaron distintas técnicas de sellado a las puertas ensayadas, y se evaluaron las mejoras en la permeabilidad al aire, cuyos valores promedios se ilustran en la tabla 6.5.

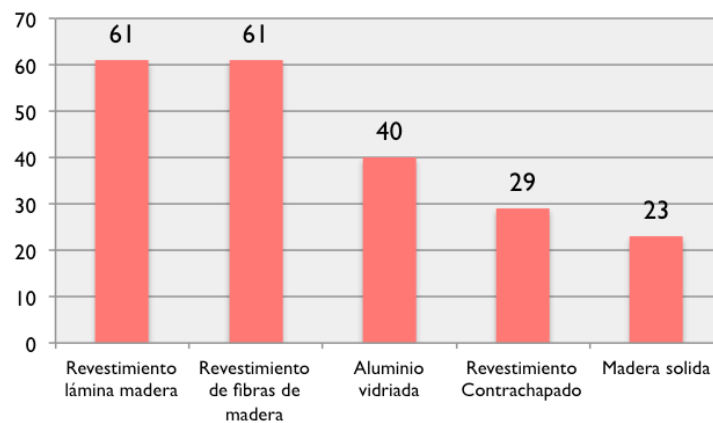

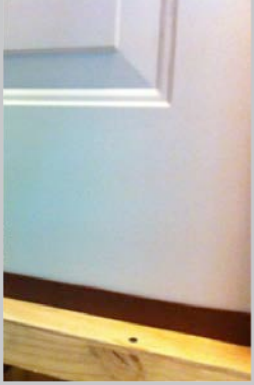



Figura 6.9:  
Infiltraciones de  
aire a 100 Pa por  
materialidad de puerta.



**Tabla 6.5:** Técnicas de sellado aplicadas en puertas y porcentaje de mejora alcanzado.

Aplicación de sello elástico en marco-sobremarco	Aplicación de burlete de espuma aislante de alta densidad inferior puerta	Aplicación de burlete de espuma aislante de alta densidad en junta de cierre marco-puerta
		
17%	26%	31%

Al aplicar todas estas medidas de sellado en conjunto en el sistema puerta, se logra disminuir la infiltración base en un 74% aproximadamente.

---

## BIBLIOGRAFÍA

Bobadilla, A. (2006). Selección de Ventanas Basadas en Prestaciones Técnicas u Objetivos. *Revista Alumundo*, 24, 16-18.

Corporación de desarrollo tecnológico. (2011). Recomendaciones técnicas para la especificación de ventanas. *Documentos Técnicos Corporación de Desarrollo Tecnológico*, 167.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *Nch 446 Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Terminología y clasificación*.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *NCh 2496 Arquitectura y construcción - Ventanas - Instalación en obra*.

Instituto Nacional de Normalización (1957). *NCh355 Ventanas de madera*.

Instituto Nacional de Normalización (2000). *NCh888 Arquitectura y construcción - Ventanas - Requisitos básicos*.

Instituto Nacional de Normalización (2001). *NCh892 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayo de estanquidad al aire*.

Limb, M. (2001). *A review of International ventilation, airtightness, thermal insulation and indoor air quality criteria*. Air Infiltration and Ventilation Center (p. 203). Coventry, UK.

Maldonado, D (2006). Instalación de Ventanas – Rasgos Perfectos. *Revista BIT*, 50, 44-52.

UNE EN 1026:2000 *Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo*.



# CAPITULO 7: MATERIALES Y SELLOS

ALEXANDER FRITZ D.  
JOHN FOOKES H.  
DECON UC



---

# MATERIALES Y SELLOS

El objetivo de este capítulo es exponer la gama de sellos que actualmente son utilizados en el rubro de las edificaciones para asegurar la continuidad y hermeticidad de la barrera al aire.

Como se ha discutido en capítulos anteriores, el intercambio de energía de un edificio con el medio ambiente exterior que lo rodea se produce principalmente a través de la envolvente, por lo que es fundamental la correcta selección de materiales y sellos apropiados para evitar pérdidas por infiltraciones de aire. Esta capacidad de limitar las infiltraciones de aire por la envolvente es conocida como hermeticidad y se consigue utilizando diseños, materiales y elementos que aporten al sellado de la edificación.

Para lograr edificios energéticamente eficientes, desde el punto de las infiltraciones de aire, las preocupaciones son básicamente dos: la calidad del sellado de juntas de unión y la hermeticidad al aire de la envolvente. Esto reduce los gastos monetarios y mejoran los estándares de confort ambiental. De lo contrario, se producirán pérdidas de calor por infiltraciones y/o condensaciones superficiales por efecto de una junta fría que posiblemente conlleve a un deterioro de la edificación.

Los sellos de las juntas entre los diferentes materiales son sometidos a distintas sollicitaciones, siendo afectados de diferentes formas tanto al interior como al exterior de la edificación. En el interior, la junta se ve sollicitada principalmente por la humedad y la temperatura, y por el exterior su sollicitación es más significativa al tener que responder a factores adicionales como radiación UV y condiciones climatológicas como temperatura, humedad, presión de viento y precipitaciones.

Dada la diferencia entre las sollicitaciones exteriores e interiores, para cumplir con el control de infiltraciones de aire, se debe aplicar por ambos lados un sellante capaz de sobrellevar estos factores, cuyo desempeño estará condicionado y supeditado a tres variables: elección del sellante adecuado, preparación del sustrato, y aplicación del sellante.

## 7.1 ELECCIÓN DE ELEMENTOS DE SELLO

Se debe entender que no hay dos productos iguales para sellos, cada uno puede tener propiedades, requerimientos y desempeños distintos, y algunas sollicitaciones solo pueden ser cumplidas por una variedad limitada de éstos.

Pueden variar de un fabricante a otro, principalmente por alguna diferencia en la composición y proporción de sus componentes, afectando su desempeño de manera significativa. Por ello, es necesario consultar las especificaciones y recomendaciones disponibles en el catálogo y departamento técnico del fabricante para definir el producto más adecuado.

### 7.1.1 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

Debido a que los materiales podrían reaccionar de diferente manera a una misma situación, como puede ser ante temperaturas o humedad, es indispensable entender que cada sellante requiere la preparación del sustrato donde se aplicará. Ésta debe considerarse como una condición previa obligatoria y no optativa, la cual permitirá asegurar el correcto desempeño del sellante ante las sollicitaciones, como por ejemplo,

ante movimientos entre sustratos (por dilatación/contracción). Existe consenso acerca de que la limpieza básica de la superficie es lo mínimo que se debe realizar, ya que esta simple operación puede hacer la diferencia entre un buen sello y uno que no cumpla con su objetivo especificado.

### 7.1.2 MÉTODO DE APLICACIÓN

Es fundamental la forma de aplicar el sellante ya que es única para cada caso. Es decir, su aplicación debe cumplir rigurosamente las recomendaciones del fabricante ante la situación, ya que a pesar de haber seleccionado un sello apropiado y realizar la limpieza recomendada, éste puede no haber sido aplicado de manera correcta y no cumplir con los requerimientos técnicos esperados.

### 7.1.3 RESISTENCIA A TEMPERATURAS

Normalmente se relaciona el desempeño del sellante con la temperatura en función de la durabilidad y resistencia, en donde los sellos exteriores tienden a sobrellevar las altas o bajas temperaturas de mejor manera que los utilizados al interior. Sin embargo, se desestiman otros dos factores fundamentales para el desempeño del mismo, tal como: temperatura de almacenamiento y temperatura de aplicación. La vida útil y propiedades suelen deteriorarse al ser



Figura 7.1: Formatos de presentación de sellantes.

almacenados por debajo o sobre la temperatura de almacenamiento recomendada, o pierden propiedades técnicas al sobrepasar el rango de temperatura recomendada por el fabricante, proveedor y producto.

### 7.1.4 ADHERENCIA

Los sellantes varían su capacidad para adherirse a diversos tipos de materiales y es por ello que se recomienda seguir las especificaciones del fabricante para establecer su compatibilidad con el sustrato donde será aplicado.

### 7.1.5 EMISIÓN DE CONTAMINANTES VOLÁTILES

La mayoría de los sellantes contienen materiales volátiles que se liberan al ambiente durante el período de curado y/o al finalizar su vida útil. Algunos de estos gases son tóxicos y pueden ser peligrosos para el ser humano cuando su concentración supera un determinado nivel aceptado. El mayor riesgo por lo general, se produce en el periodo de colocación del producto, y su concentración dependerá principalmente de la composición del sellador, la cantidad utilizada, la superficie expuesta, velocidad de aplicación, tasa de recambio de aire de la edificación.

### 7.1.6 TIEMPO DE SECADO

Normalmente los fabricantes lo expresan de dos maneras: tiempo “al tacto” y “tiempo total de curado”. Lo primero se refiere al tiempo requerido para que la superficie expuesta del sellante no se adhiera a la superficie de los dedos al ser tocada, y es en este periodo en el cual los gases pueden ser liberados al ambiente. La segunda, la más importante, es el periodo que demora finalmente en curar dejando de liberar gases, por lo que es importante verificar el tiempo total de este proceso, el cual varía de acuerdo a la formulación de cada fabricante.

### 7.1.7 COLOR Y POSIBILIDAD DE PINTADO

Algunos fabricantes ofrecen los sellantes en una amplia gama de colores o con capacidad de recibir acabado de pintura según requerimiento estético. Se recomienda consultar las especificaciones disponibles del fabricante o proveedor, en especial los selladores exteriores, ya que es necesario saber si su fórmula contempla inhibidores de rayos ultravioleta o estabilizadores para evitar la excesiva decoloración que sufren al estar expuestos a la luz solar.



Figura 7.2: Aplicador de siliconas con pistola mecánica.

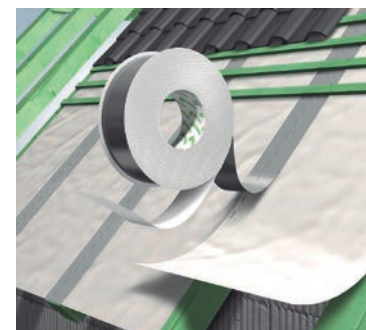


Figura 7.3: Cinta mono adhesiva para unión de elementos laminares.



## 7.1.8 TAMAÑO DE JUNTA O SELLO

El tamaño del sello, para que sea eficiente, debe estar de acuerdo a las características de la junta (ancho, largo y profundidad) ya que el espesor o tamaño del sellante varía considerablemente según cada producto, por lo que se recomienda consultar las especificaciones del fabricante para obtener información sobre tamaños de sellos, pudiendo así seleccionar el más adecuado.

## 7.1.9 RESISTENCIA AL MOVIMIENTO

Algunos sellantes son muy elásticos y tienen capacidad de responder adecuadamente a los movimientos previstos, mientras que otros no son tan elásticos o inclusive no toleran movimiento alguno, ante lo cual tienden a agrietarse o soltarse. Es por ello que no solo se debe tener en cuenta el tamaño de la junta o sello, sino también hay que considerar el tipo y magnitud de movimiento que se espera puedan sobrellevar post instalación.

## 7.1.10 RESISTENCIA A LA HUMEDAD

La humedad es un factor que limita la efectividad de los sellantes, inclusive aquellos a base de agua, ya que ésta reduce la adherencia de los sellantes a las superficies húmedas o con humedad, por lo

que se recomienda conocer las condiciones óptimas y limitantes de desempeño del sellante a aplicar.

## 7.1.11 REQUERIMIENTO DE IMPRIMANTES

Algunos sellantes ven su desempeño comprometido si las superficies ya preparadas y limpias no han sido tratadas con imprimantes compatibles y según recomendaciones del fabricante o proveedor del sellante.

## 7.1.12 COSTO

El costo del sellante no siempre está directamente relacionado a la calidad y el desempeño del mismo, por lo que hay que evaluar en términos de durabilidad y eficacia si es conveniente realizar una inversión mayor o menor antes de colocarlo.

## 7.2 TIPOS DE SELLANTE

Los tipos de sellantes se pueden agrupar en diferentes familias según su composición y propiedades, para lo cual debemos tener en consideración el principio de adherencia entre materiales, para asegurar la continuidad o hermeticidad de la membrana al aire. Así mismo se debe tener presente la rigurosa preparación de las superficies de los materiales que

deben estar libres de polvo y exentos de humedad, los que habitualmente dificultan la aplicación del sello.

A manera referencial se puede establecer cinco tipos de Sellos:

- Sello por Adhesión
- Sello de Relleno
- Sello Laminar
- Sello de Juntas para Ventanas y Puertas
- Sellos Multipropósitos

## 7.3 SELLOS POR ADHESIÓN

Estos productos cumplen dos funciones básicas: unir la junta de dos materiales de igual o diferente naturaleza y lograr hermeticidad. En la unión, el sellante por adhesión forma una barrera que impide que entren determinadas sustancias como agua, polvo o viento. Los sellos pueden ser acrílicos, poliuretanos y/o acetos modificados, como por ejemplo siliconas, cintas, espumas, etc.

Los sellos por adhesión se pueden categorizar en:

- Cintas
- Siliconas

### 7.3.1 CINTAS

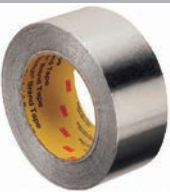

Las cintas, por lo general autoadhesivas, se componen principalmente de dos elementos: el soporte y el adhesivo. Los soportes pueden ser películas de caucho natural, goma natural, plástico, PVC, tela, papel, hoja metálica fina u otros materiales, que proporcionen un soporte flexible para el adhesivo. Por lo general están disponibles en tiendas habituales de materiales de construcción en anchos estándares de hasta 150mm. Para anchos mayores a 150mm dado el uso específico, como podrían ser sellos para perforaciones de ductos de ventilación, por lo general son a pedido a tiendas o fábricas de especialidad.




Existen cintas para aplicación interior o exterior, las que se ilustran en la tabla 7.2.

Sello por adhesión (fuente: 3m Chile)	
Sello de relleno (fuente: metacaulk.com)	
Sello laminar	
Sello de juntas para puertas y ventanas (fuente: catalogo Akis)	
Sello multipropósito (fuente: Sika Chile)	

Tabla 7.1: Tipos de sellos.

Tabla 7.2: Tipos de cintas.

Simple o de tipo "embalaje"	Son a base de adhesivo de caucho natural con solventes y lámina de respaldo de polipropileno. Son las más populares y baratas del mercado, son versátiles y su durabilidad depende de la composición del adhesivo.	
"Mastic" de vinílico	Son compuestas por láminas de aislante a base de goma natural o artificial auto fundente, laminado en un respaldo de PVC flexible. Resistente a la abrasión, humedad, álcalis, ácido, corrosión de cobre y rayos UV.	
Papel	Son compuestas por láminas de papel con adhesivo caucho natural con solventes. Son fáciles de cortar y son muy versátiles, ya que hay variedad de anchos y grados de adherencia.	
"Metálica"	Están compuestas por una lámina de aluminio flexible resistente a temperaturas entre $-40^{\circ}\text{C}$ y $+140^{\circ}\text{C}$ , resistente al agua, aceite y grasa. No se deteriora con el tiempo y es de gran adherencia.	
Americana o textil	Es una cinta comúnmente de color plateado a base de polietileno reforzado con malla o hilado de fibras naturales o sintéticas de mayor resistencia a la tracción y fácil de cortar.	
De doble contacto	Es una cinta de polietileno con adhesivo en ambas caras, comúnmente utilizado para unir diferentes materiales para asegurar una adhesión perfecta a cualquier sustrato o entre elementos.	

De espuma	Es una cinta de espuma comprimida impregnada con resinas sintéticas para asegurar la continuidad de la barrera de aire en los puntos o interfaces entre materiales en diferentes planos y aperturas en el mismo plano.	
Tipo rejilla	Es una cinta de fibra de vidrio autoadhesiva que se aplica con un pegamento plasto acorde al sustrato para asegurar la continuidad de la barrera de aire en los puntos o interfaces entre materiales.	
VHB	Es una cinta de muy alta adherencia (Very High Bond), que está conformada por espuma acrílica gris, de celda cerrada con adhesivo acrílico en ambos lados, inmediata y alta resistencia al desprendimiento.	

Para asegurar la buena instalación y desempeño de las cintas, con el fin de mantener la continuidad y hermeticidad de una membrana al aire es necesario realizar su instalación de acuerdo con las especificaciones del fabricante, prestando atención a los siguientes puntos claves:

que la aplicación del agente adhesivo en la unión actúe de manera eficaz, fácil y sostenible.

Una solución común es el uso de cintas adhesivas que tienen diferentes anchos y acabados que facilitan su aplicación en obra.

### ADHERENCIA ENTRE MATERIALES:

La continuidad de la membrana al aire que se obtendrá entre dos materiales con un producto de adhesión está relacionado al área de contacto, por lo que éstas deben ser lo más extensas posible para

### SUSTRATOS:

Es necesario evaluar la materialidad de los sustratos donde se aplicará la cinta dado que sus características determinarán cual será más apropiada, por ejemplo:



*Figura 7.4: Encuentro entre placa de madera y pavimento de hormigón mediante sello con cinta adhesiva para mejorar hermeticidad al aire.*

- Uso de cintas mono adhesivas compatibles con la membrana de vapor; con un traslapeo mínimo de a lo menos 60mm para resistir a las deformaciones horizontales y verticales.
- Uso de cintas adhesivas de doble contacto vertical para fijar membrana de vapor a elementos estructurales de la edificación.
- Uso de cinta tipo rejilla con pegamento plasto con traslapeo de mínimo 60mm para unión entre membrana al aire en techumbre y mampostería en muro.
- Uso de cinta espuma comprimida impregnada con resinas sintética para asegurar la continuidad entre marco de puerta y sustrato (muro).

### 7.3.2 SILICONAS

Es uno de los sellantes más utilizados en el rubro de la construcción al ser un producto muy eficaz para sellar juntas de manera resistente y hermética. Algunos son de compuesto químico derivado principalmente de la combinación de silicio con carbono, hidrógeno y oxígeno, y otros de compuestos “orgánicos”. Sus variaciones de fórmula determinan y definen sus propiedades y aplicaciones, además del tiempo de curado, resistencia al envejecimiento y permeabilidad al vapor. Las de composición química resisten de mejor manera temperaturas que pueden ir de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$ , tienen propiedades antiadherentes,

no se rompen, tienen gran capacidad de movimiento, buen envejecimiento a la intemperie, y resistencia a los rayos ultravioleta. Los orgánicos son típicamente menos resistentes a la radiación ultravioleta, lluvia, nieve y temperaturas extremas, y con el tiempo pueden endurecer, agrietarse y perder su adherencia a los sustratos.

Algunos de los factores a considerar para la selección de un sellante de silicona son:

- Adhesión a sustratos.
- Capacidad de movimiento.
- Durabilidad.
- Cambios en las propiedades físicas debido a sollicitaciones.
- Estética.

Entre las más utilizadas en el rubro de la construcción a nivel nacional se pueden considerar las siguientes siliconas:

#### SILICONA ACRÍLICA

Su fabricación es a base de polímeros obtenidos del ácido acrílico, se adhiere bien a las superficies limpias y secas como madera, metal, yeso y mampostería. Es fácil de instalar, económico, en su mayoría se pueden pintar, de fácil mantención y limpieza (agua

y jabón), mantiene sus propiedades de elasticidad, capacidad de movimiento, fuerza de adhesión, etc., por más tiempo que las demás, pero no se adhiere en condiciones frías o húmedas.

Se utiliza para sellar grietas y juntas de hasta 10mm entre paneles de yeso cartón, estructura de metal o mampostería o madera, y marcos de ventana y puertas de madera, panel de yeso cartón y cajas eléctricas, y alrededor de los marcos de ventanas y/o puertas.

### SILICONA POLIURETANO

Es un bi-componente a base de silicona y poliuretano, tiene muy buena adherencia a casi todas las superficies salvo al vidrio, es elástica y flexible por lo que resiste a movimientos. Se puede aplicar a bajas temperaturas de hasta  $-17^{\circ}\text{C}$  si el producto se almacena a  $15^{\circ}\text{C}$  o más. Se puede también aplicar a superficies con humedad, pero no saturado o cubiertas de hielo.

Se puede utilizar para sellar grietas y aperturas de hasta 5 cm (si está bien aplicado), se aplica a placas de piso, alrededor de los marcos de ventanas y/o puertas, entre paneles de yeso cartón y estructura o mampostería, entre paneles de yeso cartón y cajas eléctricas, entre elementos de polietileno, y entre polietileno y otros materiales, además de poder ser aplicado a las juntas de dilatación de hormigón.

### SILICONA ACETIL

Es la silicona más resistente, elástica y flexible, dado que es de composición mono-componente, en base a siliconas con una elasticidad permanente una vez seca. Son de curado acetil, el cual libera ácido acético con un olor a vinagre característico, siendo más adecuado para su aplicación a elementos de vidrios y perfiles de aluminio, unión de vidrios o materiales lisos, ya que puede debilitar las superficies de hormigón y corroer el metal galvanizado. En su mayoría no se pueden pintar y requieren de solventes químicos para su limpieza.

### SILICONA NEUTRA

Las siliconas de curado neutro son flexibles ya que son a base de caucho de silicona de reticulación neutra, y por lo tanto, la única diferencia con la acética es que no contienen acetona. Es considerada la “todo terreno” de las siliconas ya que pueden trabajar tanto en sustratos y/o elementos de hormigón, metal, albañilería y madera.

#### **Consideraciones para el uso de siliconas y su aplicación en juntas**

- I. Selección del sellante: según sustrato y desempeño de la junta.



Figura 7.5: Sello de continuidad de membrana resistente al paso del aire mediante cinta mono adhesiva.



Figura 7.6: Sello de hermeticidad al aire en unión entre marco de puerta y muro.

2. **Solicitaciones:** Identificar los requerimientos y solicitudes a los cuales estará sometido el sellante.
3. **Limpieza:** Eliminación de polvo, grasas, aceites u otros elementos de la superficie a aplicar, como también de humedad para evitar la disminución de adherencia.
4. **Imprimación:** Determinar si el sustrato requiere de preparación adicional con un imprimante para mejorar las condiciones de las superficies de la junta.
5. **Respaldo:** Determinar si la junta requiere de un respaldo para restringir o regular la profundidad del sello de la junta para asegurar su correcta aplicación y funcionamiento.
6. **Aplicación:** Asegurar un cordón continuo y homogéneo aplicado en la cavidad de la junta usando una pistola calafateadora o una bomba, cortando (en forma ligeramente inclinada) la boquilla en el diámetro más adecuado para el ancho de la junta.
7. **Espatulado:** Usar técnicas de espatulado para asegurar un sello de configuración apropiada, completamente en contacto con el respaldo y las paredes de la junta.
8. **Especificación:** Cumplir rigurosamente las instrucciones y especificaciones del fabricante contenidas en la ficha técnica y en el envase del sellante respectivo.
9. **Control:** Realizar los procedimientos de control de calidad necesarios y documentar los resultados a lo largo de todo el proyecto.

## 7.4 SELLO POR RELLENO

En general, los sellos por relleno son combinaciones de productos químicos de alta eficiencia que se utilizan para rellenar juntas u orificios que se pueden producir en los diferentes materiales que conforman las diferentes tipologías en la edificación, y que son necesarios sellar para lograr paramentos más herméticos al aire y agua proveniente del exterior. Los de mayor aplicación son los productos más eficientes y económicos, resistentes a la penetración de agua y con el más alto nivel para aislar térmicamente el espacio interior del exterior. Los productos de mayor aplicación son los poliuretanos por ser auto adherentes a casi todos los materiales de la construcción, tal como el hormigón, acero, ladrillo y madera.

### 7.4.1 POLIURETANO

La condensación de bases hidroxílicas, polioli, combinada con isocianatos es el resultado de este polímero, que se define por su estructura química. Diferenciándose por su comportamiento frente a la temperatura, los poliuretanos se clasifican en dos grupos:

- Poliuretanos termoplásticos
- Poliuretano termoestables

---

Los primeros, se definen según si se degradan antes de fluir o si fluyen antes de degradarse. Destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, pinturas, sellantes, embalajes, juntas en la industria de la construcción, y múltiples aplicaciones más.

Los termoestables son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes en la construcción.

Los componentes producen una reacción química exotérmica, que se caracteriza por la formación de enlaces entre el polioliol y el isocianato, consiguiendo una estructura sólida, uniforme y muy resistente. Si el calor que desprende la reacción se utiliza para evaporar un agente inflador, se obtiene un producto rígido que posee una estructura celular, con un volumen muy superior al que ocupaban los productos líquidos, dando origen a la espuma rígida de poliuretano, material sintético duroplástico, altamente reticulado espacialmente.

### **Usos en la construcción**

Es el producto más utilizado como relleno y fijación en juntas de conexión entre el rasgo de los marcos de puertas y ventanas, pasadas de ductos, aire acondicionado, orificios, etc. Es idóneo para el relleno por inyección de huecos con los siguientes

objetivos:

- Protección contra las corrientes de aire y los olores.
- Para el sello o relleno de juntas entre muros y estructuras por requerimiento sísmico.
- Protección y aislamiento de instalaciones de climatización y de ventilación.
- Relleno y forrado de tabiques, muros, cerramientos, pasadas de cañerías de tinas de baño.
- Aislamiento térmico y acústico (puente térmico en edificación).
- Sello de espacio entre muro y tejas.
- Relleno de carpintería metálica hueca (puentes térmicos).

### **Características:**

- No es tóxico ni contaminante, no ataca la capa de ozono (ecológico).
- Buena adherencia a la mayoría de los materiales de construcción: hormigón endurecido, albañilerías, acero y madera, principalmente.
- Totalmente endurecido se puede recortar y lijar con facilidad.
- No le afectan las variaciones de humedad del aire.



- Aisla del frío y del calor.
- Disminuye la transmisión de sonidos y ruidos de golpes, entre el 10% y más del 60% según la intensidad de aquellos.
- Aisla eléctricamente (buena rigidez dieléctrica del material seco).

Existe una serie de selladores en base a poliuretano que se nombran a continuación, exponiendo sus características más relevantes.

#### **Sellador de alto desempeño monocomponente de poliuretano**

- Sellante de poliuretano de un componente, cura por humedad y es aplicable con pistola de calafateo.
- Durable, flexible y brinda un excelente comportamiento en juntas móviles. Es un sellante para propósitos generales, diseñado para uso en hojalatería, albañilería, perímetros de ventanas y otras juntas de construcción similares, diseñado para uso en interior y exterior.
- Es pintable y su terminación es texturada.

#### **Sellador y adhesivo de poliuretano elastomérico de un solo componente y alto rendimiento.**

- Ofrece una excelente adherencia a la mayoría de las superficies, con un manejo mejorado

con pistola dispensadora y herramientas, así como también una excelente flexibilidad en el caso de juntas móviles +/- 25%

- Alta resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Excelente adherencia.
- Se puede lijar y pintar.
- No mancha y es inodoro.
- Buena resistencia a la exposición a la intemperie.
- Posee un componente, lo que ofrece una capacidad mayor de trabajo con pistola de aplicación y herramientas.

#### **Sellador elástico de poliuretano y adhesivo.**

- Excelente adherencia a la mayoría de los materiales utilizados en construcción:
- Juntas de dilatación y conexión de bajo movimiento.
- Grietas y fisuras en hormigones.
- Tabiques y elementos prefabricados de hormigón y otros.
- Marcos de puertas y ventanas contra estructuras.
- Techos y accesorios de hojalata, reemplazando la soldadura de estaño.

- Pasadas de tubos y ductos de ventilación y refrigeración a través de muros y paneles.
- Juntas en sanitarios y pegado de revestimientos.
- Cubiertas y paneles metálicos.
- Buena resistencia al envejecimiento y a la exposición a la intemperie.
- No es corrosivo.
- Una vez seco es lijable y pintable con emulsiones o esmaltes.
- Amplio rango de temperaturas de aplicación, flexibilidad para aplicar en cualquier clima.
- Compatible con recubrimientos no rígidos, se puede pintar.
- Superior adherencia proporciona larga duración en aplicaciones en tejas de techos.

Existen también otros productos químicos utilizados como sellos de relleno, dentro de los cuales podemos destacar:

#### **Sellador acrílico plasto-elástico pintable**

#### **Sellador de poliuretano elastomérico monocomponente aplicado por pistola.**

- Listo para su uso, no requiere mezclar reduciendo costos de mano de obra.
- Capacidad de movimiento de la junta de  $\pm 35\%$  proporciona excelente flexibilidad para mantener las juntas estancas al agua.
- Aplicación fácil, acelera la producción y produce juntas muy limpias. Fácil de combinar con los sustratos más comunes.
- Se adhiere a diversos materiales de construcción sin requerir imprimante,
- Reduciendo los costos de aplicación.
- Resistente a la intemperie proporcionando un sello hermético duradero.
- Sellador plasto-elástico, de un componente, a base de resinas acrílicas. Tiene excelente adherencia, flexibilidad e impermeabilidad, y fue formulado para sellar juntas o uniones entre distintos elementos constructivos, tanto en interiores como en exteriores, como por ejemplo:
  - Sello perimetral en marcos de puertas y ventanas.
  - Reparaciones de grietas y fisuras.
  - Pasadas de tubos y ductos en general a través de muros.
  - Excelentes propiedades como sello acústico.
  - Juntas de conexión y dilatación de bajo movimiento en sustratos como hormigón, fibrocemento, madera, yeso-cartón, ladrillo, aluminio, PVC y fierro.

- Superficies porosas en su mayoría, y algunas superficies lisas.
- Excelente adherencia a la mayoría de los materiales porosos utilizados en construcción.
- Buena resistencia al envejecimiento y a la exposición a la intemperie.
- Posee propiedades fungicidas.
- Una vez seco puede pintarse con emulsiones o esmaltes.
- Altamente impermeable.

#### **Sellador de látex acrílico multiuso.**

- Sellado de marcos de puertas y ventanas.
- Instalación de zócalos molduras.
- Uniones de esquinas madera, metal, ladrillo, tablaroca/tablayeso.
- Concreto superficies pintadas.
- Resistente a las rajaduras y a la pulverización de la pintura.
- Durabilidad de 25 años.
- Resistencia artificial ala intemperie.
- Se limpia fácilmente con agua antes de secarse.

- Una vez curado, el sellador es resistente al moho y los hongos.

#### **Sellador de látex acrílico siliconizado**

- Sellado de marcos de puertas y ventanas.
- Instalación de zócalos molduras.
- Uniones de esquina madera metal, ladrillo, tablaroca/tablayeso.
- Concreto superficies pintadas.
- Para uso en interiores y exteriores.
- Flexibilidad permanente.
- Sello impermeable.
- Se limpia fácilmente con agua antes de secarse.
- Durabilidad de 35 años.
- Resistente al moho y los hongos.
- Puede pintarse en dos o más horas (más tiempo en condiciones frías o húmedas) con pinturas de látex o a base de aceite.
- Tiempo de secado al tacto: 30 minutos.

#### **Sello y adhesivo epóxico semi-rígido para juntas de control, de 2 componentes, 100% sólidos y autonivelante.**

- Relleno de juntas horizontales de control y construcción hechas con cortadora y grietas

sin movimiento.

- Diseñado para losas sujetas a tráfico pesado.
- Para uso como adhesivo flexible en sustratos como concreto, madera, mampostería.
- Flexibilidad permanente, no endurece con el envejecimiento.
- Previene el deterioro y despostillamiento de los bordes del concreto de las juntas.
- Excelentes propiedades adhesivas.
- Ideal para usarse con sistemas de inyección múltiple.
- Puede utilizarse en pendientes de hasta el 15%.
- Sello a prueba de punzonamientos.
- Puede usarse como sello de seguridad.

## 7.4.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA APLICACIÓN DE SELLOS POR RELLENO

### **Respaldo de juntas**

Si es necesario contar con cordón de respaldo,

se recomienda polietileno reticulado o células cerradas de junta para controlar la profundidad del sellador y asegurar un contacto estrecho del sellador con las juntas de muro al momento de la instalación. Si la profundidad de la junta impidiera el uso del cordón de respaldo, se debe usar una cinta de respaldo de polietileno adhesiva (cinta aisladora adhesiva) para evitar la adhesión en tres lados. Todos los respaldos deben estar secos al momento de la aplicación del sellador.

### **Dimensiones de sellador**

$W$ = ancho del sellador,  $D$ = profundidad del sellador,  $C$ = área de contacto.

Juntas de expansión: el ancho y profundidad mínima de cualquier aplicación de sellador debe ser de 6mm x 6mm. La profundidad ( $D$ ) del sellador debe ser igual al ancho ( $W$ ) de las juntas que están a menos de 20mm de ancho. Para las juntas que están en un rango de 13mm a 25mm de ancho, la profundidad del sellador debería estar aproximadamente a la mitad del ancho de la junta. La profundidad máxima ( $D$ ) de cualquier aplicación de sellador debería ser de 13mm. En el perímetro de ventanas o perfiles de ángulo alrededor de las ventanas o puertas, el sellador deberá mostrar una superficie mínima en

el área de contacto (C) de 12mm en cada sustrato.

### **Preparación de la superficie**

Las superficies deben estar en buen estado, limpias y secas. Si la superficie tiene algún recubrimiento, tal como impermeabilizantes, polvo, mortero suelto, aguacal, pinturas u otros tipos de terminaciones, deben ser eliminados. Esto se puede obtener con un cepillado metálico, desbastando o lavando con un solvente, dependiendo de la contaminación. Se recomienda que las temperaturas de la superficie estén a 5°C o más al momento de la aplicación del sellado.

### **Imprimador**

Primer para metales y plásticos. Generalmente, se adhiere a sustratos de construcción comunes sin la necesidad de aplicar imprimadores, sin embargo, siempre se recomienda que se realice una prueba de adhesión en terreno o maqueta con los materiales reales que se están utilizando para verificar la necesidad de un imprimador. Es fácil de aplicar con equipos para calafateo convencionales. Se debe asegurar de que el cordón de respaldo esté tenso y que no se haya aplicado ningún imprimador, para llenar completamente la junta con la herramienta apropiada y a una razón ancho/profundidad para asegurar un estrecho contacto entre el sellador y la junta de muro. Para pulir, siempre se prefiere

equipos de secado, aunque también se puede usar xileno en pocas cantidades para alisar con espátula, si es necesario. Para una terminación más limpia, se sugiere enmascarar los lados de la junta con una cinta antes de rellenar.

### **Limpieza**

Los excesos de sellador y manchas adyacentes a la interface de la junta pueden ser cuidadosamente eliminados con xileno o componentes de mineral antes de que cure el sellador. Cualquier utensilio utilizado durante el proceso también se puede limpiar con los elementos antes mencionados.

### **Limitaciones**

No aplicar sobre superficies contaminadas o húmedas en el área de contacto (C) de 12mm en cada sustrato.

### **Aplicación del producto**

- Leer todas las instrucciones del catálogo del fabricante y ejecutar la preparación de las superficies antes de su instalación.
- Colocar el producto en una pistola aplacadora para masilla para uso profesional.
- Ejercer una presión constante y uniforme en el gatillo de la pistola, para forzar el ingreso del sellador dentro de la junta.

- Una vez que el sellador se encuentra en la junta, moldearlo con una herramienta adecuada para generar una forma de junta cóncava a fin de lograr la adherencia y flexibilidad máximas.
- Sólo usar herramientas secas, no aplicar agua jabonosa o líquidos cuando realice tareas con las herramientas.
- Instalar letreros cercanos al tratamiento de la junta durante al menos 2 horas o hasta que el material haya perdido su consistencia pegajosa.
- En aplicaciones horizontales, permita que el material cure durante la noche antes de permitir el tránsito sobre el mismo.
- Se puede pintar con una pintura elastomérica luego de que pierda su consistencia pegajosa.

### 7.4.3 PASTA DE MORTERO CEMENTO

Los morteros de cemento se pueden utilizar para reparar estucos que se encuentran agrietados, agujereados por pasadas de cañerías de agua potable, electricidad, en paramentos de albañilerías u hormigón. Incorporan un expansor que minimiza la posibilidad de retracción y facilita su incorporación al volumen de relleno. Contiene polímeros que le otorgan alta adherencia, reducen la formación de fisuras y la permeabilidad del producto. Contiene fibra de nylon o polipropileno que contribuye a

minimizar la formación de fisuras.

#### **Recomendaciones para su aplicación**

- En un recipiente limpio se mezcla en forma homogénea el contenido del envase con la dosis de agua recomendada.
- Eliminar cuidadosamente el estuco suelto o soplado de la zona afectada.
- Si la base es hormigón, picar con punto muy puntiagudo lo más tupido posible, escobillar y lavar con agua potable.
- Aplicar una capa de adherencia o chicoteo.
- Al día siguiente, aplicar una segunda capa y esperar hasta que el material se sienta seco al tacto.
- Mojar el platacho y pasarlo suavemente para alisar la superficie. No trate de lograr una superficie demasiado lisa. No es adecuado el uso excesivo de llana metálica, ya que la superficie resulta muy lisa, se debilita el anclaje del recubrimiento y normalmente aparecen microfisuras.
- La terminación final debe hacerla con una pasta para alisar ya sea exterior o interior según especifique el fabricante.
- Tapar agujeros:
- Limpiar la zona donde se ubica el agujero, procediendo a picar suavemente los bordes,

soplar y mojar con agua potable. Aplicar el mortero con plana o espátula, empujando o taponeando.

- Esperar hasta que se sienta seco al tacto y platachar.
- Si el agujero es muy grande, llenar con mortero, dejando 2 cm bajo el nivel y proceder a rellenar al día siguiente.
- Una vez que se sienta seco al tacto, platachar. Mantener la humedad de la zona por 2 días.
- Reparar grietas.
- Picar cuidadosamente la grieta en forma de V.
- Limpiar bien y humedecer la superficie. Aplicar el mortero con llana redondeada o espátula haciendo presión hacia el interior. Esperar hasta que se sienta seco al tacto y platachar.
- Realizar la terminación superficial con una pasta o masilla elastomérica.

#### **Precauciones**

- Usar la dosis de agua recomendada.
- No manipular las zonas recién reparadas.
- Mantenga la humedad en la superficie del mortero mínimo durante 2 días.
- En lo posible se debe usar arpillera mojada permanentemente.

- No mezclar este mortero con otros productos.

#### **Muestreo**

El muestreo por parte de un Laboratorio Oficial, deberá asegurar que el mortero cumpla con la consistencia indicada en la presente cartilla o bien, se deberá realizar la verificación de la dosis de agua incorporada.

#### **Manipulación del mortero**

Guardar sobre pallets o madera, separado del piso, en lugar fresco, seco y ventilado, al igual que como se hace con el cemento.

Toda faena que se realice con materiales que puedan producir polvo en suspensión (principalmente en lugares cerrados o poco ventilados) obliga a usar algún tipo de protección respiratoria. El material cementicio del producto puede ocasionar irritaciones, por lo que se recomienda evitar el contacto con ojos y piel, empleando algún tipo de protección.

## 7.5 SELLO LAMINAR

Son sellos o membranas colocados hacia el interior y/o exterior de la envolvente de las edificaciones, como barreras de aire o control de fuga de aire, permiten una mayor durabilidad de las edificaciones, ya que la humedad se mantiene fuera y generan

importantes ahorros de energía al reducir pérdidas indeseadas por aire, protegiendo las construcciones contra el viento, calor, vapor y agua.

Dentro de los sellos laminares, se pueden identificar las “membranas de fluidos” que se aplican sobre envolventes conformadas por bloques de hormigón, albañilerías o de otros materiales porosos, en forma de pinturas líquida elastomérica, o como pinturas de gran cuerpo o recubrimientos poliméricos, incluyendo materiales de base y asfalto de celda cerrada de poliuretano, aplicado por aspersión de espuma, que normalmente proporciona el aislamiento. Algunas de las células abiertas del poliuretano aplicado por aspersión de espuma son de alta densidad.

En el caso de viviendas de envolventes estructuradas en madera el uso de estos sellos laminares se conocen como barreras o membranas físicas, siendo las más utilizadas:

- Membrana de fibras de polipropileno
- Fieltro asfaltado

## 7.5.1 MEMBRANA DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Basado en tecnología de vanguardia, esta membrana está conformada por tres capas cruzadas de Valeron

Strech Film, logrando un sustrato muy resistente, lo que se traduce en un material difícil de rasgar y con excelente comportamiento a la tracción.

Sus características relevantes son:

1. Disminución de condensación, protección de los elementos climáticos adversos y salubridad ambiental.
  - Mejora las condiciones de confort al reducir las pérdidas de calor en invierno, permitiendo que la aislación al interior del muro mejore su desempeño.
  - Minimiza la infiltración de aire, permitiendo la salida de los vapores de agua del interior del panel, evitando la proliferación de moho (tiene una muy alta permeabilidad al vapor de agua).
  - Permite la rápida eliminación de la condensación para una mayor protección de la estructura del edificio, mantiene la integridad y el rendimiento de los materiales aislantes y contribuye a una mejor salubridad ambiental.
  - Es una barrera secundaria eficaz para la lluvia y viento.
2. Eficiencia energética
  - Ayuda a reducir las pérdidas energéticas causadas por las infiltraciones de aire, debido a su estanquidad.



- Contribuye a reducir el gasto en calefacción en invierno y refrigeración en verano.
  - Contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que permite reducir el consumo de energía.
3. Soluciones certificadas y durables
- Las membranas para uso exterior cuentan con estabilidad a la radiación UV, la que resiste hasta cuatro meses a la interperie.
  - Se usa en paramentos de edificación nueva o para casos de restauración o renovación de edificaciones.
  - En el caso de las soluciones de cubierta de techumbre asegura larga vida en el tiempo, dependiendo de la calidad y eficacia de los materiales empleados en su estructura.
  - Material ignífugo, no desprende gases peligrosos.
  - Fácil y rápido de instalar, compatible con otros materiales en cubiertas inclinadas y fachadas, diseñado especialmente para ser utilizado en muros exteriores, directamente sobre los pies derechos de madera, sobre tableros de OSB o contrachapados, sobre recubrimientos de espuma aislante u otro material especificado, siendo además compatible con otros revestimientos exteriores como tableros con tratamientos superficiales con imprimantes elastoméricos, estucos, enchapes de ladrillo, etc.
- Su peso permite un fácil manejo en obra, al venir en formato de rollo.
  - Puede ser instalado por una sola persona por su facilidad de manejar, cortar y aplicar alrededor de detalles constructivos.
  - Protección a largo plazo soportando cambios de temperatura entre 50°C y 100°C y 100% resistente a los rayos UV
- Las membranas de fibras de polipropileno funcionan en forma eficaz en cualquier tipo de clima y dentro de un amplio rango de temperaturas.
- Para la fijación de las membranas se pueden utilizar:
- Corchetes de 25mm instalados en cuadrícula de 40cm.
  - Clavo con golilla plástica de 1”.
  - Directo sobre estructura metálica con tornillo con golilla o cabeza ancha
- Para el sellado, es factible utilizar cinta mono adhesiva para uso exterior de buena calidad de unos 50mm de ancho, pero es recomendable para asegurar un mejor sello hermético de las barreras laminares utilizar las cintas tipo VHB (Very High Bond). Como su nombre lo indica, las cintas VHB poseen un adhesivo de alto desempeño que puede reemplazar tornillos y soldaduras. Están conformadas de espuma acrílica gris, de celda cerrada con adhesivo acrílico en ambos

lados, lo que le confiere poder adhesivo inmediato y alta resistencia al desprendimiento.

## 7.5.2 MEMBRANA DE FIELTRO ASFALTADO

Esta barrera está compuesta de papel kraft como base, impregnado con asfalto color negro, conformando un fieltro asfáltico respirable, que evita el paso de agua y aire al interior de la vivienda. Permite liberar el vapor generado por el uso interno de la vivienda, no expele olor, no usa solventes, limpio al tacto, presenta importante propiedades en cuanto a la flexibilidad y adherencia, lo que permite facilidad en su colocación que puede realizarse por una sola persona. Es compatible con otros materiales en cubiertas inclinadas y fachadas, diseñado especialmente para ser utilizado en muros exteriores, directamente sobre los tableros de OSB o contrachapados. Se puede decir que es una barrera secundaria contra la humedad que impide el paso de agua e infiltraciones de aire a través de la envolvente, entregando además las prestaciones de una membrana hidrófuga respirable.

Se presente en diferentes formatos disponibles el mercado:

Rollos	Ancho	Largo	Unidad de venta
Fieltro 10/16	1m	16m	Rollo de 16 m <sup>2</sup>
Fieltro 10/40liso / crepado	1m	40m	Rollo de 40 m <sup>2</sup>
*Fieltro 15/40liso / crepado	1m	40m	Rollo de 40 m <sup>2</sup>
*Fieltro 15 crepado	1m	40m	Rollo de 40 m <sup>2</sup>

\* Filtros recomendados para ser utilizados como barrera de humedad y viento para las edificaciones.

Para la fijación del fieltro se deben utilizar corchetes de 25 mm instalados en cuadrícula de 30 cm al tablero de OSB o contrachapado, como también clavo de 1" con golilla plástica. Para el sellado se debe utilizar cinta adhesiva de uso exterior de buena calidad en rollos de 50 mm de ancho. Las cintas recomendables para el sellado hermético de las barreras laminares son las del tipo VHB (Very High Bond).

Si por alguna circunstancia el fieltro se llegase a rasgar, la solución es la colocación de un parche adecuado (10 cm por lado) sobre éste, fijándolo con corchetes al tablero o estructura, y si fuese necesario, se debe reforzar con una cinta adhesiva.

Bajo la cubierta, el fieltro se puede instalar en sentido horizontal, vertical o inclinado, cuidando que el traslape no sea menor a 15cm. Si se instala horizontalmente, el pliego superior debe ir por encima del inferior.



Figura 7.7 y Figura 7.8: Instalación a la envolvente estructurada en madera de la membrana fibra propileno por los paramentos exteriores.

## 7.6 SELLOS DE JUNTAS PARA VENTANAS Y PUERTAS

El sellado de juntas de ventanas y puertas en la edificación es cada día más relevante por las pérdidas de energía en invierno e infiltración de aire contaminado desde el exterior en verano, que se suman a los costos de post-venta derivados por daños en la construcción a través de infiltración de agua en los aislantes o materiales de edificación.

Las condiciones de trabajo de las juntas (movimiento, temperatura, humedad), el tipo de movimiento de estas, y los sustratos donde sellar son los factores principales en la adecuada elección de un sellante.

El uso de elementos de sellos como burletes, felpas y siliconas, queda determinado por el grado de hermeticidad de los marcos y hojas de las puertas y ventanas.

“Los burletes y felpas cumplen un rol muy importante en las diferentes tipos de ventanas puesto que colaboran en la estanquidad al agua y a la hermeticidad al aire, por lo que sus propiedades físicas y químicas no deberían permitir un encogimiento más allá del 20% de su largo original. 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” Indalum, 2011.

### 7.6.1 BURLETES

El burlete es el elemento que cumple la función de asentar el vidrio dentro del perfil de la ventana. Además, sella y absorbe los movimientos propios entre el vidrio y los perfiles ya sean de madera, PVC o aluminio.

Se distinguen dos grandes grupos de burletes:

- Los que sirven para el vidriado de las hojas (o burletes de acristalamiento, que pueden ser de tipo U, cuña o base).
- Los de contacto, que garantizan la estanquidad entre perfiles de ventanas practicables, o llamadas de doble contacto (de proyección y de abatir).

Según la ubicación del burlete en la perfilería de la estructura de la ventana, será el material adecuado a considerar, ya que se presentan 3 situaciones al respecto resumidas en la Publicación de la Asociación Chilena del vidrio y el aluminio (ACHIVAL, 2012).

Para asegurar el buen desempeño y especificación de burletes felpas y burletes con cepillo, resulta fundamental conocer las características físico-químicas de los cuatro materiales más utilizados en ellos, como son

**Tabla 7.3: Clasificación de burletes de goma.**

		VIDRIO 4 mm-329	VIDRIO 4 mm B -3344-4	VIDRIO 5 MM-305
<b>Tipo “U”</b>	Son los burletes de acristalamiento que van en hojas correderas o integradas. Estos burletes (que son los más usados) abrazan el vidrio dentro del perfil de aluminio.			
<b>Bases</b>	Son todos aquellos burletes de acristalamiento que se colocan en los perfiles hojas donde va un junquillo (generalmente ventanas proyectantes).			
<b>Cuñas.</b>	Se complementan con las bases en el lado contrario del perfil (junquillo).			
<b>D o b l e s contacto</b>	Burletes (de contacto) que se usan en ventanas de proyección y de abatir, en el sello de la hoja con el marco.			
<b>Especiales.</b>	Burletes para muros cortina, juntas de dilatación, calzos, tacos de apoyo para termopanel, etc.	 CALZO	 BASE	 TACO DE APOYO

Fuente: Documento Técnico N°28: Recomendación Técnica para la especificación de ventana CDT - CCHC y CORFO y Catálogo DVP.

**I. Policloruro de vinilo (PVC)**

- Comportamiento de muy baja reacción a la radiación UV.
- Estabilidad dimensional.
- Baja densidad, buena resistencia al impacto y fortaleza a la abrasión.
- Baja contracción y rango de temperatura óptimo.
- Auto-extinguible en su comportamiento al fuego.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Estabilidad de color.
- Resistencia a los agentes atmosféricos, biológicos y químicos.
- Aislante eléctrico.
- Reciclable (sólo perfiles sin folio ni lacado).
- Duración inalterable en el tiempo.
- Bajo costo de instalación y sin necesidad de mantenimiento en su vida útil.

*Tabla 7.4: Materia prima a utilizar en burletes según su ubicación.*

Ubicación del burlete	Exigencia a cumplir	Material que mejor se adecua
Exterior	Excelente estabilidad a la luz (rayos UV) Resistencia a la intemperie (Ozono atmosférico)	PVC (Policloruro de vinilo) Condicionado a su efectiva estabilización a la luz EPDM (Caucho de etileno propileno dieno) SANTOPRENE (Epdm + polipropileno)
Zona intermedia	Lograr la máxima elasticidad con el mínimo esfuerzo manual en el cierre de la ventana.	PVC, EPDM y TPE (caucho termoplástico)
Interior	No están sujetos a condiciones estrictas. Diseño liviano.	Cualquiera de los anteriores

*Fuente: Elaboración propia en base a información extraída del “Manual de ventanas de aluminio”.*

---

## **2. Caucho de etileno propileno dieno (EPDM)**

- Estos compuestos en base a EPDM, son recomendados para ser especificados en ambientes con altas concentraciones de ozono, sin necesidad de protegerlos de ceras u otros aditivos antizonantes.
- Buena resistencia a la exposición de radiación ultravioleta.
- En general muy buena resistencia a los productos químicos y a los agentes atmosféricos excepto a los aceites y petróleos a los que son susceptibles.
- Trabajan en un rango alto de temperatura desde - 40 a 140°C.
- Presentan una buena resistencia a la abrasión y al desgaste.

## **3. SANTOPRENE (materia prima EPDM más Polipropileno)**

- Resistencia a los rayos ultra violeta en un cien por ciento.
- Excelente resistencia a la intemperie y al ozono.
- Elongación y contracción mínimos.
- Buen desempeño a temperatura ambiente y moderado cuando la temperatura asciende a

- los 135°C, soporta hasta 150°C, siempre que sea ocasional.

- No migran ni transpiran y toleran millones de ciclos sin rasgarse.

- Buena resistencia a la abrasión.

## **4. Caucho termoplástico o elastómero termoplástico (TPE)**

Puede ser clasificado como elastómeros termoplástico cuando el material cumple con las siguientes características:

- Que al ser estirado con alargamiento moderado, tenga la capacidad que al retirar la tensión, adopte su estado original.

- Procesable en forma de colada a altas temperaturas.

- Mayor resistencia a la deformación respecto a los cojinetes de goma regulares.

## 7.6.2 FELPAS O BURLETES DE CEPILLO

Las felpas son empleadas cuando existe un deslizamiento o fricción entre la junta y el perfil de PVC o de aluminio (ventanas de corredera y guillotina) con el fin de efectuar un sellado que garantice la hermeticidad al aire y la estanquidad al agua. Están constituidas por un tejido de fibras de polipropileno unidas a una base dorsal, entrelazadas entre ellas, que proporcionan una resistencia a las filtraciones de aire y agua. Las fibras están tratadas con silicona para hacerlas repelente al agua y humedad, y texturizadas para que le entregue un poder de recuperación que permita que la felpa esté en contacto permanente con el perfil, haciendo un perfecto sellado. Como mejora sustancial de las felpas, existen las que llevan insertadas una lámina plástica flexible, soldada longitudinalmente en medio de las fibras, la cual proporciona un contacto permanente con la superficie opuesta. La lámina central representa un ahorro de gran cantidad de energía.

Según las densidades de pelo, las felpas se clasifican en:

- Pelo de 3 hilos (tipo estándar)
- Pelo de 4 hilos (alta densidad)
- De lámina o del tipo Fin Seal (con aleta plástica

central o fin seal) a igual altura de los hilos.

- De lámina alta (high fin), cuando la aleta plástica es más alta que los hilos.

La felpa Fin Seal presenta una mejora sustancial respecto de los otros tipos de felpas, con una mayor densidad de pelo y una barrera en el centro formada por un film de polipropileno soldada a lo largo de su base que le otorga una mayor estanqueidad y un funcionamiento mecánico de gran duración.

Las felpas de gran aplicación como sellos en puertas y tiras de sellado para vidrio, son las llamadas burlete de cepillo, tipo de tira flexible que puede ser aplicada para un sellado de alta calidad en ventanas de aluminio y puertas de todo tipo, fabricadas en un 100 %, con multi-filamentos de polipropileno, químicamente inerte y compatible con cualquier material con que se fabriquen las puertas y ventanas. Los hilos tienen una alta resistencia a la abrasión, al ozono y a los ataques biológicos.

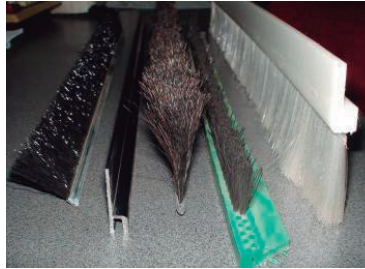



El pelo está texturizado, siliconado (para aumentar su resistencia a la humedad y disminuir el coeficiente de fricción en las correderas), estabilizado a los rayos ultravioletas y a las bruscas variaciones de temperatura.

Los más utilizados se muestran en la Tabla 7.5: Tipos de felpas



Figura 7.9: Tipos de felpas (fuente: catálogo DVP).

Tabla 7.5: Tipos de felpas

Tipo de felpa	Características	
Burletes con cepillo para puertas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dotado de cepillo basculante de nylon resistente al desgaste</li> <li>• Para suelos irregulares</li> <li>• Para desajustes de hasta 15 mm</li> <li>• Duración: 8 años</li> <li>• Material: aluminio lacado</li> <li>• Limpio y fácil de colocar</li> <li>• Resistencia a los rayos ultravioleta</li> <li>• Resistente a la abrasión</li> </ul>	
Burletes de cepillo de silicona	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la fricción entre marcos de corredera.</li> <li>• Seda cubierta de silicona para mayor hermeticidad.</li> <li>• Mayor flexibilidad.</li> <li>• Permite tratamiento anti-UV para extender su durabilidad.</li> </ul>	
Burlete autoadhesivo con cepillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapida aplicación</li> <li>• Adecuado para puertas y ventanas de aluminio sin ranuras, PVC y marcos de madera.</li> <li>• Disponibilidad de colores</li> <li>• Alta resistencia adhesiva.</li> </ul>	
Burletes bajo puerta de monofilamento de propileno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ayuda a prevenir ingreso de luz, aire, insectos o ruidos.</li> <li>• Estructura de aluminio o PVC con monofilamento de polipropileno,</li> <li>• Adecuado para el sellado de puerta exteriores</li> <li>• Efectivo en aislamiento térmico</li> <li>• Limita el ingreso de agua y corriente de aire.</li> <li>• Conformado por adecuado para varias aplicaciones.</li> <li>• Fuerte resistencia vertical.</li> </ul>	



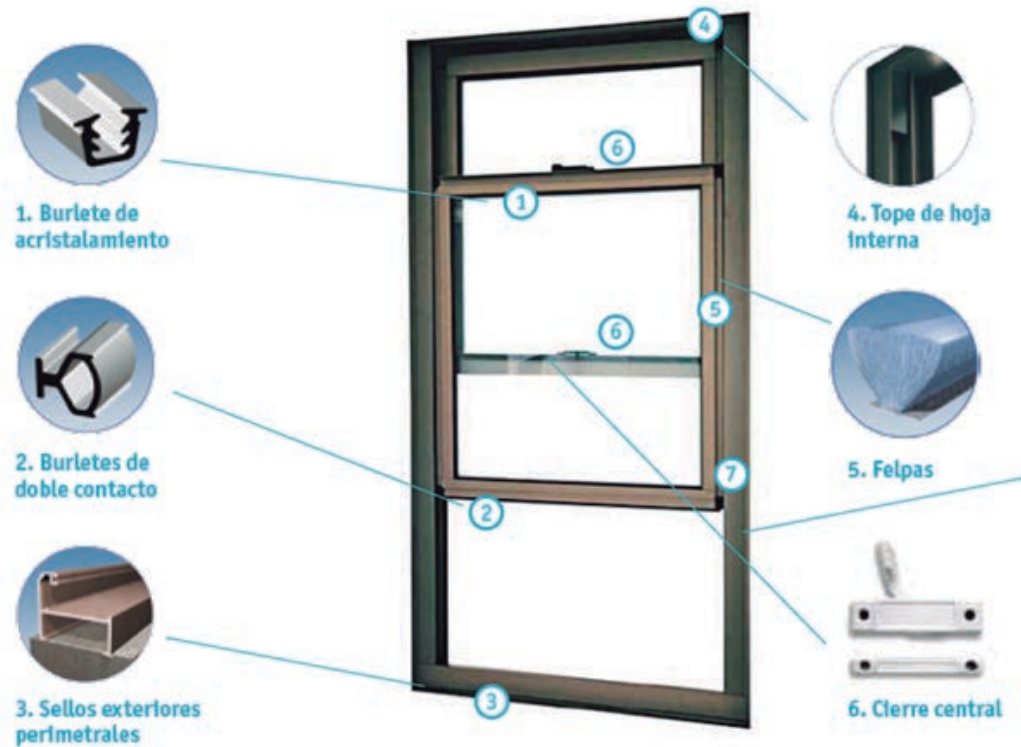
## Topes estancos de correderas

Los topes estancos se deben colocar en los puntos de intersección superior e inferior de las hojas deslizantes de las ventanas correderas.

Debido a la base rígida (aluminio o plástico) con que están contruidos estos topes, ellos son insertados en los alojamientos de los perfiles antes de proceder a la instalación de éstos. Los topes son fijados con silicona u otros elementos de fijación mecánica.

## 7.6.3 SILICONAS

El sellante de silicona posibilita la unión de dos soportes que tengan movimientos de contracción y dilatación diferentes para lo cual debe tener suficiente elasticidad. Los diferentes factores que intervienen en la elección de la silicona son: el tipo de movimiento de la junta, el largo de los elementos a sellar; las condiciones de trabajo de la junta (movimiento, temperatura, humedad), y los sustratos a sellar; dado éstos al tener distintos coeficientes de



*Figura 7.10: Ejemplo de ubicación de los diferentes sellos que son necesarios en la fabricación de una ventana de guillotina. (Fuente: documento técnico N° 28CDT-CCHC y CORFO).*

dilatación deben considerar juntas de ancho, alto y longitud variable, que deben ser calculados antes de elegir la silicona adecuada. Para evitar problemas posteriores a la colocación, es aconsejable seguir las especificaciones y recomendaciones del fabricante del sellador, ya que existen siliconas que no son compatibles con algunos sustratos, como es el caso de la silicona acética con el hormigón.

### **Consideraciones para un sellado adecuado de las juntas entre ventanas y estructura.**

- Compatibilidad físico-químico constructiva del sellante y la combinación de materiales que se pueden especificar entre la ventana y la estructura, tal como: madera, albañilería y hormigón como se explica en tabla 7.6.
- Asegurar la limpieza y preparación de las superficies a sellar.
- El sellado debe realizarse tanto del lado interior como del exterior del marco de la ventana.
- Es importante colocar especial cuidado en el sellado interno, puesto que debe ser resistente a la difusión del vapor de agua.
- El espacio remanente entre el marco de la ventana y el vano deberá rellenarse previamente con un aislante apropiado, por ejemplo, espuma de poliuretano expansible, previo al sellado definitivo de la junta de conexión interior y exterior.
- Para un sellado duradero y eficiente, se deben tener en consideración tanto las dimensiones

como el material de la ventana, así como también el grado de movimiento que debe soportar el sello.

- Evitar sellar sobre pinturas decorativas de fachadas, para asegurar la fijación del sello. Si ya está pintado, se recomienda retirar la pintura del área a sellar con algún abrasivo.
- Se sugiere que el ancho y profundidad mínimos de una junta sea de 6 x 6 mm para poder calafatear adecuadamente.

### **Configuraciones típicas de cordones de sello**

Para asegurar una buena adhesión e impedir la infiltración de agua y aire, se debe calcular el cordón de dimensiones adecuadas que permita el sellado perimetral de las ventanas según las especificaciones entregadas por el fabricante de la silicona.

Siempre es recomendable chequear con los proveedores de los sellantes los catálogos y con sus Departamentos Técnicos aspectos como:

- Verificar la adhesión del sellador a la pintura.
- Verificar la adhesión del sellador al impregnante.
- Capacidad de movimiento de la silicona con cura neutra.
- Calidad de adhesión de la cinta de doble contacto.

### Clasificación de la silicona según su desempeño.

Una vez definido el tipo de sellante adecuado según sean los sustratos de la junta, tabla 7.6, es posible pasar a las condiciones técnicas exigibles según sea el proyecto.

Tabla 7.7: Desempeño y vida útil de las siliconas

Desempeño	Capacidad de movimiento	Vida útil
Bajo	+/-10%	Menor a 5 años
Medio	+/-20 a 25%	5 a 10 años
Alto	+/-50%	Mayor a 10 años

**Capacidad de movimiento:** Es el porcentaje de deformación que una junta acepta en contracción o en dilatación. Se expresa en +/- del porcentaje de la dimensión original de la junta.

Tipos de junta	Tipos de sello				
	Silicona Neutra	Silicona acética	Silicona estructural	Sellador acrílico	Espuma poliuretano
Perfiles de madera en vanos de madera, hormigón o albañilería.	X			X	X
Perfiles de aluminio en vanos de albañilería, hormigón o madera.	X				X
Perfiles de fierro (pintado) en vanos de albañilería, hormigón, o madera.	X				X
Perfiles de aluminio en uniones con vidrios y materiales lisos.		X			
Policarbonatos o acrílicos.	X				
Termopanel para viviendas.	X				
Termopanel con exposición directa a rayos UV.			X		
Sello en ambientes húmedos.	X				
Rellenos de muros, vanos y otras cavidades.					

Tabla 7.6: Compatibilidad físico-químico constructivo, del sellante y la combinación de materiales.

Fuente: Elaboración propia en base a información extraída de: INDALUM Building Systems.

**Vida útil:** Durabilidad del sellante garantizada por el fabricante.

En la tabla 7.7 se muestra que las soluciones de menor vida útil, son las que entregan menores prestaciones, por lo que, para proyectos que requieran una capacidad de movimiento mayor y/o mayor durabilidad, se recomienda evitar el uso de aquellos de menor vida útil.

## 7.6.4 SELLOS PARA REACONDICIONAMIENTO DE PUERTAS Y VENTANAS DE UNA VIVIENDA

Un porcentaje importante de las pérdidas de calor de las edificaciones provienen de las puertas y ventanas. Los sellos más utilizados para el reacondicionamiento son los burletes, felpas y siliconas que permiten disminuir fuertemente la brecha entre la puerta y el umbral para detener la filtración / exfiltración del aire.

### **Recomendaciones generales antes de instalar los sellos**

El método de instalación de estos sellos depende del tipo elegido, pero hay algunas reglas generales que deben aplicarse cuando se instalan como:

- Asegurar de que la superficie de instalación esté limpia, seca, y a una temperatura superior a  $-7^{\circ}\text{C}$ .
- Revisar las medidas para el área de instalación dos veces antes de cortar los burletes.
- Ajustar los burletes perfectamente en la puerta de modo que cuando la puerta se cierra el material se comprime.

### **Elección del sello adecuado para puertas y ventanas.**

Hay una gran variedad de tipos de sellos disponibles en el mercado de fácil acceso, para que el usuario de la vivienda los instale personalmente sin mayor dificultad. Su elección depende en gran medida, para el caso de las puertas, del tipo de pavimento, la huelga que se ha destinado en la parte inferior del peinazo, del tipo de las ventanas (correderas, proyectante, de abatir, oscilo-batiente o de guillotina) y de la mantención que se ha llevado a cabo del sello de relleno entre el marco y el rasgo de la puerta o ventana.

Tabla 7.8: tipos de sellos para ventanas abatibles y correderas.

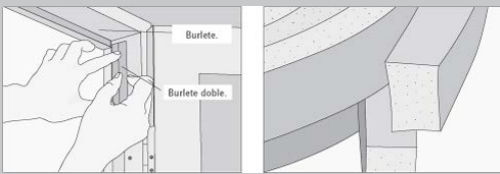
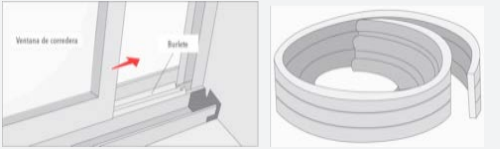







Sello	Descripción	Aplicación
Espuma	Sellos autoadhesivos, adecuados para cavidades pequeñas y medianas de entre 1 y 4mm de espesor; utilizadas para ventanas de madera abatibles. Son muy livianos y al cerrarse no golpean el marco, son flexibles y suaves. Los hay de espuma más densa, tira autoadhesiva doble que se puede separar; tiene una densidad mayor que la espuma clásica por lo que es más resistente y pueden tener una vida útil de hasta 5 años. Fácil instalación del burlete de espuma, según instrucciones que acompaña el sobre con el producto adquirido en una tienda de venta de sellos especializados.	
Caucho	Son cordones autoadhesivos, más resistentes, ideales para ventanas abatibles más pesadas y para las correderas. Son óptimos para cavidades medianas y grandes de entre 2 y 5mm. Este material resiste la intemperie y la acción de los rayos UV. Pueden durar hasta 8 años. Estos burletes tienen distintas formas que determinan el uso que se les recomienda.	
Perfil P	Es el burlete que sella rendijas entre 2 y 5mm. Se comercializa en tiras triples que se pueden separar según el ancho a cubrir. Cuando se instalan en los costados de las ventanas de correderas logran un cierre de la ventana más hermético.	
Perfil E	Tiene una muy buena resistencia. Se comercializa en tiras dobles que se pueden separar según el ancho a cubrir. Por su forma es el indicado para pegar en los rieles y conseguir que la ventana corredera se deslice sin problemas.	
Silicona	Este material está indicado para cubrir cavidades de entre 1 y 7mm, y ofrece una buena resistencia y aislamiento. Tiene una durabilidad de 10 años.	
Cepillo	Burlete que se adhiere a la hoja de la ventana corredera para mejorar el sellado de éstas. Tienen una vida útil de hasta 2 años.	

Tabla 7.9: tipos de sellos para puertas.

Sello	Descripción	Aplicación
Basculante	El listón del burlete va atornillado a la puerta y solo toca el suelo cuando ésta se cierra, lo que permite que el cerámico, parqué u otra solución de pavimento no se raye.	
Adhesivo	De muy fácil instalación. Se adhieren a la puerta por lo que no hay hacer agujeros.	
Doble rollo	Se colocan entre el espacio entre el suelo y la puerta sin ningún tipo de adhesivo o tornillo por lo que lo se puede sacar y poner según necesidades. Los dos rollos situados a ambos lados de la puerta ejercen de barrera ante la posible entrada de aire y humedad. Está compuesta por una lámina flexible de PVC.	

### Sellos para puertas ubicadas en los muros perimetrales de la vivienda

Se deben colocar burletes en todas las puertas que dan al exterior; al igual que las puertas entre los espacios térmicos y no térmicos. La colocación de burletes en puertas está diseñada para la base de la puerta o peinazo.

Para instalar los burletes en la base de la puerta posiblemente se requiera desinstalar la puerta, por lo que se pueden instalar los burletes en el umbral de la puerta, en la parte inferior, o en ambos lugares.

## 7.7 SELLOS MULTIPROPÓSITOS

Son aquellos productos que pueden ser aplicados para mantener la continuidad de la membrana de estanquidad al aire, actuando como sellos de adherencia, relleno o laminar, tanto al interior o exterior de una edificación. De esta manera, un mismo producto puede ser utilizado de distinta forma en lugares distintos de la edificación para sobrellevar solicitaciones distintas. La popularidad de estos sellos se debe a su versatilidad y variedad, que dependiendo de su composición, características, propiedades, desempeños, comportamientos, vida útil, modos de aplicación, rendimiento, costos

y compatibilidad con los sustratos o materiales/elementos.

Al igual que los otros sellos, la limpieza y acondicionamiento de las superficies donde se aplicará es fundamental para dictaminar su eficacia y utilidad a la estanquidad del aire, por lo que se recomienda prestar atención a las especificaciones y recomendaciones del fabricante antes de la elección y aplicación del producto.

Es difícil establecer una categorización de sellantes dado que muchas veces un mismo producto puede tener distinto desempeño según aplicación, sustrato y/o función a cumplir. Por ejemplo, una silicona

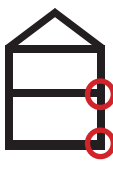





MATERIALIDAD						
	ENCUENTRO PISO - SOBREDIMIENTO-MURO LOSA/ENTREPISO-MURO	ENCUENTRO CIELO-MURO-CUBIERTA	ENCUENTRO VENTANA-MARCO-MURO	ENCUENTRO PUERTA-MARCO-MURO	CANALIZACIONES POR INSTALACIONES	PERFORACIONES POR INFIL- TRACIONES
HORMIGÓN	1A	1B	1C	1D	E	F
ALBAÑILERÍA	2A	2B	2C	2D		
LIVIANA (MADERA-ACERO)	3A	3B	3C	3D		

Tabla 7.9: Singularidades tipo, según clase de construcción de la OGUC.

---

podría ser utilizada en una instancia, como sello de adhesión lineal entre materiales, y en otra instancia, como relleno puntual.

Por lo general son de alta resistencia y de uso tanto al interior como al exterior de la edificación, y son ideales para unir y sellar una gran variedad de juntas y materiales de construcción. En la mayoría de los casos se aplican fácilmente y proporcionan un sello resistente al calor y al agua.

#### Aplicaciones principales

- Ensamblados de madera a madera
- Juntas de metal a madera
- Juntas de madera a hormigón/albañilería/piedra
- Uniones de esquina
- Paneles prefabricados
- Instalaciones de áreas húmedas

Es importante leer las recomendaciones del fabricante dado que un producto puede ser multiuso en función pero no necesariamente en desempeño. Por ejemplo una silicona multiuso puede sellar al vapor de agua pero no al agua, o actuar muy bien en un sustrato, pero no en otro.

Para orientar en la elección de sellos se presenta una tabla resumen de sellos y sus aplicaciones, según la clasificación definida en la tabla 7.8.

En la tabla 7.10 se presentan las aplicaciones recomendadas de sellos según clase de construcción OGUC y ubicación de la singularidad. Se utiliza un código de colores para identificar el tipo de sello a utilizar.



**Tabla 7.10: Aplicaciones recomendadas de sellos.**

I. Hormigón							
I.A	I.B	I.C	I.D	I.E	I.F		
1	En juntas o grietas de hasta 5cm.	8 Con mortero para unión con membrana de techumbre.	7 Entre rasgo y marco.	7 Entre rasgo y marco.	2 Entre sustrato y material del canalización.	4	Entre sustrato y material del ducto.
2	En juntas o grietas de hasta 1cm.	9 Entre sustrato y membrana de techumbre.	1 Entre rasgo y marco.	1 Entre rasgo y marco.	5 Entre sustrato y material del canalización.	9	Entre sustrato y ducto, temperaturas del ducto.
4	En juntas o grietas.	1 En juntas o grietas de muro hasta 5cm y membrana de techumbre.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre rasgo y marco.	9 Entre sustrato y material del canalización.	1	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 80°C.
1	En juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro hasta 1cm y membrana de techumbre.	4 Entre rasgo y marco.	4 Entre rasgo y marco.	1 Entre sustrato y material del canalización.	2	Entre sustrato y ducto, temperaturas del ducto.
2	En juntas y grietas.	4 En juntas o grietas de muro y membrana de techumbre.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre sustrato y material del canalización.	4	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 100°C.
3	En juntas y grietas.	1 En juntas o grietas de muro y/o losa de hormigón.	3 Entre rasgo y marco.	3 Entre rasgo y marco.	4 Entre sustrato y material del canalización.	2	Entre sustrato y ducto, temperatura del ducto.
1	En juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro y techumbre de estructura liviana /losa de hormigón.	1 Entre rasgo y marco.	1 Entre rasgo y marco.	2 Aplicación entre sustrato y material del ducto.	3	Entre sustrato y ducto, temperatura del ducto.
2	En juntas y grietas.	3 En juntas o grietas de muro y/o losa de hormigón.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre rasgo y marco.	3 Aplicación entre sustrato y material del canalización.	1	Entre sustrato y ducto, temperatura del ducto.
3	En juntas y grietas horizontales.	1 En juntas o grietas de muro y/o losa de hormigón.	1 En fabrica, entre perfiles de metal, madera y/o PVC de las ventanas corredera / guillotina y el marco.	1 En fabrica. Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC de las puertas corredera y el marco.	4 Aplicación entre sustrato y material del canalización.	4	Entre sustrato y material del ducto.
4	En juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro y techumbre de estructura liviana /losa de hormigón.	2 En fabrica, entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	2 En fabrica. Sella entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	1 Aplicación entre sustrato y material del canalización.	1	Entre sustrato y material del ducto, temperatura del ducto.
1	En juntas y grietas.	4 En juntas o grietas de muro y techumbre de estructura liviana /losa de hormigón.	4 Mecanismo complementarios a sellos de v. correderas / guillotina.	3 Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC y suelo.	4 Aplicación entre sustrato y material del canalización.		
		1 En juntas o grietas de muro y techumbre de estructura liviana /losa de hormigón.	5 In-situ, entre marco y hoja de v. abatibles, proyectantes y /o correderas.	4 Complementario a sellos de puertas correderas.	1 Entre sustrato y material del canalización.		
			6 In-situ, sella entre marco y hoja de v. abatibles, proyectantes y /o correderas.	5 In-situ, sella entre marco y hoja de puerta.			
			7 Entre rasgo y marco.	6 In-situ, sella entre marco y hoja de puerta.			
			1 Entre rasgo y marco.	7 Entre rasgo y marco.			
				1 Entre rasgo y marco.			
1	Simple	2 Mastic o vinílico	3 Papel	4 Metálica	5 Americana o textil	6	Doble contacto
Cintas							
Por Adhesión							
1	Acrílico plasto-elástico	2 Latex Acrílico	3 Epóxico semirrigido	4 Morteros			
Otros							
Por Relleno							

## 2. Albañilería

2.A	2.B	2.C	2.D	2.E	2.F
1 En juntas o grietas de hasta 5cm.	8 Con mortero entre sustrato y membrana de techumbre..	7 Entre rasgo y marco..	7 Entre rasgo y marco.	2 Entre sustrato y ducto	4 Entre sustrato y ducto
2 En juntas o grietas de hasta 1cm.	9 Con mortero entre sustrato y membrana de techumbre.	1 Entre rasgo y marco..	1 Entre rasgo y marco..	5 Entre sustrato y ducto	9 Entre sustrato y ducto, considerar temperaturas.
4 En juntas o grietas.	1 En juntas o grietas de muro hasta 5cm y membrana de techumbre..	2 Entre rasgo y marco..	2 Entre rasgo y marco.	9 Aplicación entre sustrato y material del ducto.	1 Entre sustrato y ducto, temperatura hasta 80 °C.
2 Aplicación en juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro de hasta 1cm y membrana de techumbre.	4 Entre rasgo y marco..	4 Entre rasgo y marco..	1 Entre sustrato y ducto.	2 Entre sustrato y ducto, considerar temperaturas.
3 Aplicación en juntas y grietas.	4 En juntas o grietas de muro y membrana de techumbre.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre rasgo y marco.	2 Entre sustrato y material del ducto.	4 Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 100 °C.
1 Aplicación en juntas y grietas.	1 En juntas o grietas de muro y losa de h.ormigón	3 Entre rasgo y marco..	3 Entre rasgo y marco..	4 Entre sustrato y ducto.	2 Entre sustrato y ducto, considerar temperaturas
2 Aplicación en juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	1 Entre rasgo y marco..	1 Entre rasgo y marco.	2 Entre sustrato y ducto.	3 Entre sustrato y ducto, considerar temperaturas
3 Aplicación en juntas y grietas horizontales.	3 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	2 Entre rasgo y marco..	2 Entre rasgo y marco..	3 Entre sustrato y ducto.	1 Entre sustrato y ducto, considerar temperaturas.
4 Aplicación en juntas y grietas.	1 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	1 En fabrica.Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC de las v. corredera / guillotina y el marco.	1 En fabrica. Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC de p.corredera y el marco.	1 Entre sustrato y ducto.	4 Entre sustrato y ducto
1 Aplicación en juntas y grietas.	2 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	2 En fabrica. Entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	2 En fabrica. Sella entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	2 Entre sustrato y ducto	1 Entre sustrato y ducto, considerar temperatura
	4 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	4 Complementarios a sellos de v.correderas / guillotina.	3 En fabrica o in-situ. Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC y suelo.	4 Entre sustrato y ducto	
	1 En juntas o grietas de muro y losa de hormigón.	5 In-situ, sella entre marco y hoja de v. abatibles, proyectantes y /o correderas.	4 Complementarios a sellos de puertas correderas.	1 Entre sustrato y ducto	
		6 In-situ, sella entre marco y hoja de v. abatibles, proyectantes y /o correderas.	5 In-situ. Sella entre marco y hoja de puerta.		
		7 Entre rasgo y marco.	6 In-situ, sella entre marco y hoja de puerta.		
		1 Entre rasgo y marco.	7 Entre rasgo y marco.		
			1 Entre rasgo y marco.		
7	8	9		1	2
De espuma	Tipo rejilla	VHB		Acrílico	Poliuretano
Cintas				Siliconas	
2	3		1	2	3
Fibras de polipropileno	Fieltro Asfaltado		Felpas	Burletes	Burletes de Cepillo
			Otros		
			Por Felpas, Burletes y Topes Estanto		

### 3. Estructuras livianas

3.A		3.B		3.C		3.D		3.E		3.F	
6	Entre membrana asfáltica bajo solera y membrana.	1	Entre membranas en muro perimetral y en techumbre.	1	Entre membrana en muro perimetral y rasgo.	1	Entre membrana en muro y rasgo.	1	Entre sustrato/membrana y ducto.	4	Entre sustrato/membrana y ducto.
9	Entre membrana en muro y plataforma 1er piso y y entre plataforma de entrepiso.	2	Entre membranas en muro perimetral y en techumbre.	2	Entre membrana en muro perimetral y rasgo.	2	Entre membrana en muro y rasgo.	2	Entre sustrato/membrana y ducto.	7	Entre sustrato/membrana y ducto.
1	Entre membrana asfáltica y membra en muro perimetral.	5	Entre membrana en muro perimetral y en techumbre.	5	Entre membrana en muro perimetral y rasgo.	5	Entre rasgo y marco.	5	Entre membrana de muro y ducto.	9	Entre membrana muro y ducto, considerar temperaturas para selección de cinta.
2	Entre membrana asfáltica bajo solera y membrana.	6	Entre membrana en muro perimetral y en techumbre.	7	Entre rasgo y marco.	7	Entre rasgo y marco.	7	Entre membrana de muro y ducto.	1	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 80°C.
3	Entre membrana asfáltica bajo solera inferior y membrana en muro perimetral.	9	En unión muro perimetral y entramado de techumbre.	1	Entre rasgo y marco.	1	Entre rasgo y marco.	9	Entre membrana de muro y ducto.	2	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 80°C.
4	Entre membrana asfáltica bajo solera y membrana.	1	Entre membrana en muro y membrana en techumbre.	2	Entre rasgo y marco.	2	Entre rasgo y marco.	1	Entre membrana de muro y ducto.	3	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 80°C.
2	En juntas.	2	Entre membrana en muro y membrana en techumbre.	3	Entre rasgo y marco.	3	Entre rasgo y marco.	2	Entre membrana de muro y ducto.	4	Entre sustrato y ducto, temperaturas hasta 80°C.
3	En juntas.	3	Entre membrana en muro y membrana en techumbre.	4	Entre rasgo y marco.	4	Entre rasgo y marco.	3	Entre membrana de muro y ducto.	2	Entre sustrato y ducto, considerando temperatura.
1	En juntas y grietas.	4	Entre membrana en muro y membrana en techumbre.	2	Entre rasgo y marco.	2	Entre rasgo y marco.	4	Entre membrana muro y ducto.	3	Entre sustrato y ducto, considerando temperatura.
2	En juntas y grietas.	2	En juntas de muro y techumbre.	3	Entre rasgo y marco.	3	Entre rasgo y marco.	2	Entre sustrato y ducto.	1	Entre sustrato y ducto, considerando temperatura.
3	En juntas y grietas horizontales.	3	En juntas de muro y techumbre.	1	Entre rasgo y marco.	1	Entre rasgo y marco.	3	Entre sustrato y ducto.	1	Al ser intervenidas asegurar continuidad, considerando temperatura del ducto.
1	En paramentos interiores de manera continua.	1	En juntas o grietas de muro y techumbre.	2	Entre rasgo y marco.	2	Entre rasgo y marco.	1	Entre sustrato y ducto.	2	Al ser intervenidas asegurar continuidad, considerando temperatura del ducto.
2	En paramentos interiores de manera continua.	2	En juntas o grietas de muro y techumbre.	1	En fabrica. Sella perfiles de metal, madera y/o PVC de v. corredera/ guillotina y marco.	1	En fabrica. Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC de las p. corredera y el marco.	2	Entre sustrato y ducto.	3	Al ser intervenidas asegurar continuidad, considerando temperatura del ducto.
3	En paramentos interiores de manera continua.	2	En paramentos exteriores como barrera de humedad y viento de manera continua.	2	En fabrica. Sella entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	2	En fabrica. Sella entre vidrio y perfiles de metal, madera y/o PVC.	1	Al ser intervenidas deben ser reparadas para su continuidad.	1	Entre sustrato y ducto, considerando temperatura del ducto.
1	En juntas y grietas.	3	En paramentos exteriores como barrera de humedad y viento de manera continua	4	Complementario a sellos de ventanas correderas / guillotina.	3	En fabrica o in-situ, Sella entre perfiles de metal, madera y/o PVC y suelo.	2	Al ser intervenidas deben ser reparadas para su continuidad.		
				5	In-situ, sella marco y hoja de ventana abatibles, proyectantes y /o correderas.	4	Mecanismo complementarios a sellos de puertas correderas.	3	Al ser intervenidas deben ser reparadas para su continuidad.		
				6	In-situ, sella marco y hoja de ventana abatibles, proyectantes y /o correderas.	5	In-situ, sella entre marco y hoja de puerta.	1	Aplicación entre sustrato y material del ducto.		
				7	Entre rasgo y marco.	6	In-situ, sella entre marco y hoja de puerta.				
				1	Entre rasgo y marco.	7	Entre rasgo y marco.				
						1	Entre rasgo y marco.				
3	Acetil	4	Neutra			1	Termoplásticos	2	Termoestable	3	Elastomérico
							Poliuretano				
							Por Relleno				
4	Topes Estanco	5	Espumas	6	Caucho	7	Silicona			1	Multipropósito
											Otros

---

## BIBLIOGRAFÍA:

Achival, CDT & CCHC (2012). Recomendaciones Técnicas para la Especificación de Ventanas, *Documento Técnico N°28* Corporación de Desarrollo Tecnológico Santiago Chile CDT.

BASF TheChemicalCompany. (2012). *Manual Técnico de Productos Químicos para la Construcción*, Santiago, Chile.

Building Performance Institute, Inc. (2010). *Residential Building Envelope Whole House Air Leakage Control Installer Certification Scheme Handbook*.

Canada Mortgage and Housing Corporation. (2013). *Air Leakage Control in Multi-Unit Residential Buildings*.

Centro de Desarrollo Tecnológico. (2013). *Compendio Técnico n°20, Aislantes e Impermeabilizantes*.

Comunidad de Madrid y Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid. (2011). *Guía del Estándar Passivhaus*.

CSTC Contact. (2012). *Étanchéité a L'air, Edition du Centre Scientifique et Technique de la Construction*.

Dow Corning. (2012) *Manual de sellado de estanqueidad para la construcción*, Dow Corning.

European HVAC Journal, volume 50 (2013), Special Issue on Airtightness.

Fritz, A..(2004). *La construcción de viviendas en madera*. Santiago, Chile: Berdichewsky - Aranda, CORMA.

Fritz, A. & Ubilla, M.. (2012). *Manual de diseño - Construcción, Montaje y Aplicación de Envoltura para la Vivienda de Madera*. Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile.

INDALUM. (2011). *Catálogo de productos IBS, IndalumBuildingSystems*, 3° Edición, Santiago, Chile.

- 
- Innova Chile. (2005). *Guía técnica para la prevención de patologías en las viviendas sociales*. Santiago, Chile.
- Maloney, J. (1993). *Advanced Air Sealing: Simple Techniques for Air Leakage Control in Residential Buildings*.
- Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency. (2007). *Air-Leakage Control*.
- Asociación Chilena del vidrio y el aluminio. (2007). *Manual de ventanas de aluminio*. Santiago Chile.
- Thallon, R. (2000). *Graphic Guide to Frame Construction, Detail for Builder and Designer*. Canada, The Taunton Press.
- Spence, W. (2003). *Residencial Framing*. Nueva York, E.E.U.U. Sterling Publishing Company Inc.
- The Department of the Environment, Heritage and Local Government of Ireland, (2008), *Limiting Thermal Bridging and Air Infiltration, Guide to Acceptable Construction Details*
- US Department of Energy. (2011). *Building Energy Code Resource Guide Air Leakage Guide*.

# CAPITULO 8: SOLUCIONES PARA LA HERMETICIDAD

| CITEC UBB  
| DECON UC



## 8.1 ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS

*Autor: Maureen Trebilcock K.  
Colaboradores: Jorge Kuhn B.  
Miguel Angel Valenzuela V.  
CITEC UBB*

Este capítulo presenta soluciones arquitectónicas y constructivas que apuntan a mejorar la hermeticidad al aire de las edificaciones, y de esta manera controlar las pérdidas de calor por infiltraciones de aire no deseadas. Exhibe soluciones de manera gráfica que ejemplifican los principales criterios que los arquitectos y constructores debiesen tener en consideración al momento de diseñar y construir edificaciones más herméticas.

El principal criterio se centra en diseñar y construir una envolvente hermética y continua, que se grafica usualmente a través del “método de la línea roja” que plantea que es posible delinear la envolvente con un lápiz rojo, sin generar ningún salto o discontinuidad en cada sección o corte del edificio (Figura 8.1). Este criterio enfatiza la idea de que la hermeticidad es un problema de diseño, ya que sólo será posible construir una envolvente hermética si ha sido apropiadamente diseñada y detallada.

El proceso de diseño arquitectónico puede incorporar estrategias para la hermeticidad no sólo en la etapa de desarrollo de detalles constructivos de la envolvente, sino que también es posible idear diversas estrategias arquitectónicas durante las primeras etapas del proceso de diseño, que apunten a disminuir las pérdidas de calor por infiltraciones de aire.

Como se ha visto en capítulos anteriores, los puntos más débiles de la envolvente lo constituyen las puertas, por lo que la mayoría de las estrategias arquitectónicas apuntan a proteger los accesos del viento y reforzarlos a través de dobles puertas. También es eficiente la generación de espacios intermedios entre interior y exterior que actúan como amortiguadores de los flujos de aire y las barreras al viento, que disminuyen el efecto negativo de éste sobre la envolvente.



Figura 8.1: Método de la línea roja.



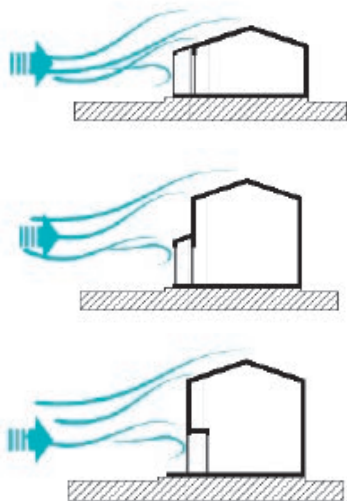


Figura 8.2: Diagramas de chifloneras.

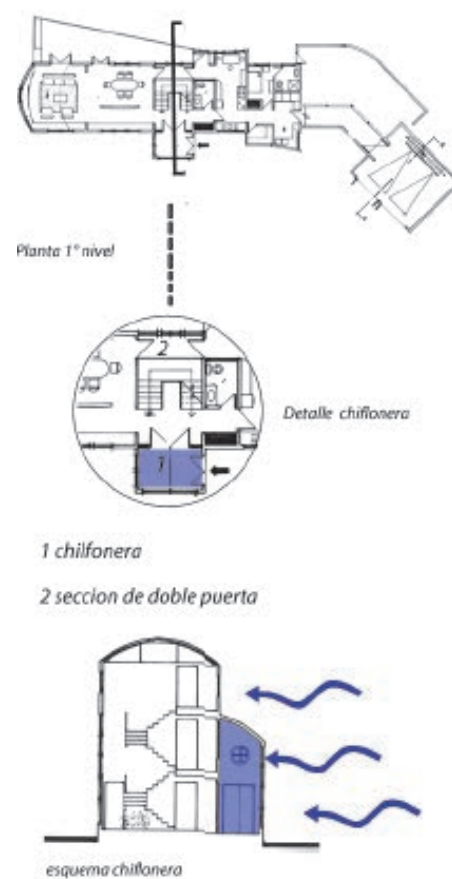


Figura 8.3: Chiflonera en casa en Puerto Varas (Arqto. Edward Rojas y Matzal Vukic).

## CHIFLONERAS

Las chifloneras, también conocidas como mamparas, son espacios de acceso protegidos a través de dobles puertas. Pueden estar integradas dentro de la volumetría de la edificación, o bien, poseer una volumetría propia articulada a la principal. Es importante considerar que es más efectivo que las puertas de acceso no estén alineadas, de manera de disminuir el efecto del viento, tal como se ilustra en el ejemplo de la figura 8.3.

## PROTECCIÓN DE ACCESO

Es aconsejable estudiar la dirección del viento predominante de invierno con el objetivo de evitar en esa dirección, y de esta manera controlar infiltraciones de aire y de aguas lluvias. Como alternativa, es posible disponer de una pantalla o

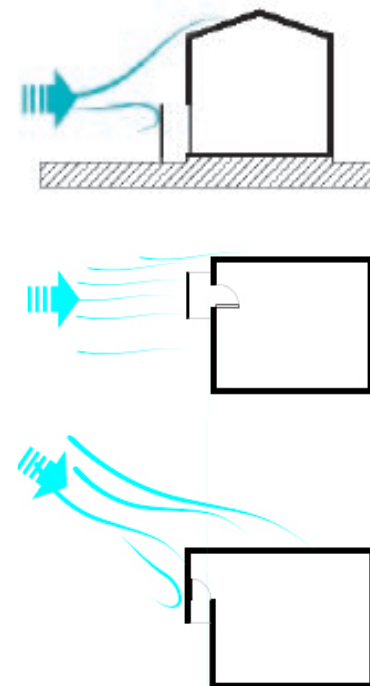
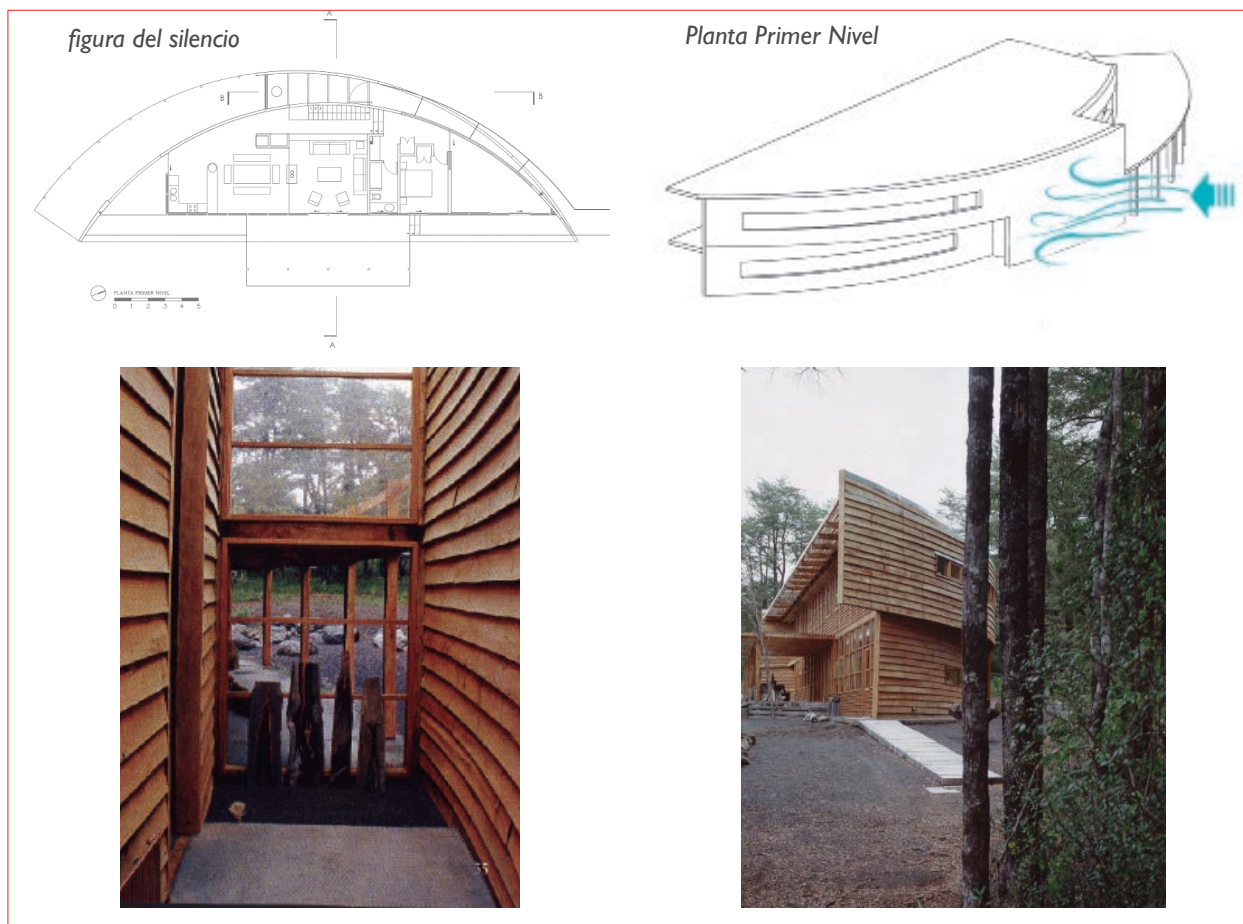
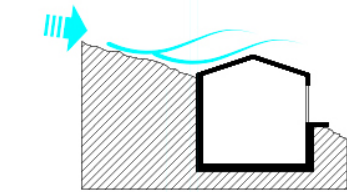


Figura 8.4: Protecciones de acceso.

Figura 8.5: Casa del silencio en la Araucanía (arqto. Cazú Zegers).



muro exterior que proteja el acceso del efecto negativo del viento, tal como se observa en los diagramas de la figura 8.4 y en el ejemplo de la vivienda de la figura 8.5.

## PROTECCIÓN AL VIENTO

En localidades frías y ventosas, como las que encontramos en el sur de Chile, es posible que sea

necesario proteger toda la edificación del efecto del viento, con el objetivo de disminuir las infiltraciones de aire no solo por las puertas, sino también por ventanas y singularidades de la envolvente.

Las estrategias de protección al viento pueden tomar diferentes formas, desde enterrar o semi-enterrar la edificación hasta la disposición de barreras naturales, tal como árboles o arbustos, o artificiales, tal como muros exteriores (Figura 8.6). El Hotel Tierra

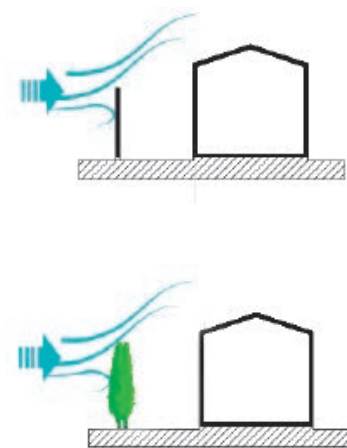
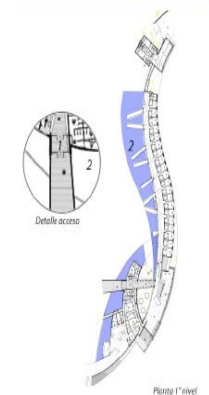


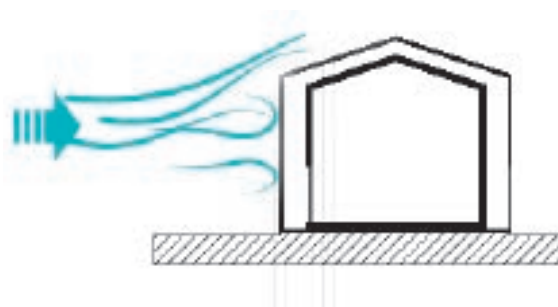
Figura 8.6: Estrategias de protección al viento.



Figura 8.7: Hotel Tierra Patagonia en Torres del Paine (arqto. Cazú Zegers).



Patagonia en Torres del Paine, de la arquitecta Cazú Zegers, enfrenta los fuertes vientos predominantes a través de un volumen semi-enterrado y de forma aerodinámica. Posee espacios intermedios entre exterior e interior como transición a los cambios de temperatura.



## DOBLE PIEL

La generación de una piel vidriada sobre la envolvente de la edificación permite controlar el efecto del viento sobre la piel interior y además generar un espacio intermedio entre interior y exterior, que actúa como amortiguador climático. Esta estrategia debe ser cuidadosamente diseñada ya que tiene altos riesgos de sobrecalentamiento en algunos climas, por lo que debe considerarse una apropiada ventilación del espacio intermedio.

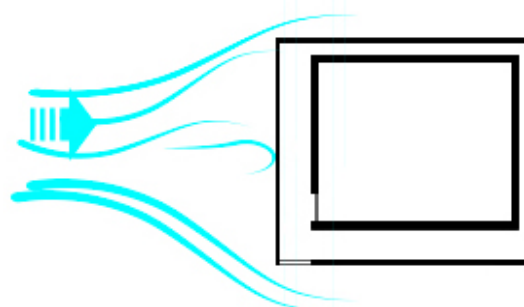


Figura 8.8: Diagramas de doble piel.

---

## 8.2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE

*Autores: Cristián Muñoz V.  
Citec UBB  
Alexander Fritz D.  
John Fookes H.  
Decon UC*

Como se ha visto en los diferentes capítulos de este manual, son diversas las fuentes de fugas de aire o singularidades que existen en una edificación, las que se centran principalmente en los elementos constructivos y en los encuentros de la envolvente.

Es así como, al momento de diseñar una envolvente continua y hermética, debemos tener presente la materialidad del sistema constructivo y la tipología de la edificación, ya que en cierta forma, estos dos parámetros van a condicionar la mayor o menor cantidad de singularidades a las cuales debemos poner atención e intentar resolver.

Tal como se detalla en el Capítulo 5, los sistemas constructivos pueden ser agrupados por su materialidad de acuerdo a tres categorías: pesados, mixtos y livianos; lo que define su grado de

hermeticidad de acuerdo a su propia naturaleza. No obstante lo anterior, se pueden desarrollar distintas estrategias de diseño orientadas a homogeneizar y/o mejorar su desempeño desde el punto de vista de la hermeticidad al aire, las que se centran en la disposición de elementos de sello en los encuentros, sobre todo cuando se producen cambios de materialidad, o bien, en colocar barreras al aire, ya sea por el interior o el exterior, según sea el caso.

En tabla 8.1 se muestran las singularidades asociadas a las clases de construcción que define la OGUC en función de la materialidad y el tipo de estructura.

Este sub-capítulo presenta soluciones y/o estrategias de sellado para resolver distintos tipos de singularidades o encuentros constructivos a través de 20 fichas técnicas que detallan encuentros tales como:

sobrecimiento-muro; entrepiso-muro; techumbre-muro; esquina de muros en “L”; muro envolvente-muro divisorio en “T”; etc., con el objetivo de entregar información técnica que permita mejorar el nivel de hermeticidad en una edificación.

En las fichas, se hace una descripción general del encuentro o singularidad, se muestran los detalles constructivos y las especificaciones técnicas correspondientes, entregando a su vez recomendaciones o consideraciones técnicas que se deben tener presente al momento de diseñar y controlar un proyecto de edificación.

Las fichas son el resultado de la experiencia desarrollada dentro del contexto del proyecto

Fondef D10 I 1025 y la experiencia profesional de los autores. Se han desarrollado propuestas integrales que atienden tanto a problemáticas de hermeticidad como a problemáticas térmicas, las que pueden estar sujetas a adaptación según su localización. Por ello, estas estrategias pretenden orientar la manera de abordar las soluciones constructivas en etapa de diseño y obra, siempre atento a las condiciones locales que pueden implicar agregar o eliminar algunos materiales que las conforman.

A continuación se presentan las fichas con las soluciones propuestas, según el tipo de singularidad y la materialidad presente en los distintos elementos constructivos.

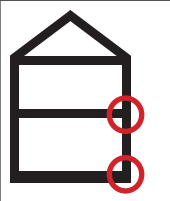
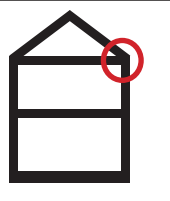
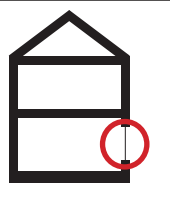
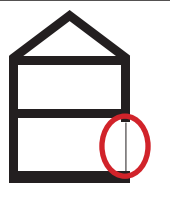
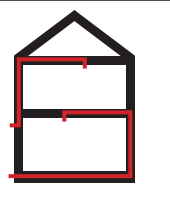
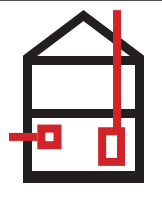
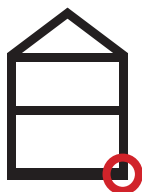
MATERIALIDAD						
	ENCUENTRO PISO - SOBRECIMIENTO-MURO LOSA/ENTREPISO-MURO	ENCUENTRO CIELO-MURO-CUBIERTA	ENCUENTRO VENTANA-MARCO-MURO	ENCUENTRO PUERTA-MARCO-MURO	CANALIZACIONES POR INSTALACIONES	PERFORACIONES POR INFILTRACIONES
HORMIGÓN	1A	1B	1C	1D	E	F
ALBAÑILERÍA	2A	2B	2C	2D		
LIVIANA (MADERA-ACERO)	3A	3B	3C	3D		

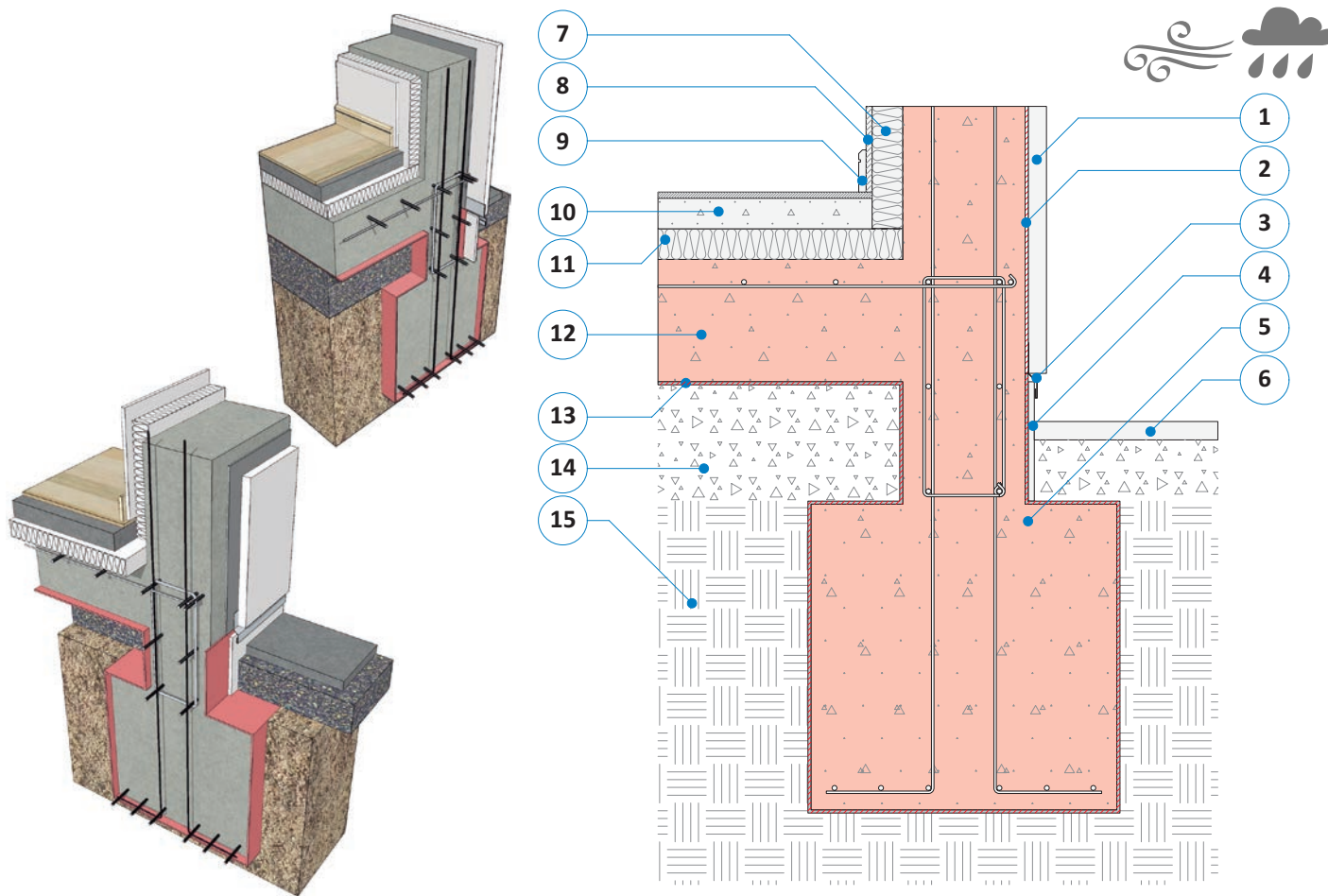
Tabla 8.1: Singularidades tipo, según clase de construcción de la OGUC.



1A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de hormigón armado. Sistema de tabiquería por paramento interior. Sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica entre paramento interior y sobre plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

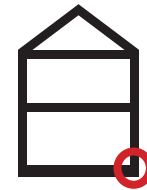
**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



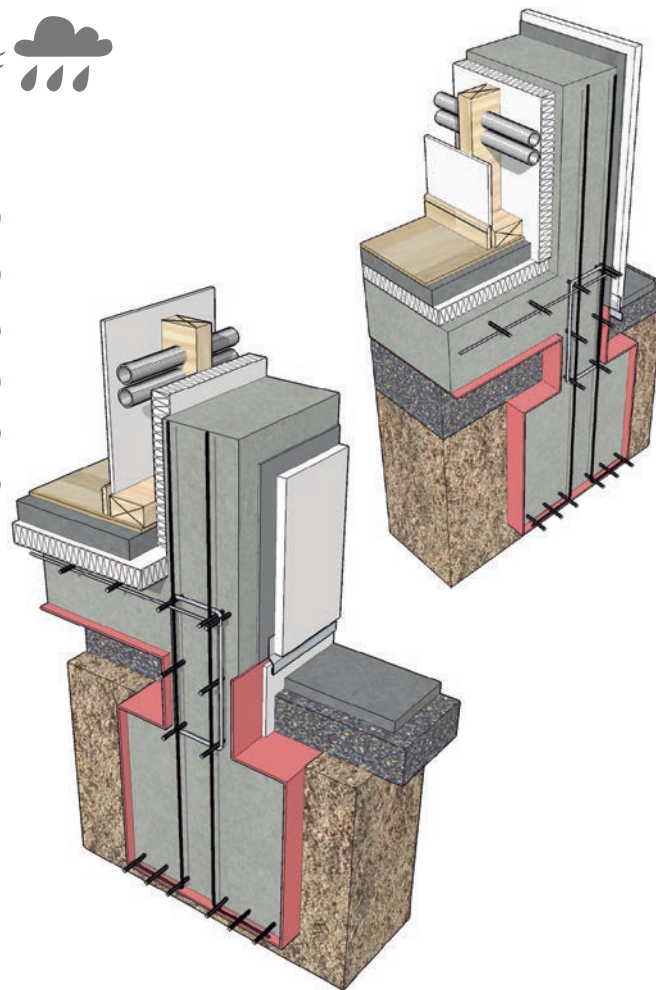
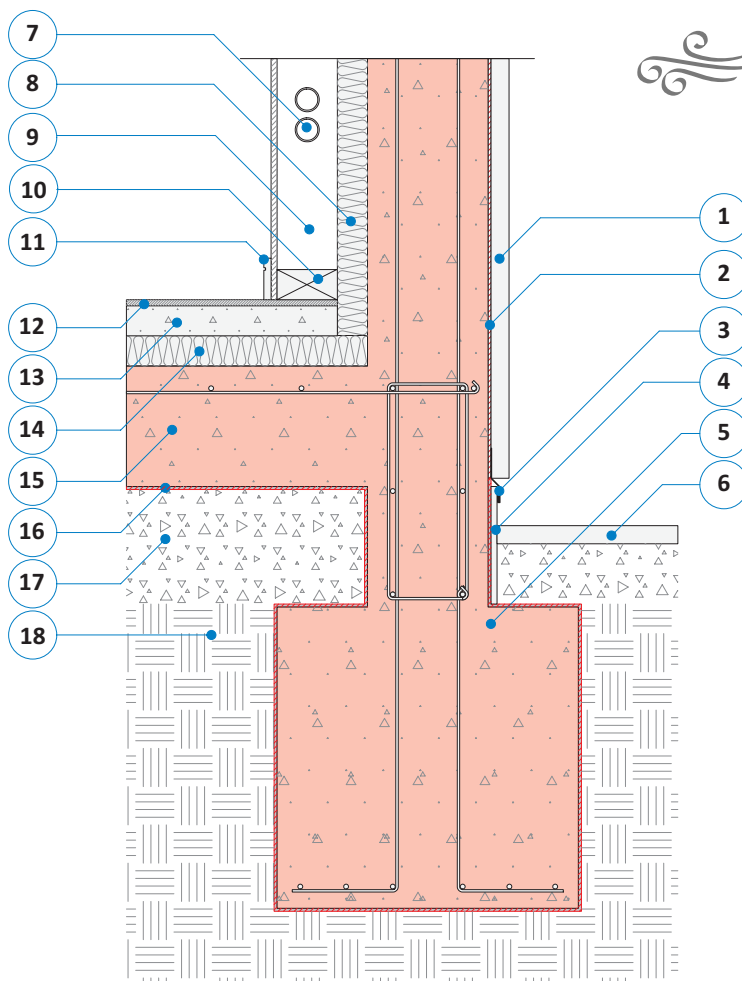
1. Solución revestimiento exterior.
2. Tratamiento superficial humedad
3. Sello de unión
4. impermeabilización
5. Cimiento de hormigón
6. Loseta sobre material granular
7. Solución térmica
8. Solución revestimiento interior
9. Guardapolvo
10. Radier
11. Solución térmica
12. Plataforma de hormigón
13. Barrera de humedad
14. Cama de ripio
15. Suelo compactado

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de hormigón. Sistema de tabiquería por paramento interior. Sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica entre paramento exterior y sistema de tabiquería, y sobre plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



1A



1. Solución revestimiento exterior.
2. Tratamiento superficial humedad
3. Sello de unión
4. impermeabilización
5. Cimiento de hormigón
6. Loseta sobre material granular
7. Pasada canalización eléctrica
8. Solución térmica
9. Pié derecho
10. Solera inferior
11. Guardapolvo
12. Solución de pavimento
13. Radier
14. Solución térmica
15. Plataforma de hormigón
16. Barrera de humedad
17. Cama de ripio
18. Suelo compactado

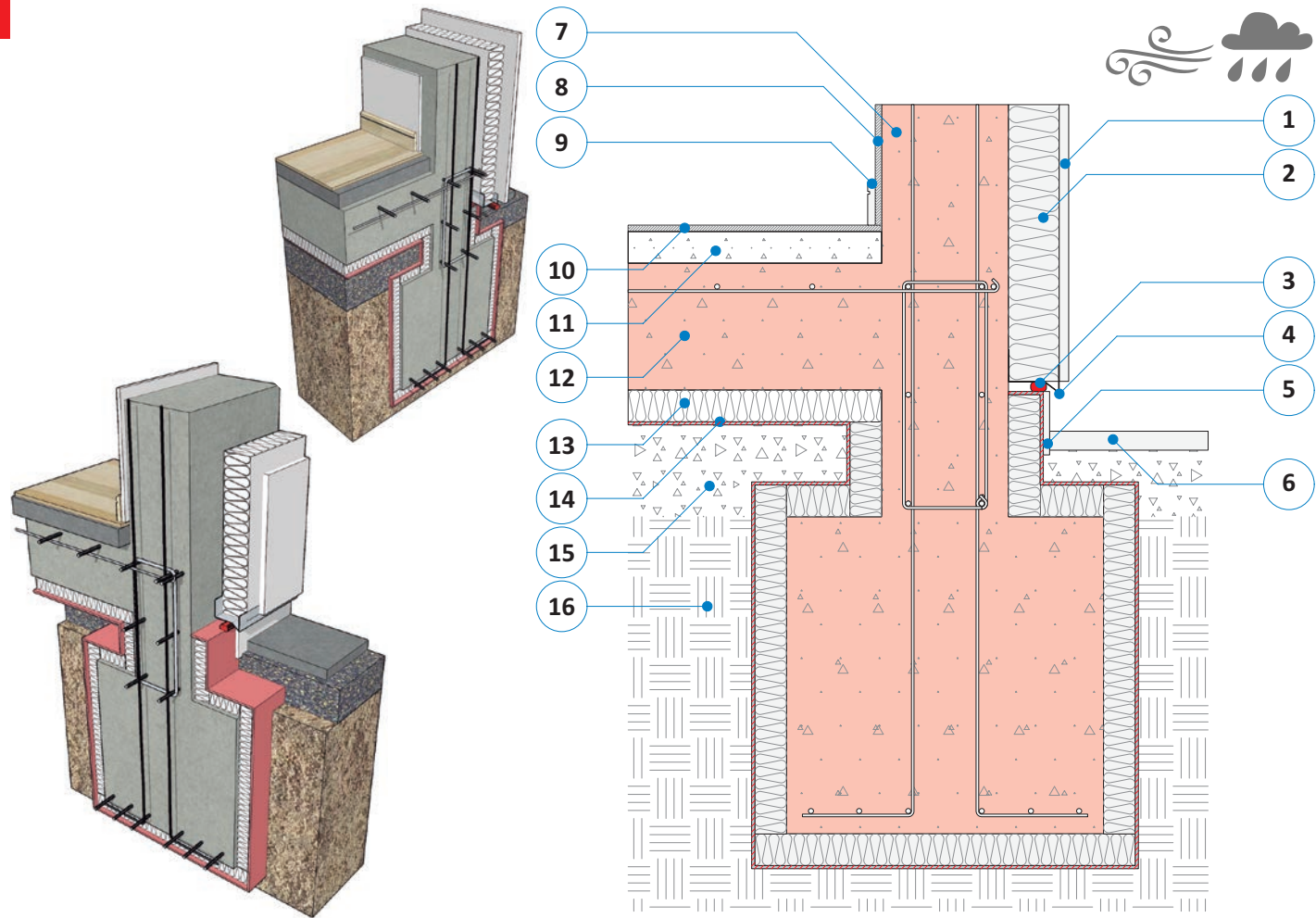




1A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de hormigón armado. Sistema de tabiquería por paramento interior. Sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica entre paramento interior y sobre plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

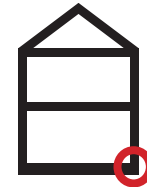
**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



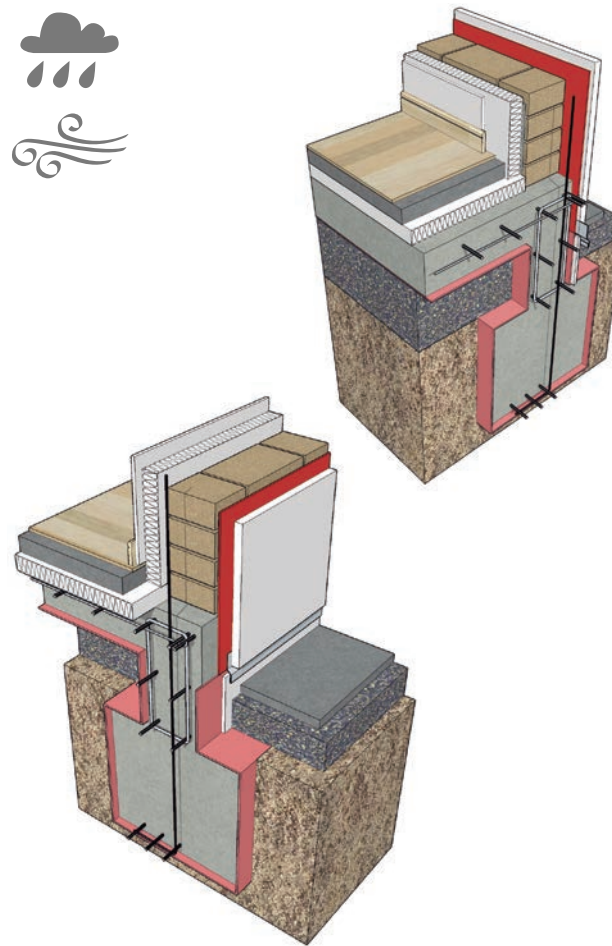
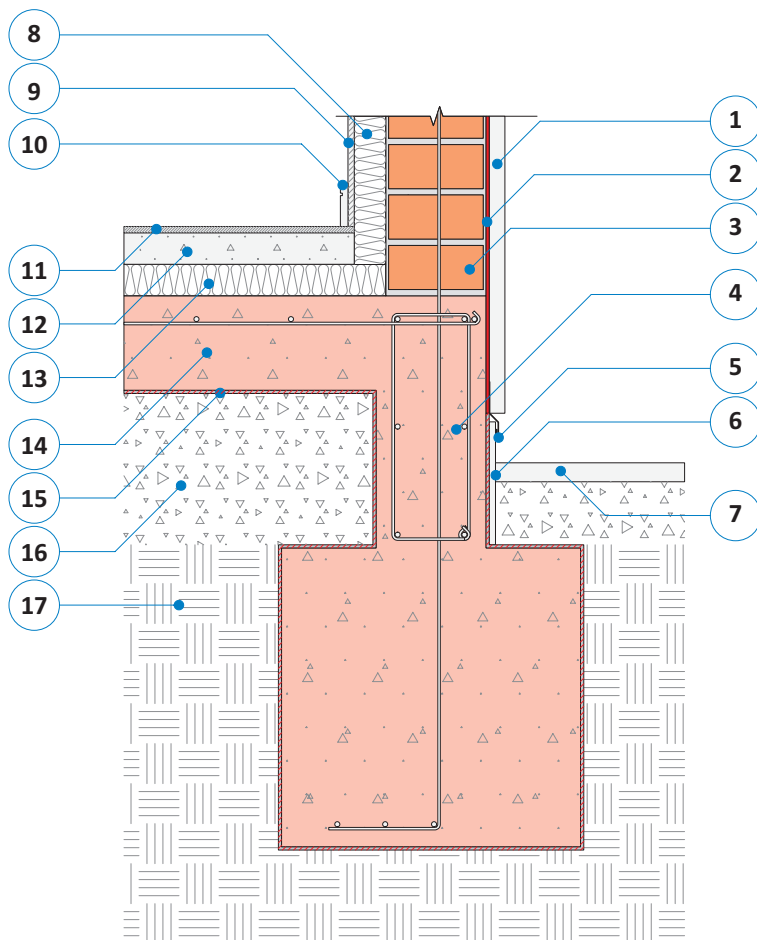
1. Solución revestimiento exterior.
2. Solución térmica
3. Sello de unión
4. Cortagotera
5. Solución revestimiento exterior
6. Loseta sobre material granular
7. Muro hormigón armado
8. Solución revestimiento interior
9. Guardapolvo
10. Solución pavimento
11. Radier
12. Plataforma de hormigón
13. Solución térmica
14. Barrera de humedad
15. Cama de ripio
16. Suelo compactado

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de albañilería armada, con sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica por paramento interior. Solución térmica y sello laminar como barrera de humedad bajo plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

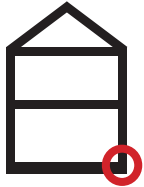
**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



2A



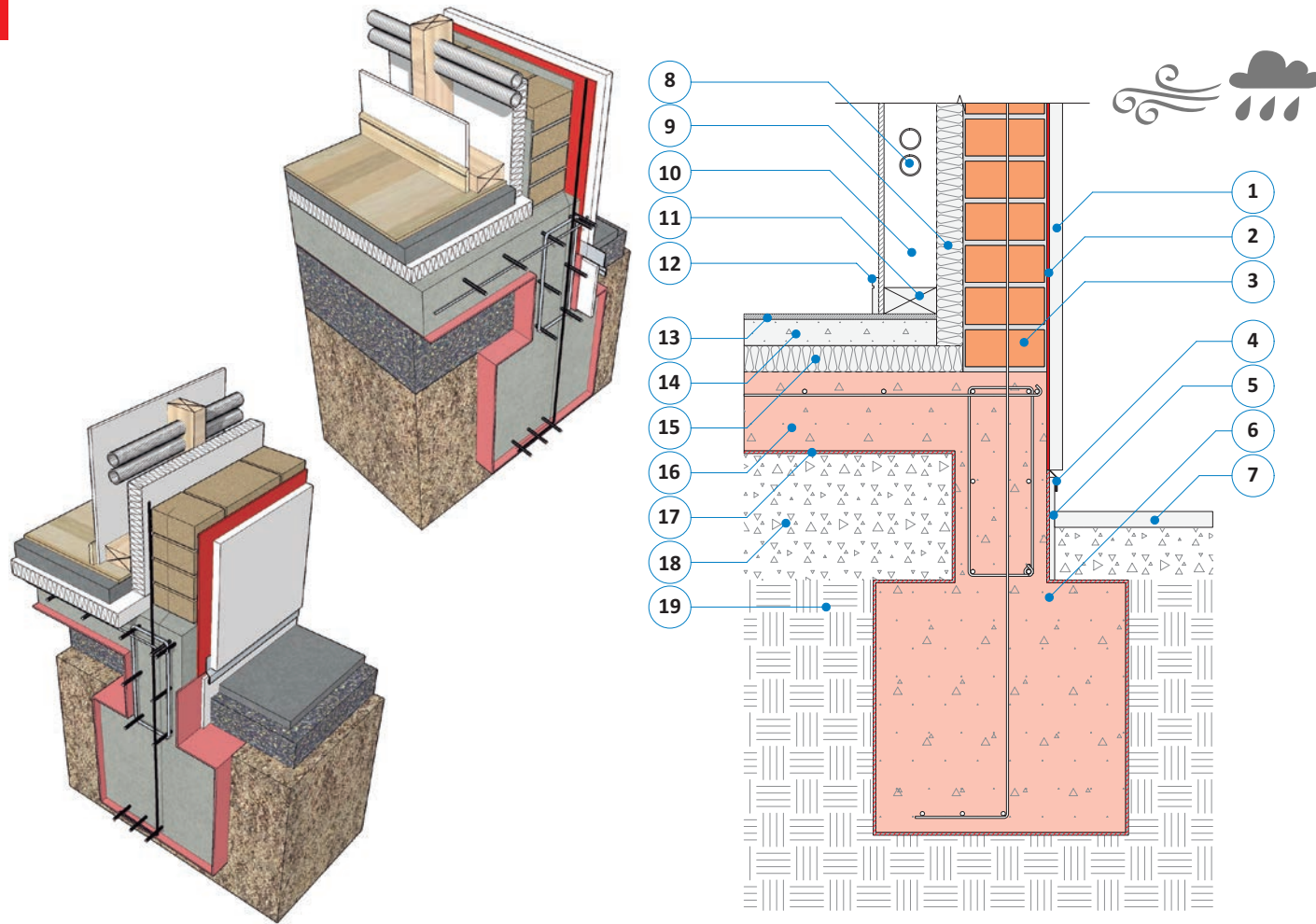
1. Solución revestimiento exterior.
2. Barrera de humedad
3. Muro albañilería
4. Cimiento hormigón armado
5. Sello de unión
6. Solución revestimiento exterior
7. Loseta sobre material granular
8. Solución térmica
9. Solución revestimiento interior
10. Guardapolvo
11. Solución pavimento
12. Radier
13. Solución térmica
14. Plataforma de hormigón
15. Barrera de humedad
16. Cama de ripio
17. Suelo compactado



# 2A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de albañilería armada, con sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica por paramento interior. Solución térmica y sello laminar como barrera de humedad bajo plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

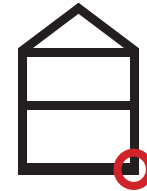
**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



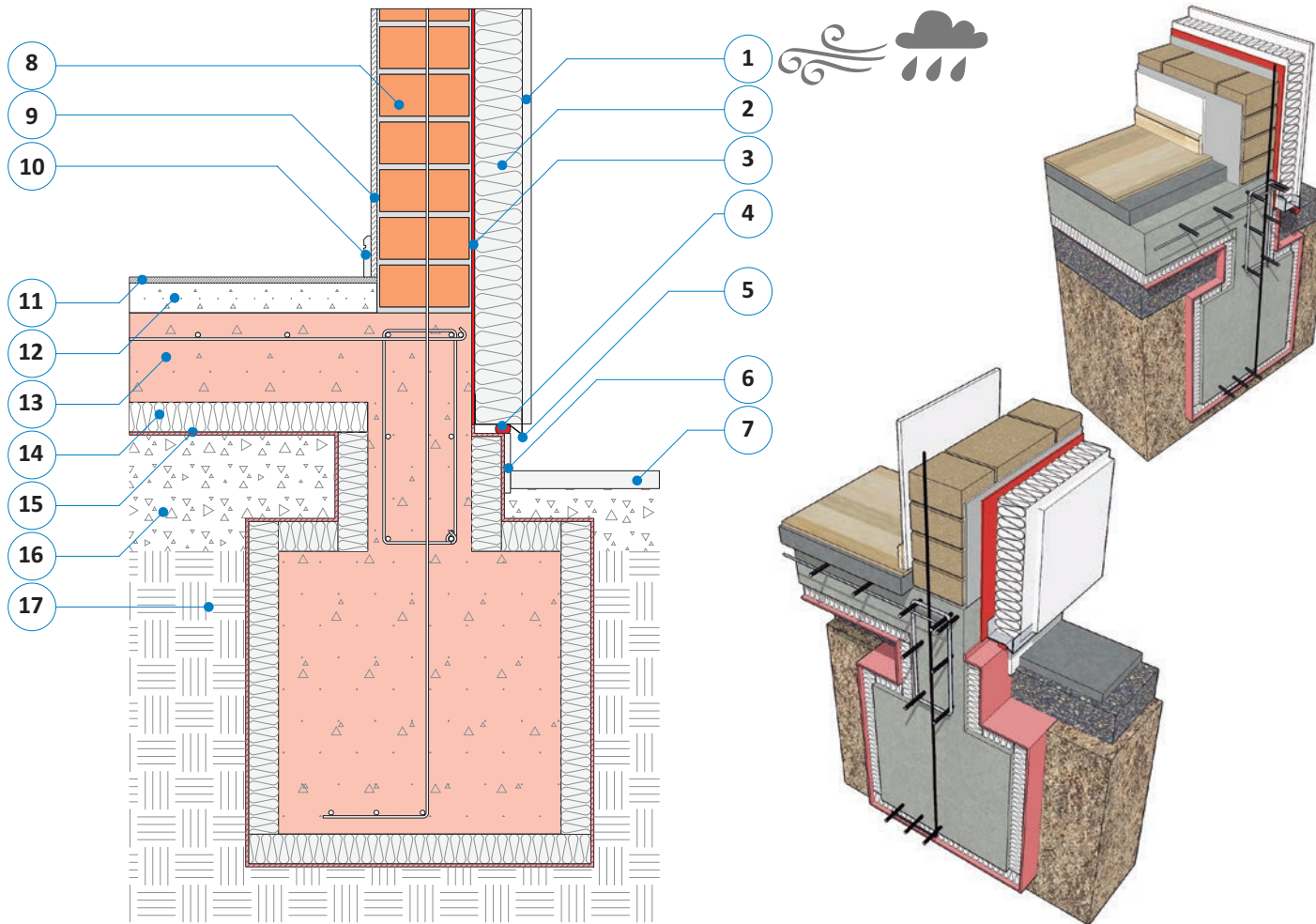
1. Solución revestimiento exterior.
2. Barrera de humedad
3. Muro albañilería
4. Sello de unión
5. Solución revestimiento exterior
6. Cimiento de hormigón
7. Loseta sobre material granular
8. Pasada canalización eléctrica
9. Solución térmica
10. Pié derecho
11. Solera inferior
12. Guardapolvo
13. Solución de pavimento
14. Radier
15. Solución térmica
16. Plataforma de hormigón
17. Barrera de humedad
18. Cama de ripio
19. Suelo compactado

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón con muro perimetral de albañilería armada, con sello laminar como barrera de humedad por paramento exterior y solución térmica por paramento interior. Solución térmica y sello laminar como barrera de humedad bajo plataforma, fundación, cimiento y sobrecimiento de hormigón armado.

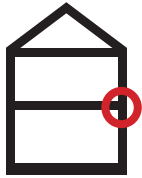
**RECOMENDACIONES:** Asegurar la elección adecuada del sello laminar (barrera de humedad) para su apropiada adherencia e instalación acorde al sustrato y las especificaciones técnicas. Asegurar la continuidad de la solución térmica para evitar puentes térmicos y humedad por condensación. Reforzar la instalación del corta gotera (punto de nominación N°3) con un sello adhesivo tipo silicona. Es recomendable asegurar un distanciamiento mínimo de 30 cm entre la edificación y área de vegetación próxima para evitar humedad por capilaridad.



2A



1. Solución revestimiento exterior
2. Solución térmica
3. Barrera de humedad y viento
4. Sello de unión
5. Cortagotera
6. Solución revestimiento exterior
7. Loseta sobre material granular
8. Muro albañilería
9. Solución revestimiento interior
10. Guardapolvo
11. Solución pavimento
12. Radier
13. Plataforma de hormigón
14. Solución térmica
15. Barrera de humedad
16. Cama de ripio
17. Suelo compactado

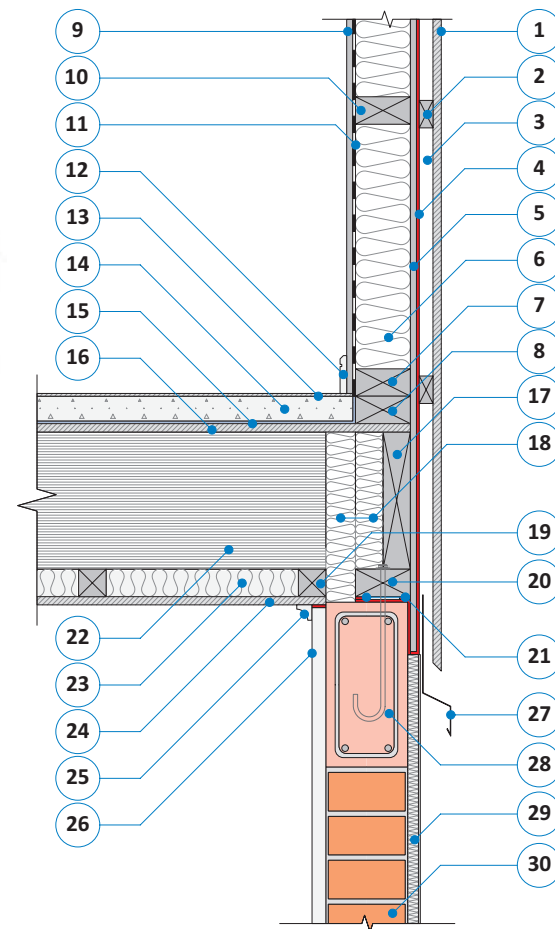
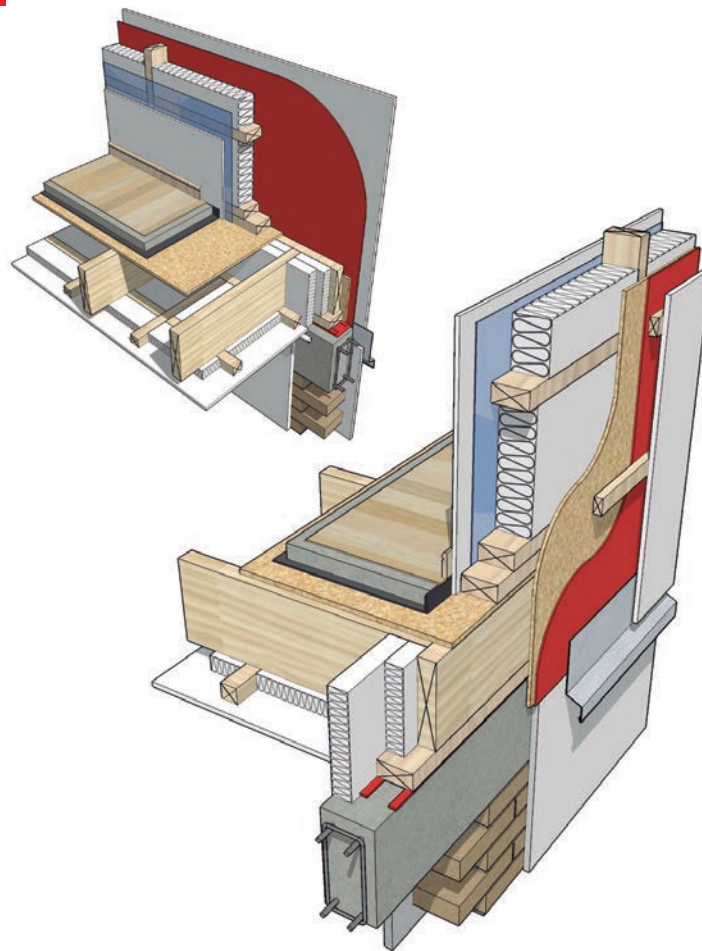


# 2A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de entramado de entre piso con muro perimetral de estructura de madera con revestimiento ventilado, apoyado sobre muro de albañilería confinada. Sello a infiltración de aire por el exterior bajo solera nivelante. Barrera de humedad y aire.

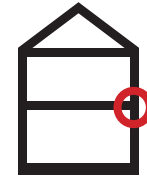
**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de vapor tenga un traslape no menor de 10cm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera de humedad por las instalaciones, se debe sellar el paso de las perforaciones. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Cortagotera distanciada a 50mm de revestimiento exterior para asegurar una ventilación adecuada. Aislación acústica en base a loseta de hormigón de espesor de 45mm con malla electro soldada sobre una barrera de humedad y acústica de polietileno. Asegurar que el nivel horizontal de la cadena de hormigón armado se encuentre dentro de la tolerancia exigida (5mm cada 3m como máximo). Asegurar que los espárragos de anclaje entre la solera nivelante y la cadena de hormigón armado queden alineados y en posición según plano y dentro de la tolerancia especificada ( $\pm 2$ mm de desviación).

1. Revestimiento exterior
2. Distanciator de madera
3. Cámara de aire
4. Barrera de humedad y viento
5. Placa arriostrante OSB o contrachapado
6. Solución térmica
7. Solera inferior
8. Solera base
9. Revestimiento interior
10. Cadeneta intermedia
11. Barrera de vapor (según localización)
12. Guardapolvo
13. Revestimiento de piso
14. Loseta hormigón con malla electrosoldada
15. Lámina anti impacto
16. Placa arriostrante OSB o contrachapado
17. Friso
18. Solución térmica
19. Entramado de cielo
20. Solera nivelante
21. Cinta precomprimida de espuma de poliuretano
22. Viga de piso
23. Solución acústica
24. Placa de cielo
25. Cornisa y sello silicona
26. Estuco interior
27. Cadena hormigón armado
28. Cortagotera
29. Revestimiento EIFS
30. Muro albañilería

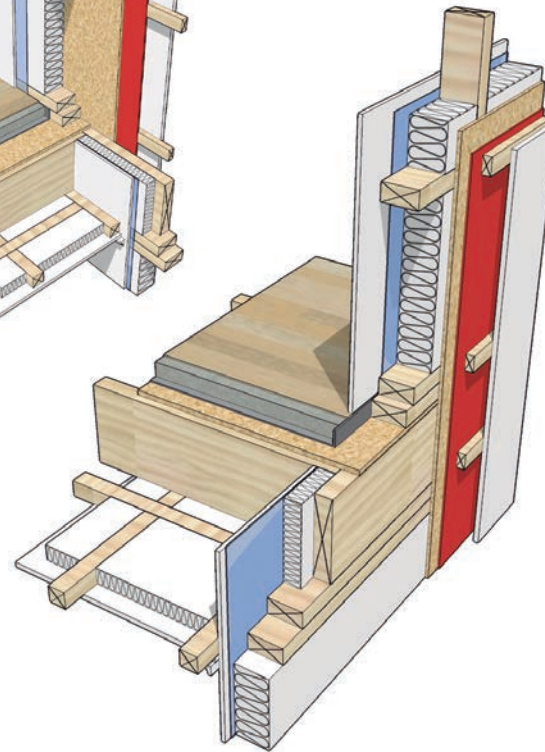
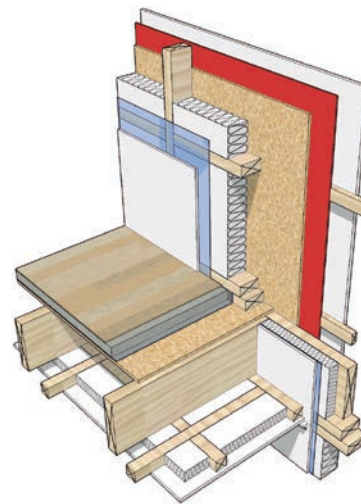
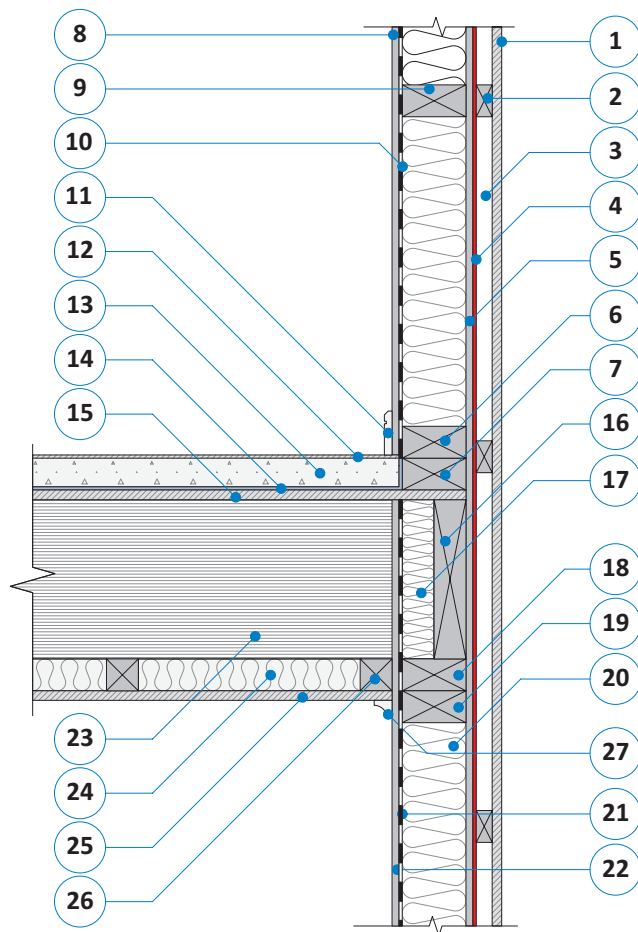


**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de entramado de entrepiso de madera con muro perimetral estructural de madera con revestimiento ventilado. Apoyado sobre el entramado vertical de muro estructural de madera con revestimiento ventilado. Barrera de humedad y viento (a infiltraciones de aire provenientes del exterior), instalada sobre el tablero arriostrante de OSB o contrachapado. Barrera de humedad en muros perimetrales del primero y segundo piso y cielo del segundo piso según localización.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslapo longitudinal y transversal de la barrera de humedad y viento sea de no menos de 10cm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera al tablero arriostrante en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar alrededor de la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Aislación acústica en base a loseta de hormigón, con malla electro soldada tipo C-92, instalada sobre membrana de protección de humedad y acústica de polietileno.



**3A**



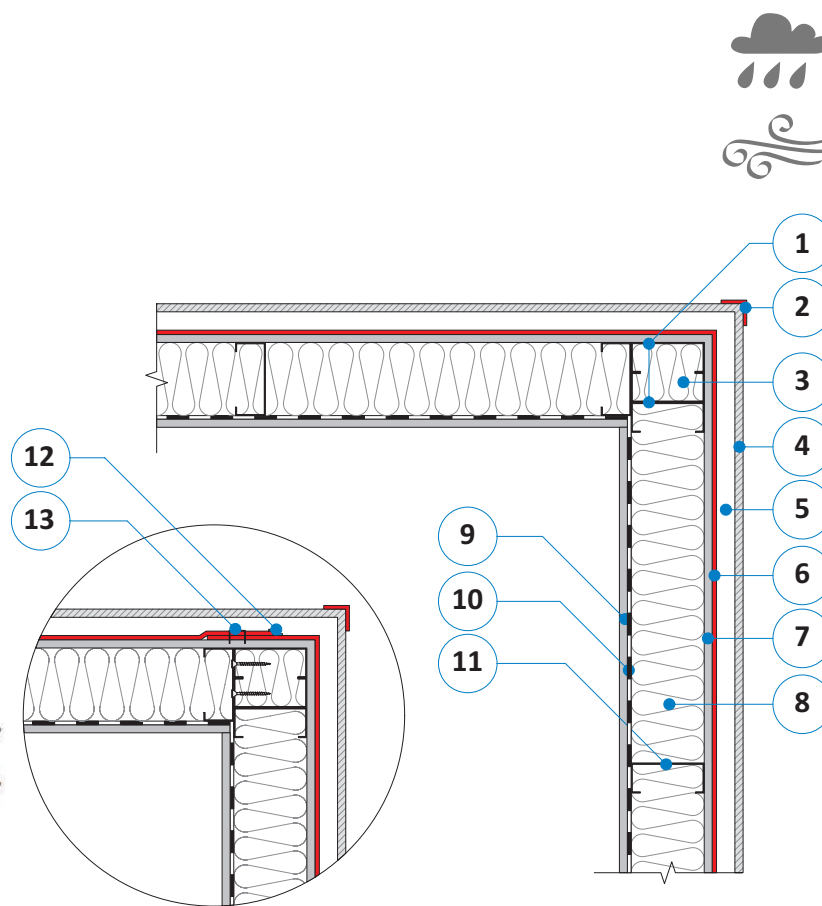
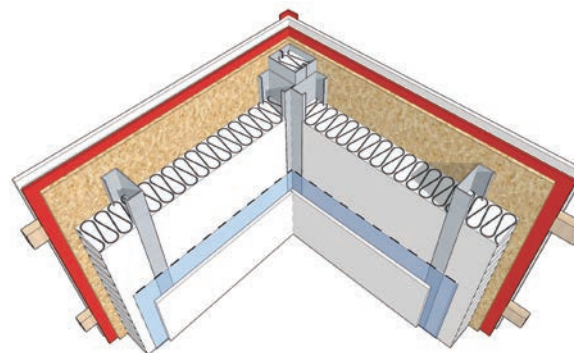
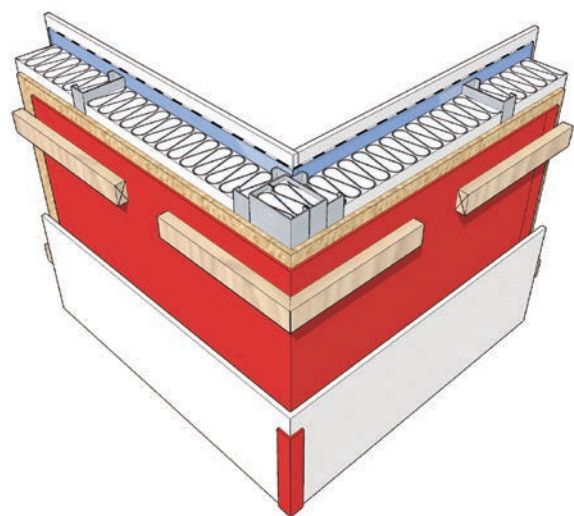
1. Revestimiento exterior
2. Distanciador de madera
3. Cámara de aire
4. Barrera de humedad y viento
5. Placa arriostrante OSB o contrachapado
6. Solera inferior
7. Solera base
8. Revestimiento interior
9. Cadeneta intermedia
10. Barrera de humedad (según localización)
11. Guardapolvo
12. Revestimiento de piso
13. Loseta hormigón con malla electrosoldada
14. Lámina anti impacto
15. Placa arriostrante OSB o contrachapado
16. Friso
17. Solución térmica
18. Solera de amarre
20. Solera superior
21. Barrera de humedad (según localización)
22. Revestimiento interior
23. Viga entramado entrepiso
24. Solución acústica
25. Solución de cielo
26. Listón portante cielo



3A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Solución de esquina con molduras de madera, para la solución del revestimiento ventilado. Protección térmica de solución de esquina de los pies derecho metálicos que lo componen. Barrera de humedad y viento instalada sobre el tablero arriostrante.

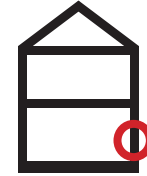
**RECOMENDACIONES:** Asegurar el traslape de 10cm longitudinal y transversal de la barrera de humedad y viento que se debe instalar en los tableros arriostrantes de los entramados verticales perimetrales, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva en dichas uniones. Fijación de la barrera con corchete en retícula de 20 x 20cm al tablero arriostrante. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones, se deben abrir las perforaciones mínimas necesarias, las que deben ser selladas. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. En el caso que el traslape coincida con la solución de esquina este debe quedar desplazada como mínimo a 10cm de la esquina, antes de ser fijada con corchetes debe colocarse un cordón de silicona neutra o cinta mono adhesiva a lo largo de la altura del muro.



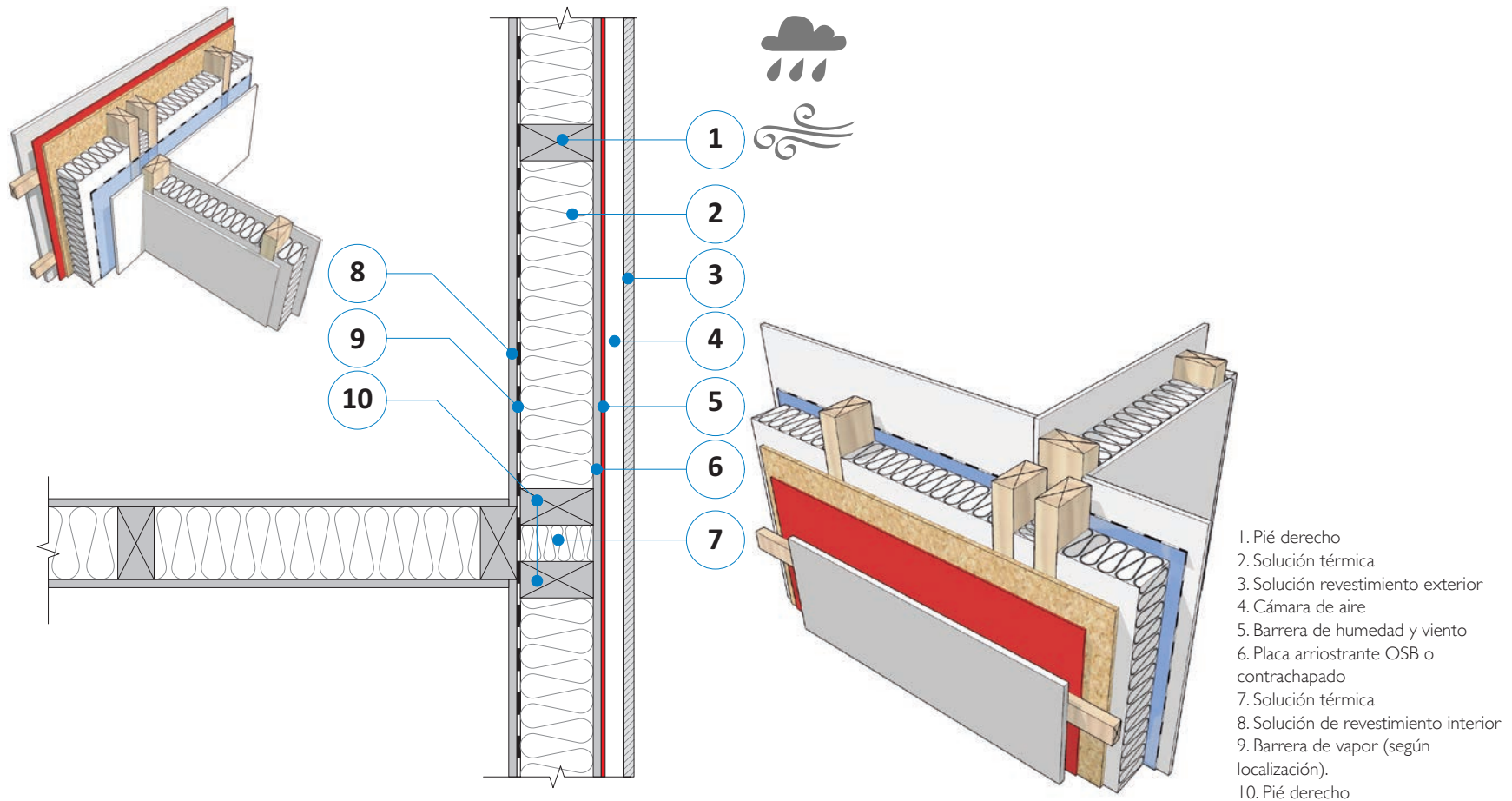
1. Pié derecho metálico
2. Solución esquinero
3. Solución térmica
4. Solución revestimiento exterior
5. Cámara de aire
6. Barrera de humedad y viento
7. Placa arriostrante OSB o contrachapado
8. Solución térmica
9. Solución revestimiento interior
10. Barrera de vapor (según localización)
11. Pié derecho metálico
12. Traslape barrera humedad y viento 10cm y distanciado a lo menos 10cm de esquina
13. Fijación traslape

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Solución de entramado vertical perimetral con revestimiento ventilado, con tabique interior. Protección térmica de solución en T de los pies derecho de madera. Barrera de humedad y viento instalada sobre el tablero arriostrante. Barrera de humedad en los muros interiores perimetrales según localización.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar el traslape de 10 cm longitudinal y transversal de la barrera de humedad y viento que se debe instalar en los tableros arriostrantes de los entramados verticales perimetrales, reforzado con silicona neutra o cinta monoadhesiva en dichas uniones. Fijación de la barrera con corchete en retícula de 20 x 20 cm al tablero arriostrante. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones, se deben abrir las perforaciones mínimas necesarias, las que deben ser selladas alrededor de la abertura. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Asegurar aislación térmica entre pie derecho del muro perimetral que conforman la unión en T, evitando puente térmico.



**3A**



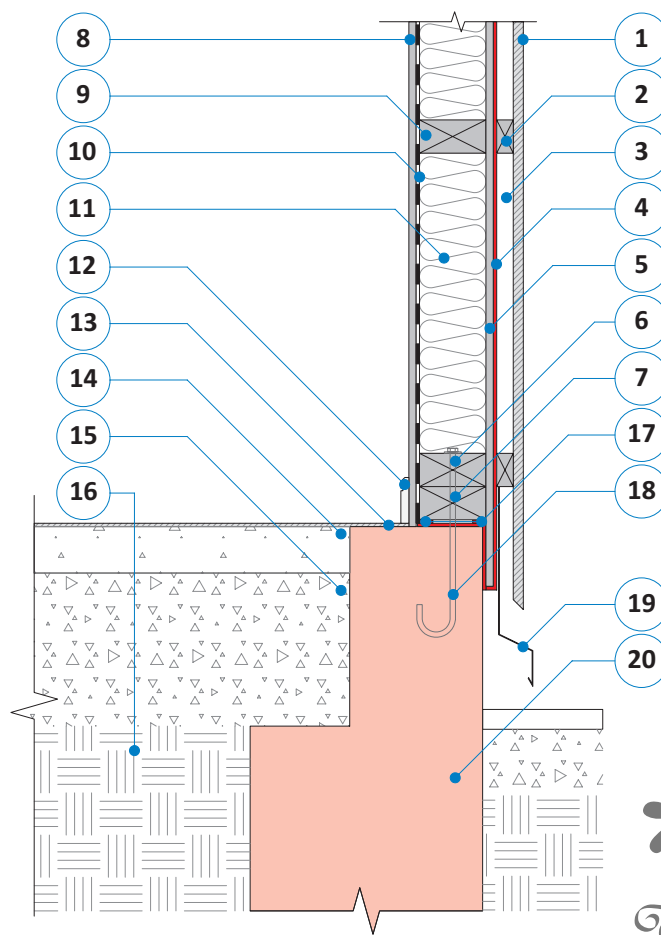
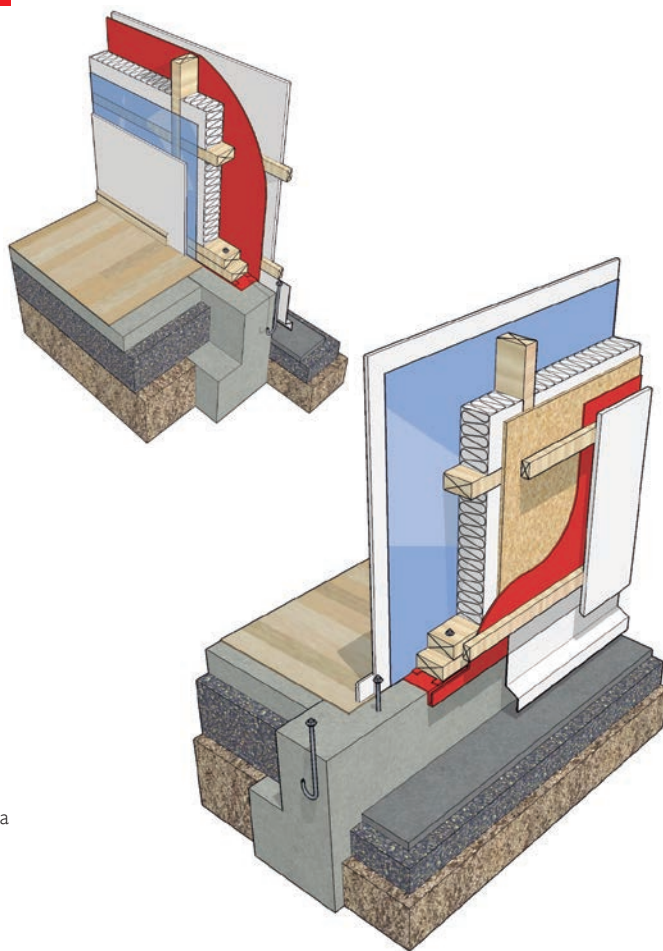




# 3A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de plataforma de hormigón de primer piso con muro de estructura de madera con revestimiento ventilado. Sello a compresión entre solera base y cabeza del sobrecimiento, para absorber irregularidades y/o desnivel del sobrecimiento y así asegurar hermeticidad de la junta. Barrera de humedad y viento instalada sobre placa arriostrante, en contacto con cámara ventilada.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de humedad sea de no menos de 100mm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Cortagotera distanciado a 50mm de revestimiento exterior para asegurar una ventilación adecuada. Asegurar que el nivel horizontal de la cabeza del sobrecimiento se encuentre dentro de la tolerancia exigida (5mm cada 3m como máximo). Asegurar que los espárragos de anclaje entre la solera y la cabeza del sobrecimiento queden alineados, posicionados según especificaciones y dentro de la tolerancia especificada ( $\pm 2$  mm de desviación).



1. Placa de revestimiento exterior
2. Distanciator de madera
3. Cámara de aire
4. Barrera de humedad y viento
5. Placa arriostrante OSB o contrachapado
6. Solera inferior
7. Solera base
8. Placa de revestimiento interior
9. Cadeneta intermedia
10. Barrera de vapor (según localización)
11. Solución térmica
12. Guardapolvo
13. Revestimiento de piso
14. Radier de piso
15. Cama de ripio
16. Suelo compactado
17. Cinta precomprimida de espuma de poliuretano sobre papel fieltro doble 15 libras
18. Vástago de espárrago de acero
19. Cortagotera
20. Cimiento de hormigón

### DESCRIPCIÓN GENERAL:

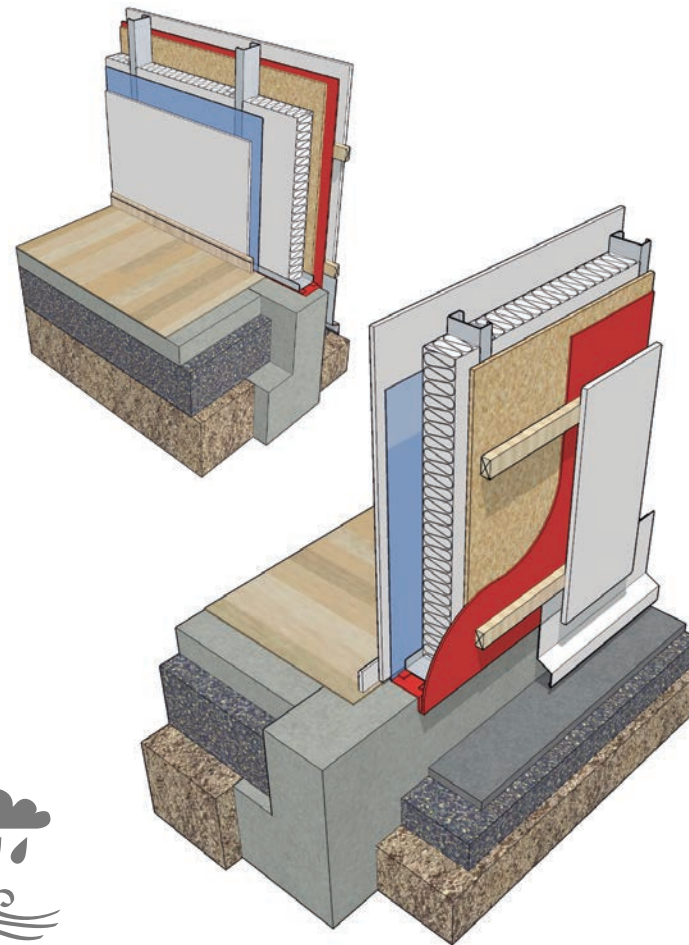
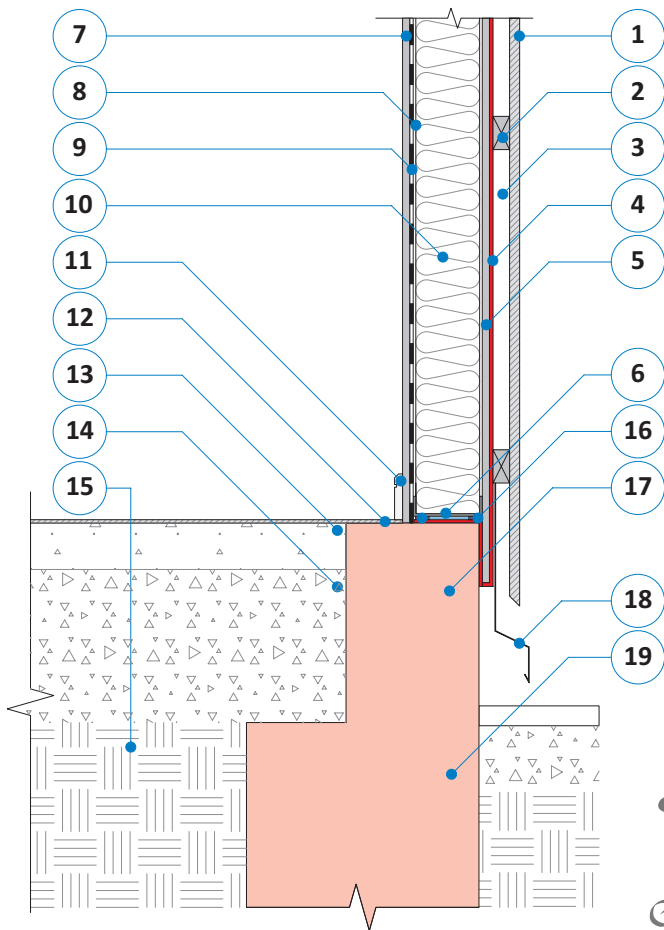
Encuentro de plataforma de hormigón de primer piso con muro de estructura metálica con revestimiento ventilado. Sello a compresión entre solera base y cabeza del sobrecimiento, para absorber irregularidades y/o desnivel del sobrecimiento y así asegurar hermeticidad de la junta. Barrera de humedad y viento instalada sobre placa arriostrante, en contacto con cámara ventilada.

### RECOMENDACIONES:

Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de humedad sea de no menos de 100mm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Cortagotera distanciado a 50mm de revestimiento exterior para asegurar una ventilación adecuada. Asegurar que el nivel horizontal de la cabeza del sobrecimiento se encuentre dentro de la tolerancia exigida (5mm cada 3m como máximo). Asegurar que los espárragos de anclaje entre la solera y la cabeza del sobrecimiento queden alineados, posicionados según especificaciones y dentro de la tolerancia especificada ( $\pm 2$  mm de desviación).



# 3A



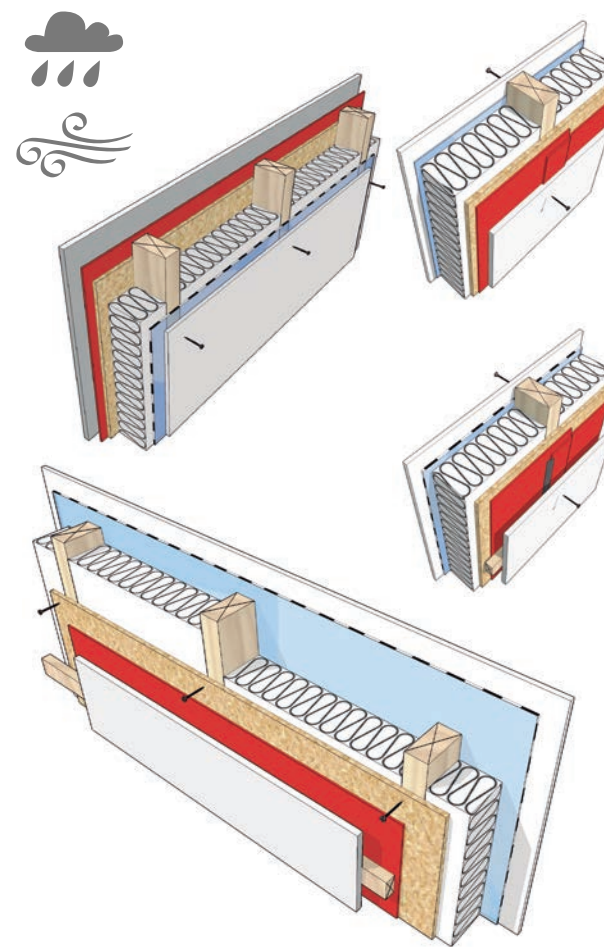
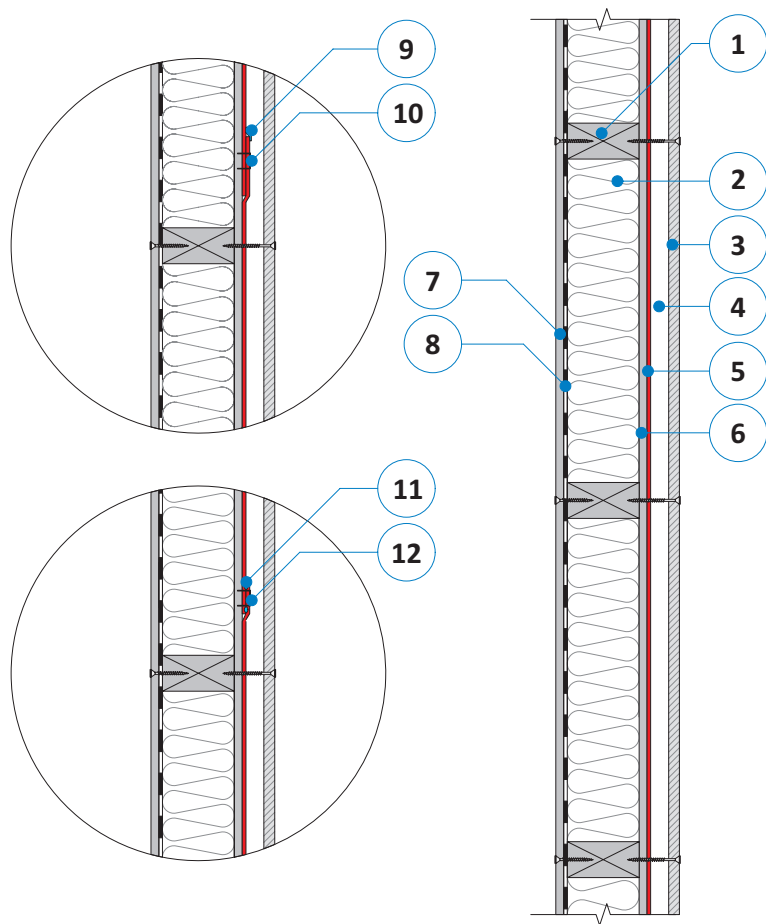
1. Placa de revestimiento exterior
2. Distanciador de madera
3. Cámara de aire
4. Barrera de humedad y viento
5. Placa arriostrante OSB o contrachapado
6. Solera inferior metálica
7. Placa de revestimiento interior
8. Cadeneta intermedia
9. Barrera de vapor (según localización)
10. Solución térmica
11. Guardapolvo
12. Revestimiento de piso
13. Radier de piso
14. Cama de ripio
15. Suelo compactado
16. Cinta precomprimida de espuma de poliuretano sobre papel filtro doble 15 libras
17. Vástago de espárrago de acero
18. Cortagotera
19. Cimiento de hormigón



3A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Solución de muro perimetral vertical en entramado de madera, con revestimiento ventilado. Importancia del traslape de la barrera de humedad y viento instalada sobre el tablero arriostrante.

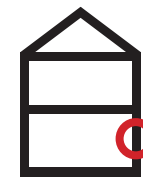
**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de humedad sea de no menos de 100mm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta.



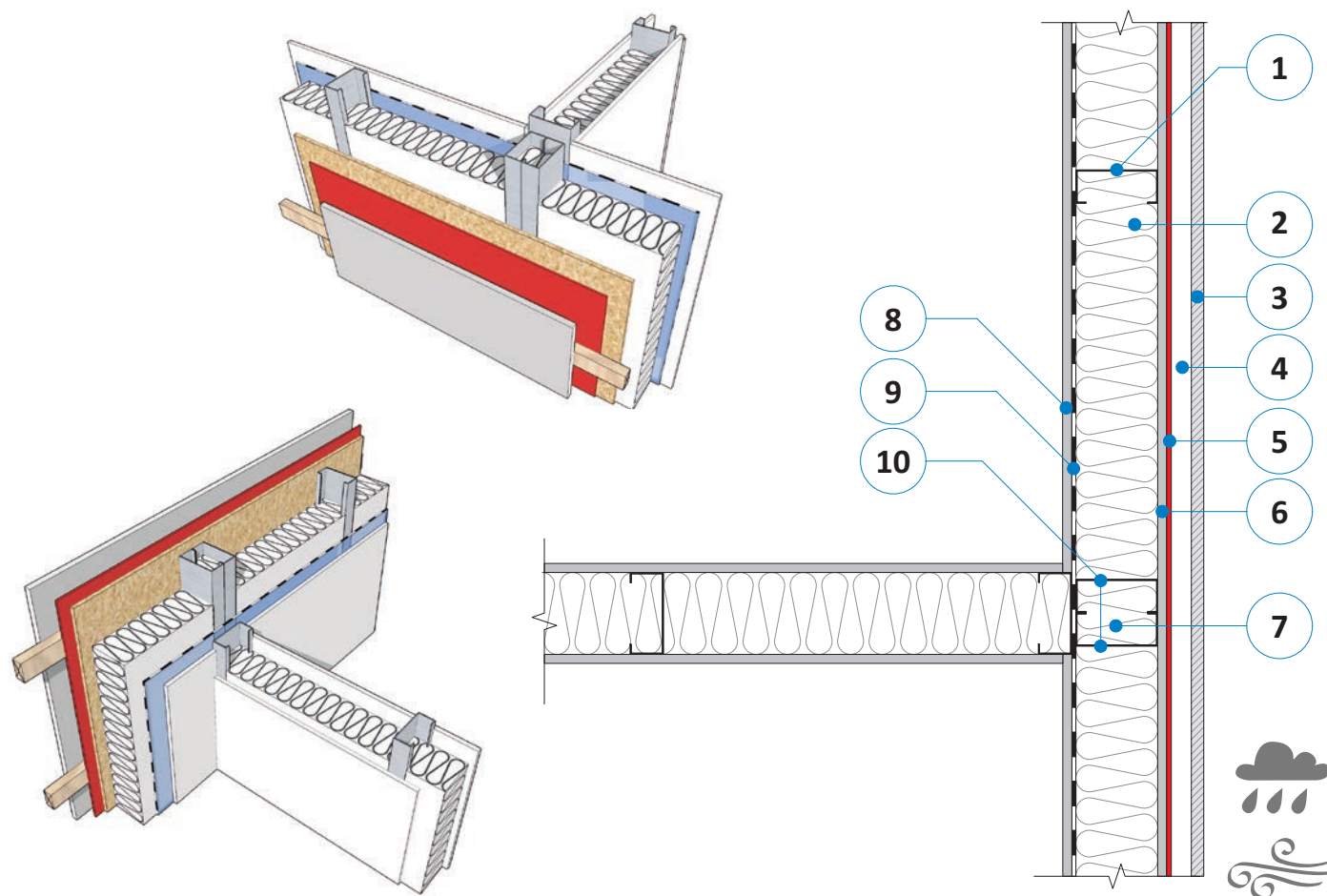
1. Pié derecho
2. Solución térmica
3. Solución revestimiento exterior
4. Cámara de aire
5. Barrera de humedad y viento
6. Placa arriostrante OSB o contrachapado
7. Solución de revestimiento interior
8. Barrera de vapor (según localización).
9. Traslape barrera humedad y viento 10 cm
10. Fijación traslape
11. Traslape barrera humedad y viento 10 cm y sello con dos cordones silicona
12. Fijación traslape

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de muro vertical perimetral en estructura metálica liviana con revestimiento ventilado, con tabique interior de estructura metálica, unión en T. Protección térmica de solución en T de los pie derecho metálicos que lo componen. Barrera de humedad y viento instalada sobre el tablero arriostrante.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de humedad sea de no menos de 100mm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta. Asegurar aislación térmica entre pie derecho del muro perimetral que conforman la unión en T, evitando pérdida de energía y puente térmico.



**3A**



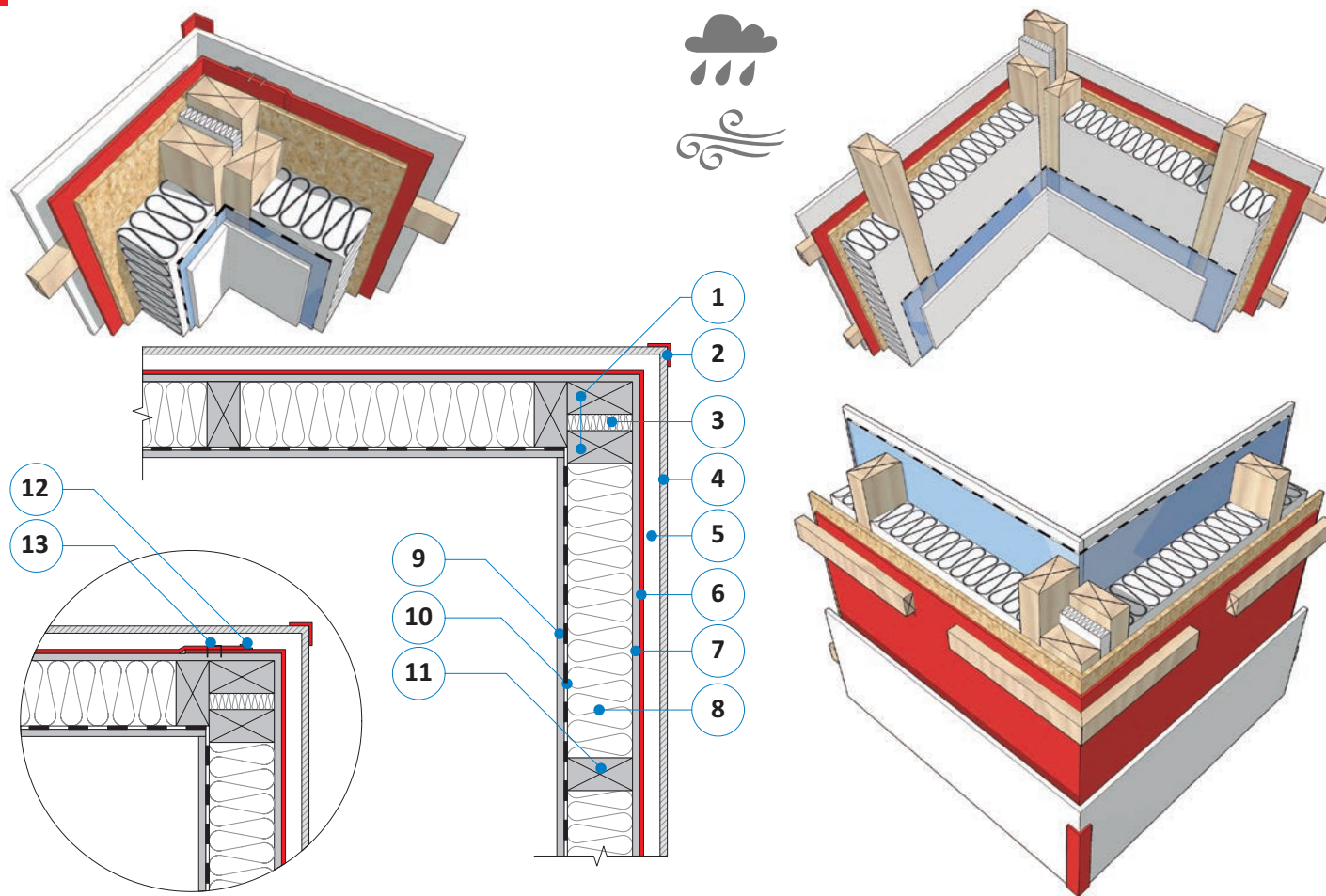
1. Pié derecho metálico
2. Solución térmica
3. Solución revestimiento exterior
4. Cámara de aire
5. Barrera de humedad y viento
6. Placa arriostrante OSB o contrachapado
7. Solución térmica
8. Solución de revestimiento interior
9. Barrera de vapor (según localización).
10. Pié derecho metálico



3A

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Solución de esquina en entramado de madera con revestimiento ventilado. Protección de solución de esquina de los pies derechos que lo componen. Barrera de humedad y viento instalada sobre el tablero arriostrante.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar que el traslape longitudinal y transversal de la barrera de humedad sea de no menos de 100mm, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera en retícula de 20 x 20cm con corchetes. Cuidar que el traslape de la membrana no coincida con la esquina, haciendo traslape como se muestra en detalle. Cuando se intervenga la barrera por las instalaciones se debe sellar la perforación. En el caso de puertas y ventanas la membrana debe cubrir el interior del vano para asegurar la continuidad de la barrera, para posteriormente instalar jamba, marco y ventana o puerta.



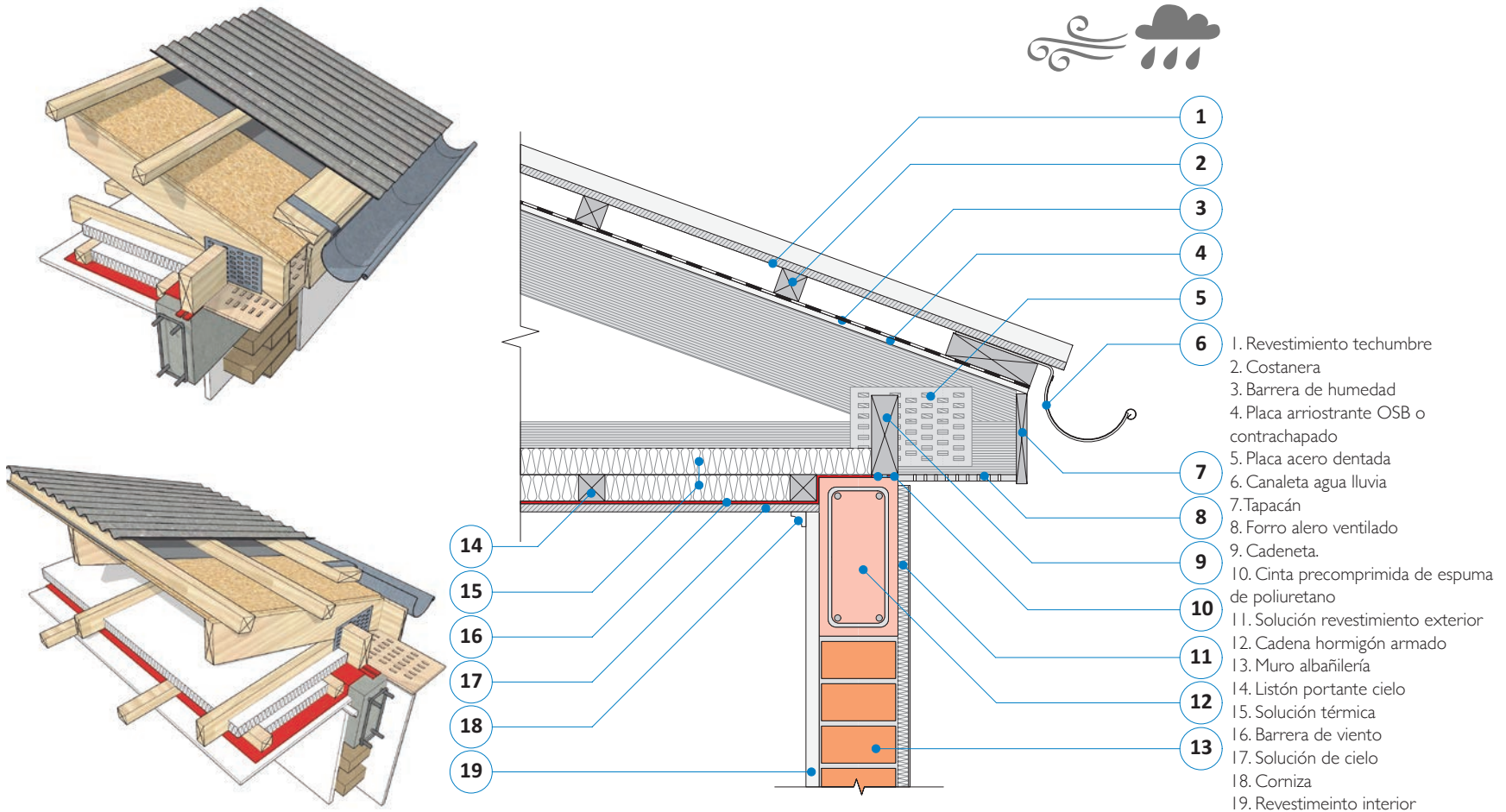
1. Pié derecho
2. Solución esquinero
3. Solución térmica
4. Solución revestimiento exterior
5. Cámara de aire
6. Barrera de humedad y viento
7. Placa arriostrante OSB o contrachapado
8. Solución térmica
9. Solución revestimiento interior
10. Barrera de vapor (según localización)
11. Pié derecho
12. Traslape barrera humedad y viento 10 cm y distanciado a lo menos 10 cm de esquina
13. Fijación traslape

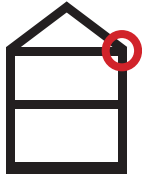
**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de entramado de techumbre conformado por cerchas de alero recto ventilado, con albañilería confinada revestida por ambos lados. Sello a infiltraciones de aire del exterior bajo cadeneta con sello de cinta precomprimida.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar la horizontalidad de la cadena de hormigón armado, dentro de la tolerancia exigida (5mm cada 3m como máximo). Alero ventilado asegure la entrada y salida del aire para lograr una techumbre ventilada eficiente. Sello bajo la cadeneta de madera ubicada sobre la cadena de hormigón, con sello de cinta precomprimida que asegure la hermeticidad al aire del encuentro entre los elementos de hormigón y madera. Asegurar el traslape de 10 cm longitudinal y transversal de la barrera de vapor instalada entre el entramado de madera y el revestimiento de cielo, reforzado las uniones con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Cuando se intervenga la barrera por la instalación eléctrica (cajas de derivación), se debe sellar (Capítulo 8.5).



**2B**

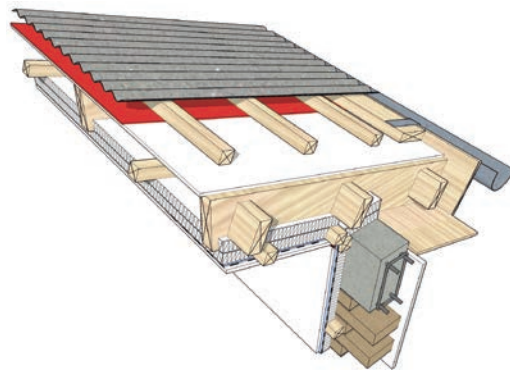
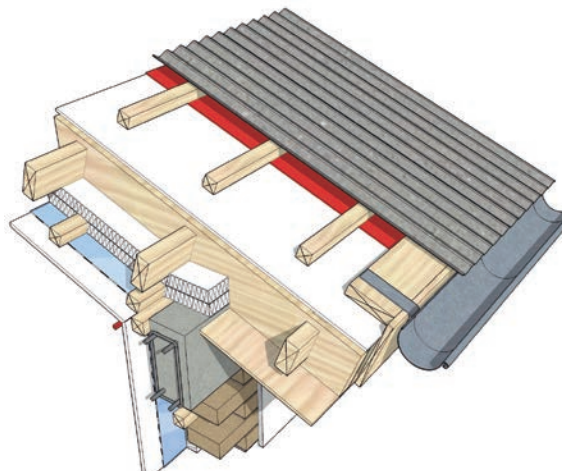




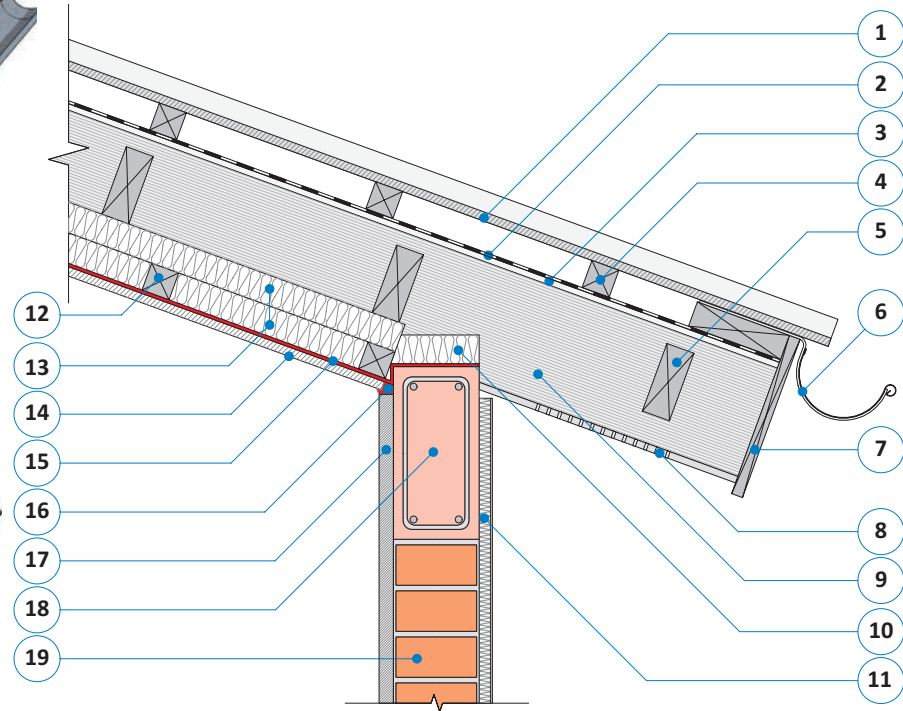
2B

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de estructura de techumbre de diafragma rigido con muro de albañilería confinada. Alero inclinado ventilado. Barrera de viento bajo aislación térmica, sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical.

**RECOMENDACIONES:** Alero ventilado que asegura la entrada y salida de aire para lograr una techumbre ventilada eficiente. Muro de albañilería con revestimiento de mortero impermeable por el paramento exterior, y por el paramento interior, aislación térmica. Asegurar el traslape de 10cm longitudinal y transversal de la barrera de viento que se debe instalar bajo el entramado de madera donde irá instalado el revestimiento de cielo, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera con corchetes cada 20 cm a las piezas de madera del entramado. Cuando se intervenga la barrera por la instalación eléctrica (cajas de derivación), se debe sellar alrededor de la caja (Capítulo 8.5). Asegurar la fijación del sistema de aislación térmica de cielo, en doble capa que permite asegurar la no existencia de puentes térmicos, espesor de acuerdo a la zona térmica. Sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical, se recomienda reforzar con una pieza de un cuarto rodón de madera.

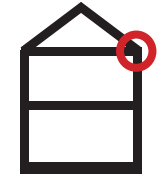


1. Revestimiento techumbre
2. Barrera de humedad
3. Placa arriostrante OSB o contrachapado
4. Costanera
5. Cadeneta
6. Canal de agua lluvia
7. Tapacán
8. Forro alero ventilado
9. Envigado techumbre
10. Solución térmica
11. Solución revestimiento exterior
12. Listón portante cielo
13. Solución térmica
14. Solución cielo
15. Barrera de viento
16. Sello silicona
17. Solución revestimiento interior
18. Cadena hormigón armado
19. Muro albañilería

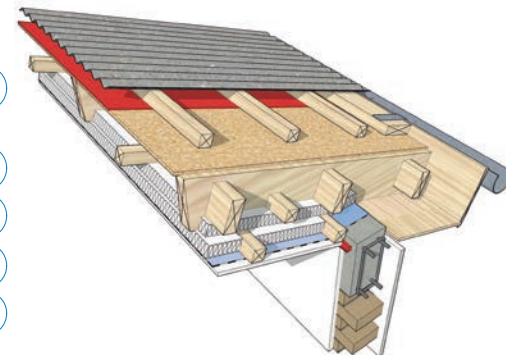
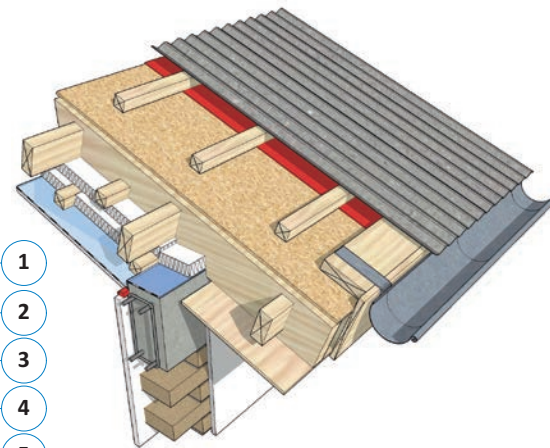
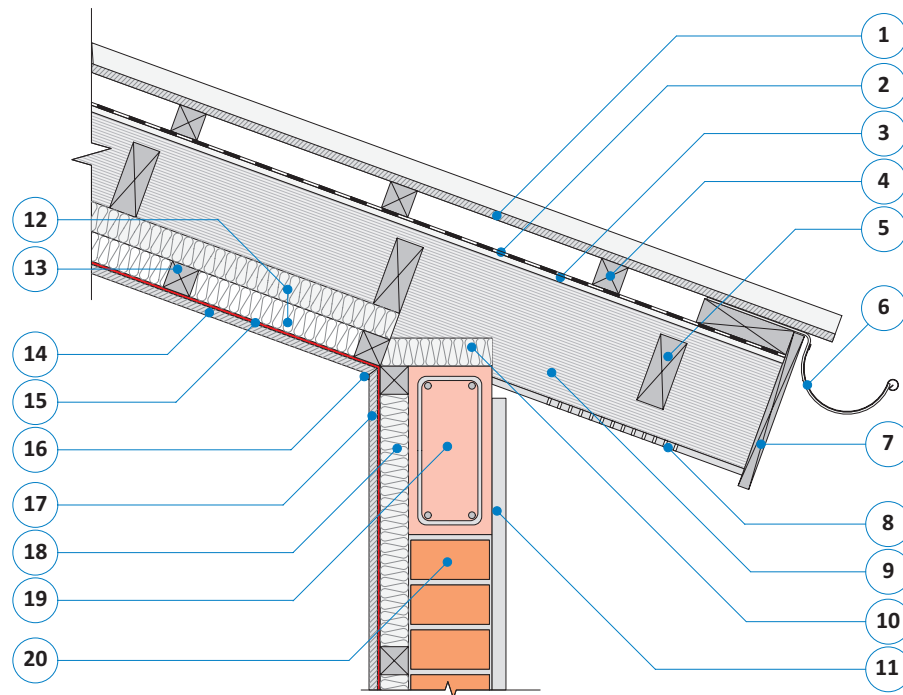


**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de estructura de techumbre de diafragma rígido con muro de albañilería confinada. Alero inclinado ventilado. Barrera de viento bajo aislación térmica, sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical.

**RECOMENDACIONES:** Alero ventilado para asegurar la entrada y salida del aire, para lograr una techumbre ventilada eficiente. Muro de albañilería con revestimiento de mortero impermeable por el exterior. Asegurar el traslape de 10cm longitudinal y transversal de la barrera de viento que se debe instalar bajo el entramado de madera donde irá instalado el revestimiento de cielo, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera con corchetes cada 20 cm a las piezas de madera del entramado. Cuando se intervenga la barrera por la instalación eléctrica (cajas de derivación), se debe sellar alrededor de la caja (Capítulo 8.5). Asegurar la fijación del sistema de aislación térmica de cielo, en doble capa que permite asegurar la no existencia de puentes térmicos, espesor de acuerdo a la zona térmica. Sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical, se recomienda reforzar con una pieza de un cuarto rodón de madera.



**2B**



1. Revestimiento techumbre
2. Barrera de humedad
3. Placa arriostrante OSB o contrachapado
4. Costanera
5. Cadeneta
6. Canal de agua lluvia
7. Tapacán
8. Forro alero ventilado
9. Envigado techumbre
10. Solución térmica
11. Solución revestimiento exterior
12. Solución térmica
13. Listón portante cielo
14. Solución cielo
15. Barrera de viento
16. Sello silicona
17. Solución revestimiento interior
18. Solución térmica
19. Cadena hormigón armado
20. Muro albañilería

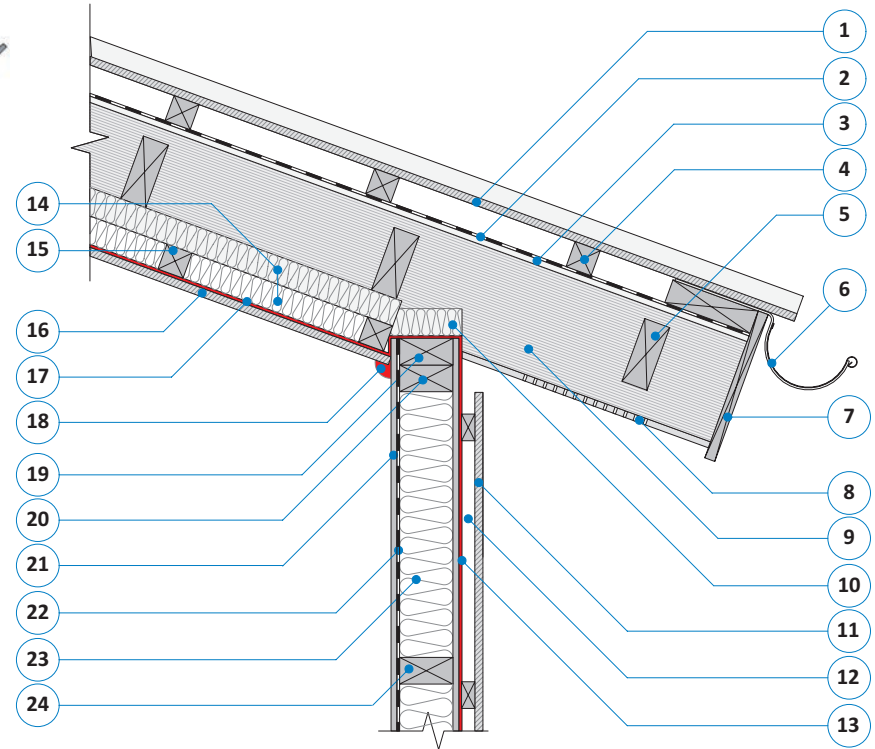
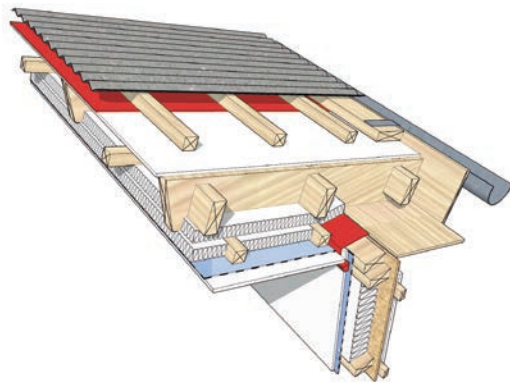
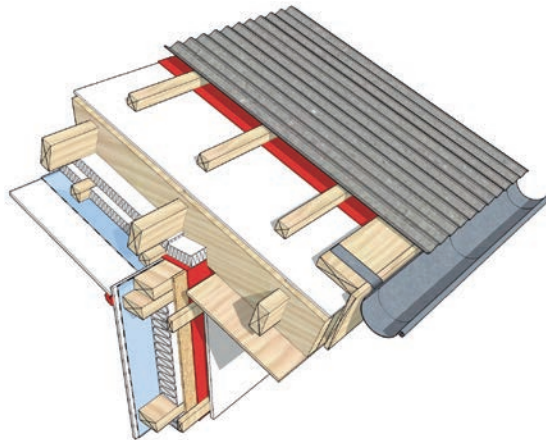




**3B**

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de estructura de techumbre de diafragma rígido con muro de entramado de madera. Alero inclinado ventilado. Barrera de viento bajo aislamiento térmico, sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical.

**RECOMENDACIONES:** Alero ventilado que asegura la entrada y salida de aire para lograr una techumbre ventilada eficiente. Muros perimetrales en entramado de madera con revestimiento exterior ventilado. Asegurar el traslape de 10cm longitudinal y transversal de la barrera de viento que se debe instalar bajo el entramado de madera donde irán instaladas las placas de cielo, reforzada con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera con corchetes cada 20cm a las piezas de madera del entramado. Cuando se intervenga la barrera por la instalación eléctrica (cajas de derivación), se debe sellar alrededor de la caja (Capítulo 8.5). Asegurar la fijación del sistema de aislamiento térmico de cielo, en doble capa que permite asegurar la no existencia de puentes térmicos, espesor de acuerdo a la zona térmica. Sello de silicona en intersección de cielo inclinado con revestimiento del paramento vertical, se recomienda reforzar con una pieza de un cuarto rodón de madera.



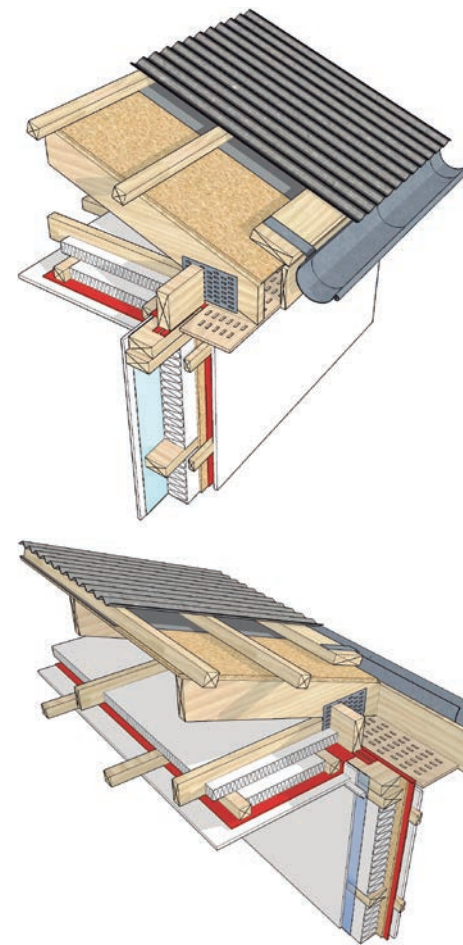
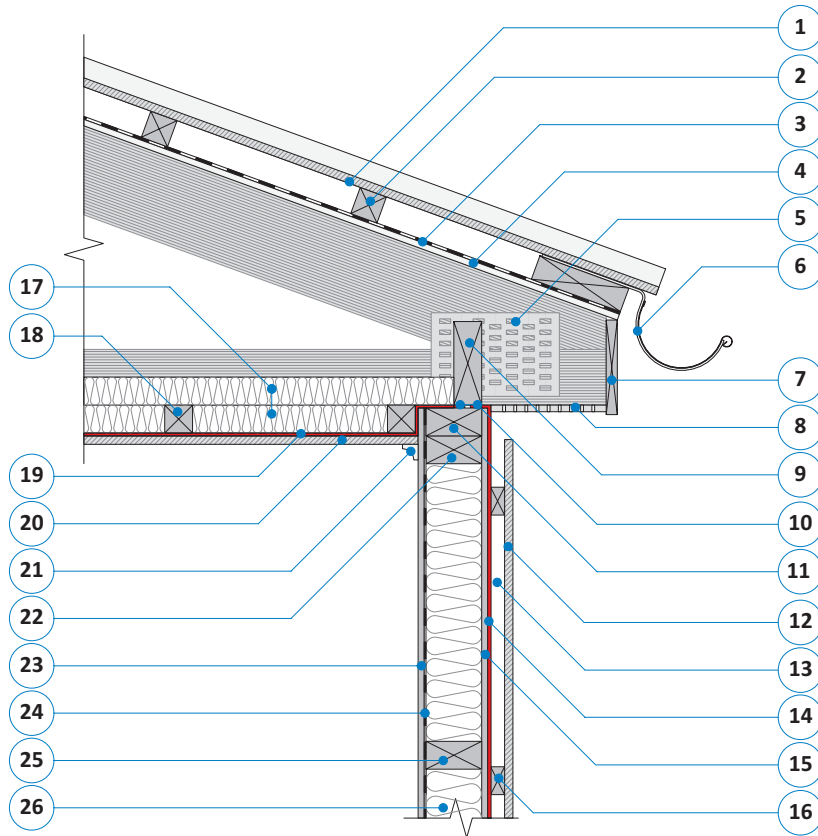
1. Revestimiento techumbre
2. Barrera de humedad
3. Placa arriostrante OSB o contrachapado
4. Costanera
5. Cadeneta
6. Canal de agua lluvia
7. Tapacán
8. Forro alero ventilado
9. Envigado techumbre
10. Solución térmica
11. Solución revestimiento exterior
12. Cámara de aire
13. Barrera de humedad y viento
14. Solución térmica
15. Listón portante cielo
16. Solución cielo
17. Barrera de viento
18. Sello silicona
19. Solera de amarre
20. Solera superior
21. Solución revestimiento interior
22. Barrera de vapor (según localización)
23. Solución térmica
24. Cadeneta intermedia

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de techumbre en base a cerchas, de alero recto ventilado, con entramado vertical de estructura de madera con revestimiento ventilado. Barrera al viento en cielo y exterior de muro, solución de continuidad de membranas bajo cadeneta con cinta de espuma de poliuretano precomprimida.

**RECOMENDACIONES:** Dejar un espacio mínimo de 3cm entre el extremo de la solución de revestimiento exterior y el alero para asegurar el buen funcionamiento de la ventilación del revestimiento. Alero ventilado asegura la entrada y salida del aire para lograr una techumbre ventilada eficiente. Sello bajo la cadeneta de madera ubicada sobre la solera de amarre de los paneles, con cinta de espuma de poliuretano precomprimida para asegurar la hermeticidad al aire y la continuidad de la barrera entre el muro y techo. Asegurar el traslape de 10 cm longitudinal y transversal de la barrera de viento, reforzado con silicona neutra o cinta mono adhesiva. Fijación de la barrera con corchetes cada 20cm a las piezas de madera del entramado. Cuando se intervenga la barrera por la instalación eléctrica (cajas de derivación), se debe sellar alrededor de la caja (Capítulo 8.5).



**3B**



1. Revestimiento techumbre
2. Costanera
3. Barrera de humedad
4. Placa arriostrante OSB o contrachapado
5. Placa acero dentada
6. Canaleta agua lluvia
7. Tapacán
8. Forro alero ventilado
9. Cadeneta.
10. Cinta precomprimida de espuma de poliuretano
11. Solera de amarre
12. Solución de revestimiento exterior
13. Cámara de aire
14. Barrera de humedad y viento
15. Placa arriostrante OSB o contrachapado
16. Distanciator de madera
17. Solución térmica
18. Listón portante cielo
19. Barrera de viento
20. Solución de cielo
21. Corniza y sello silicona
22. Solera superior
23. Solución revestimiento interior
24. Barrera de vapor (según localización)
25. Cadeneta intermedia
26. Protección térmica

## 8.3 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE PUERTAS

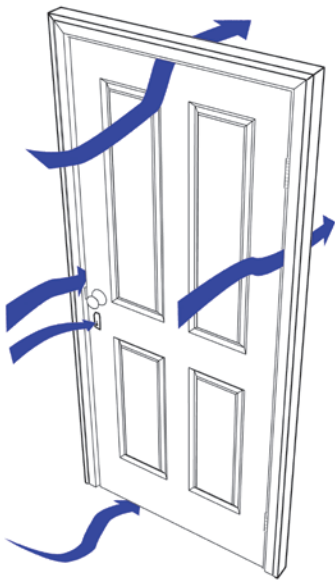
*Autores: Roberto Arriagada B.*

*Haroldo Jerez S.*

*Raúl Soto C.*

*Colaboradora: Carolina Recart Z.*

*Citec UBB*



*Figura 8.9: Principales puntos de infiltración de aire a través de una puerta.*

Cuando pensamos en la hermeticidad de puertas debemos tener presente no sólo el sistema de puerta propiamente tal; hoja-marco- dispositivos de cierre, sino que también el diseño y especificación para su instalación en el vano correspondiente. No se puede perder de vista que la preocupación debe estar centrada en aquellos elementos que forman parte de la envolvente de la edificación y que están en contacto con el exterior y/o con un espacio que no esté acondicionado térmicamente (no habitable).

Al revisar la normativa nacional nos encontramos sólo con normas que establecen métodos de ensayo para determinar la propiedad de permeabilidad al aire de estos elementos, sin considerar las juntas que se generan por la unión entre el vano y el marco de la puerta (NCh892Of.2001, NCh3297:2013) y normas que en función de estos ensayos definen una clasificación (NCh888 Of.2000, NCh3296:2013). Es importante mencionar que actualmente el

Ministerio de Vivienda y Urbanismo envió a consulta pública un anteproyecto de Norma Técnica MINVU NTM 011/2 2014 “Requisitos y Mecanismos de acreditación para el acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior”, que busca establecer requisitos de permeabilidad al aire para puertas y ventanas, poniendo en relación la clase del elemento con la zona climática en donde se emplaza el proyecto.

Evaluaciones experimentales de terreno realizadas por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción CITECUBB, en base al método de ensayo Blower Door Test (UNE EN 13829 y ASTM E779) a viviendas existentes, han permitido estimar el impacto de estos elementos en la hermeticidad total de una edificación, pudiendo representar hasta 2,5 cambios de aire hora a un diferencial de presión de 50Pa (Ver Capítulos 5 y 6).

Para definir estrategias y soluciones orientadas a

lograr una mayor hermeticidad en el cerramiento de puertas, tenemos que tener presente la materialidad, forma de abrir, función específica y el sustrato sobre el cual será instalada, aspectos que condicionan el tipo de solución a desarrollar. Una revisión de las diferentes partes o elementos que conforman el sistema de puerta puede ser interesante al momento de definir las estrategias de hermeticidad, ya que esto nos puede dar indicios sobre puntos susceptibles de infiltración de aire. En la figura 8.9, se muestran los principales puntos de infiltración de aire a través de una puerta.

De esta forma, las principales estrategias de diseño para puertas deben considerar los siguientes aspectos, sin afectar la funcionalidad de ésta:

a) Reducir al máximo la tolerancia entre los vanos y los marcos de puerta:

- Instalar marco de puerta con galce que permita la adaptación al vano de la puerta.

- Especificar la instalación de cintas de caucho de forma perimetral, previo a la instalación del marco. Posteriormente, considerar sello de silicona y/o instalar pilastra de terminación.

b) Reducir al máximo la tolerancia de la hoja de puerta y marco, respecto del nivel de piso terminado.

- En puertas que abren hacia el exterior

(generalmente de acceso secundario), diseñar un zócalo con el nivel de piso, de tal forma que la hoja de la puerta atraque contra éste.

- En puertas que abren hacia el interior (generalmente de acceso principal), especificar la instalación de burletes (zócalos, listones), cintas de PVC o espuma PUR.

c) Reducir al máximo la tolerancia entre la hoja de la puerta y el marco.

- Instalar una hoja y marco de puerta con galce o doble contacto.

- Especificar cintas autoadhesivas aislantes de caucho o espuma PUR por el perímetro del marco de puerta, teniendo presente que éste trabaje a la compresión.

d) Reducir al máximo las tolerancias de las perforaciones para la instalación de las cerraduras, tanto en la hoja como el marco.

- Especificar el sellado perimetral de las perforaciones asociadas al tipo de cerradura (pomo o manilla, embutir, sobreponer), considerando el frontal y la contrafrontal. Para la elección del tipo de sello (silicona) o retape, se tendrá que tener presente la materialidad de la puerta especificada y las indicaciones del fabricante de la puerta.

A continuación se presentan algunas soluciones para mejorar la hermeticidad de puertas en el formato de ficha técnica.

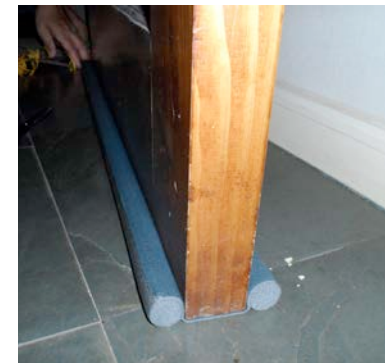
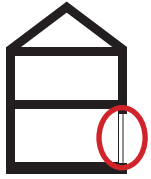


Figura 8.10: Tipos de burletes de puerta para encuentro hoja de puerta con N.p.t.

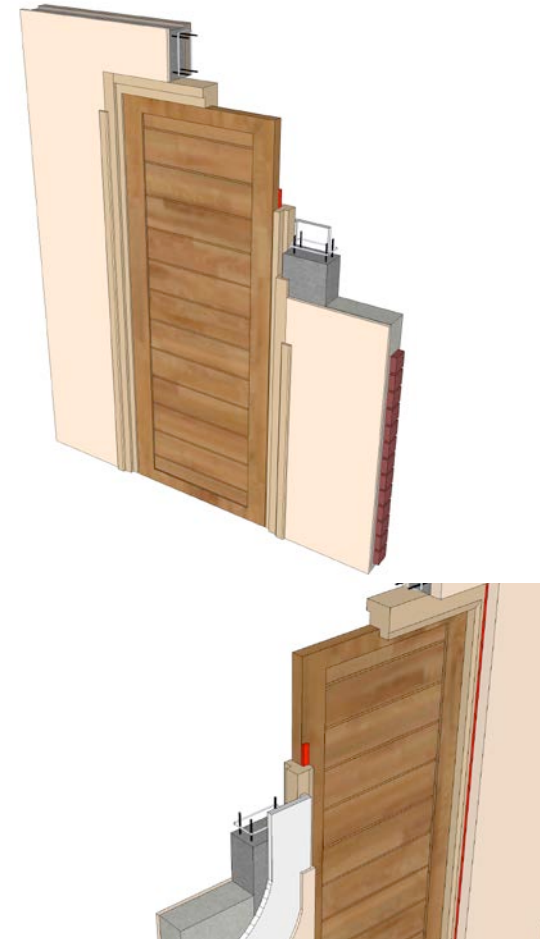
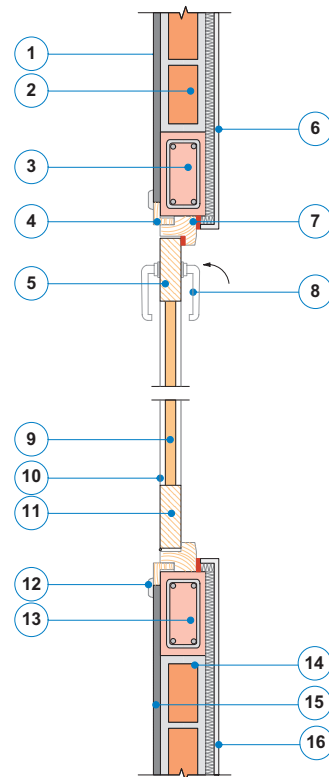
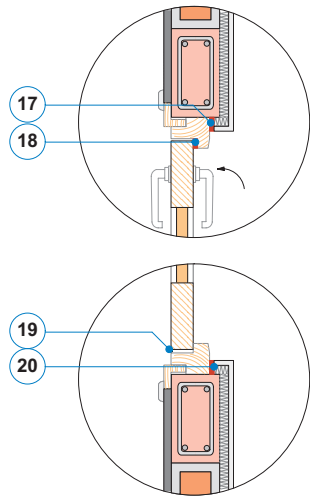


1D

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro rasgo o vano de muro con marco de puerta. Sello de infiltración al aire generado por el propio marco con galce y el refuerzo mediante la instalación de una cinta de caucho pre comprimida previo a la instalación del marco.

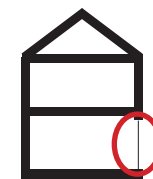
**RECOMENDACIONES:** Verificar la verticalidad del rasgo de la puerta, la desviación no debe superar el  $\pm 0,15$  % de la altura. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación vertical del rasgo. El largo de la pestaña del galce de puerta que va por el interior del muro debe ser  $\geq$  a 25mm

1. Revestimiento interior
2. Muro albañilería
3. Viga hormigón armado
4. Pieza de madera ajustable a galce
5. Batiente puerta
6. Revestimiento EIFS
7. Galce extensible
8. Manilla puerta
9. Tablero
10. Proyección peinazo
11. Larguero
12. Pilastra
13. Viga hormigón armado
14. Muro albañilería
15. Revestimiento interior
16. Revestimiento EIFS
17. Sello silicona
18. Caucho comprimido
19. Visagra puerta
20. Sello silicona

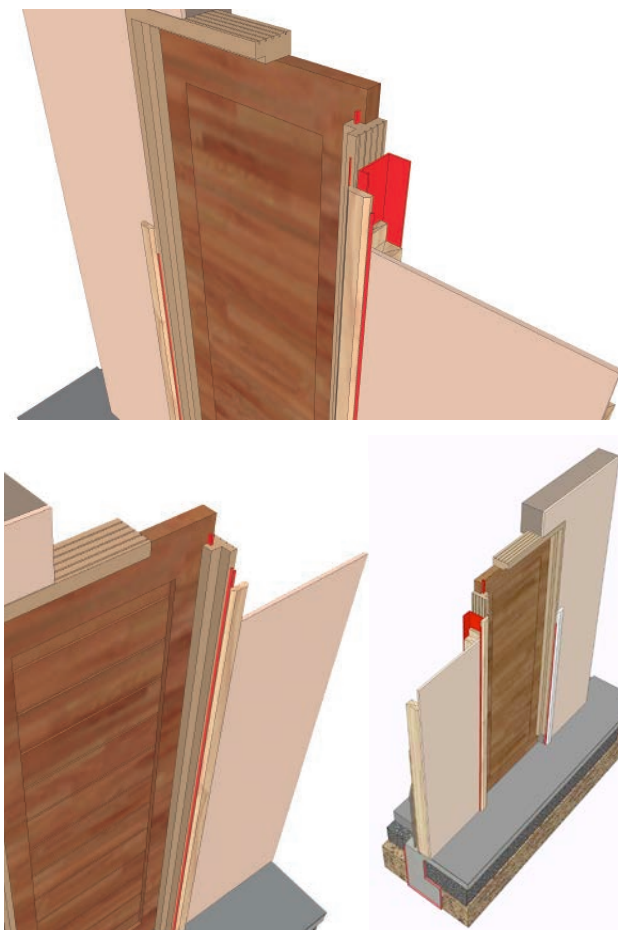
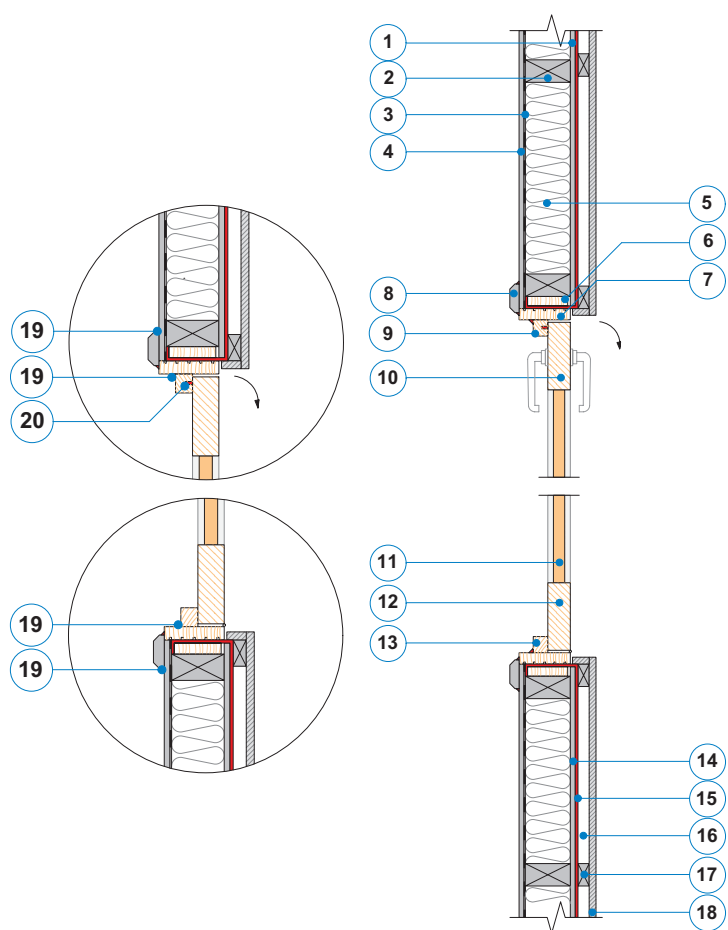


**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro rasgo o vano de muro con marco de puerta. Sello de infiltración al aire generado con la instalación de una cinta de caucho pre comprimida previo a la instalación del marco y el remate mediante una pilastra debidamente sellada con silicona neutra.

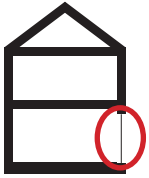
**RECOMENDACIONES:** Verificar la verticalidad del rasgo de la puerta, la desviación no debe superar el  $\pm 0,15$  % de la altura. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación vertical del rasgo. La pilastra debe instalarse de tal forma que cubra a lo menos 10mm del espesor del marco de la puerta.



3D



1. Placa arriostrante OSB o contrachapado
2. Pié derecho
3. Barrera de vapor (según localización)
4. Revestimiento exterior
5. Solución térmica
6. Jamba
7. Marco puerta
8. Pilastra
9. Tope de madera
10. Batiente
11. Tablero
12. Larguero
13. Tope de madera
14. Placa arriostrante OSB o contrachapado
15. Barrera humedad y viento
16. Cámara de aire
17. Distanciador de madera
18. Revestimiento exterior
19. Sello silicona
20. Burlete

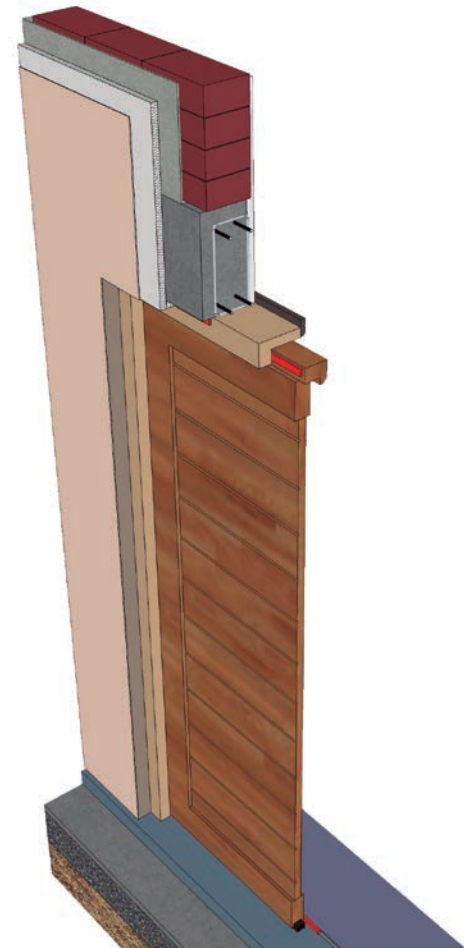
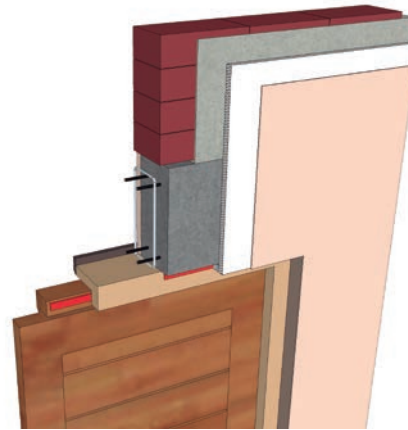
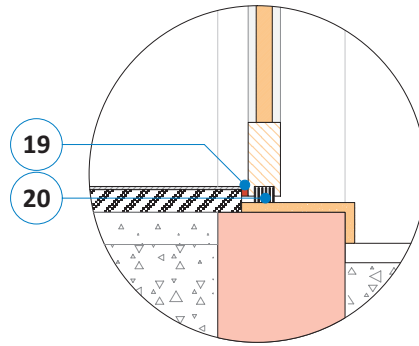
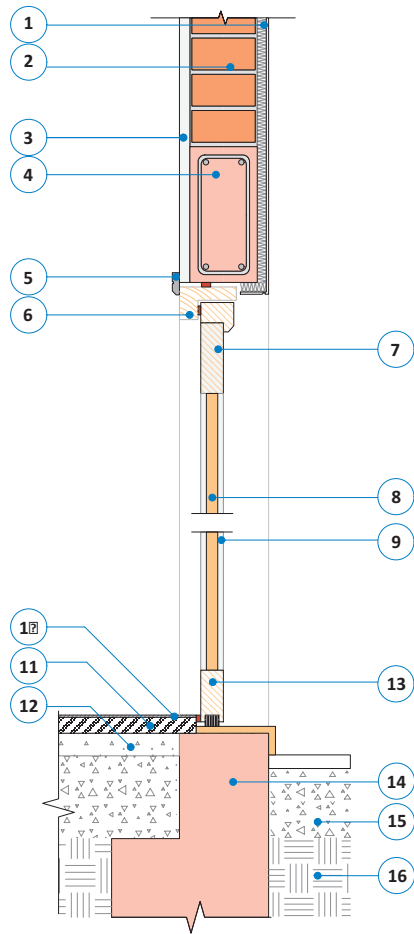


2D

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro de hoja de puerta con nivel de piso terminado. Sello de infiltración al aire generado por desnivel o sócalo y sello en base a cinta de caucho.

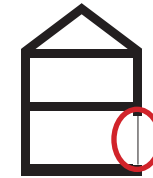
**RECOMENDACIONES:** Verificar la horizontalidad o planeidad del Piso Terminado, la desviación no debe superar 1mm. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación horizontal del zócalo. Esta última no debe superar 1mm

1. Revestimiento EIFS
2. Muro albañería
3. Revestimiento interior
4. Viga hormigón armado
5. Guardapolvo
6. Marco puerta
7. Cabezal
8. Tablero
9. Batiente
10. Solución de pavimento
11. Radier
12. Peinazo
13. Loseta sobre material granular
14. Cimiento hormigón
15. Cama de ripio
16. Suelo compactado
17. Cinta de caucho
18. Burlete
19. Cinta caucho
20. Burlete

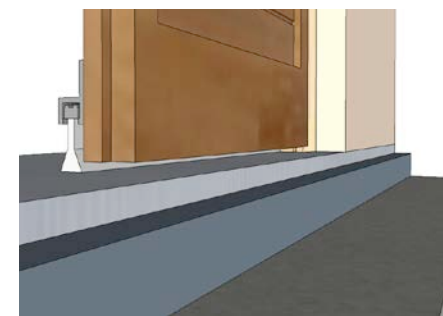
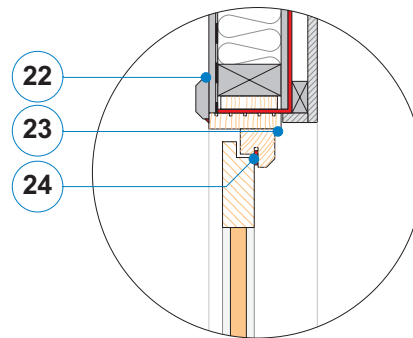
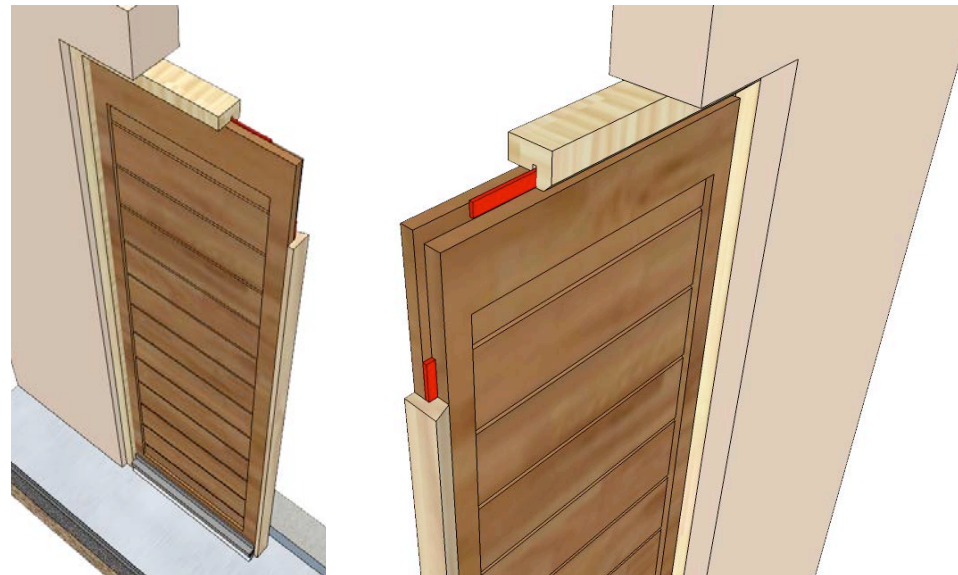
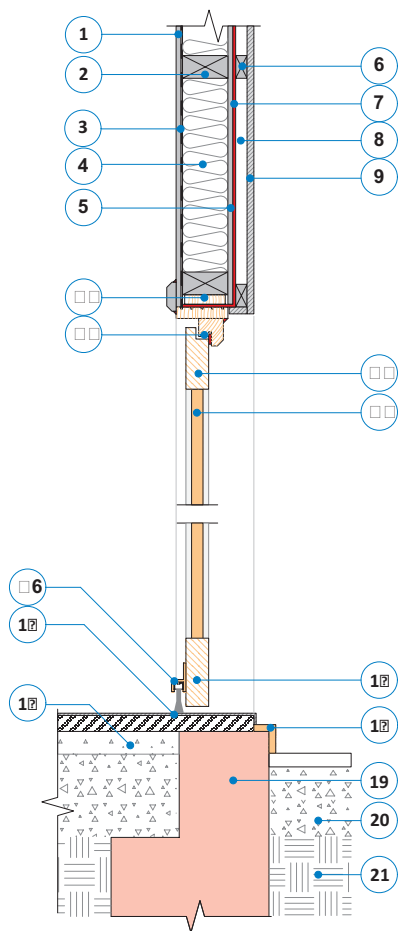


**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Encuentro marco de puerta con hoja de puerta. Sello de infiltración al aire generado por un doble contacto entre la hoja de puerta y marco de puerta. Se refuerza el doble contacto con la instalación de un burlete en uno de los contactos.

**RECOMENDACIONES:** El espesor mínimo de los contactos debe ser de 10mm. El espesor del burlete no debe superar los 5mm. El burlete debe ser instalado en forma continua, se recomienda que en las esquinas a 45° no se realicen cortes. Éste debe encajarse en el marco de la puerta a lo menos 3mm. La berrera de aire del muro debe retornar hacia el encuentro entre el vano y el marco de puerta.



3D



1. Revestimiento interior
2. Pié derecho
3. Barrera de vapor (según localidad)
4. Solución térmica
5. Placa arriotrante OSB o contrachapado
6. Distancador de madera
7. Barrera de humedad y viento
8. Cámara de aire
9. Revestimiento exterior
10. Jamba
11. Marco puerta doble contacto
12. Cabezal
13. Tablero
14. Peinazo
15. Loseta sobre material granular
16. Perfil sujeción mas cepillo
17. Solución pavimento
18. Radier
19. Cimiento hormigón
20. Cama de ripio
21. Suelo compactado
22. Pilastra mas sello silicona
23. Sello silicona
24. Burlete



## 8.4 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE VENTANAS

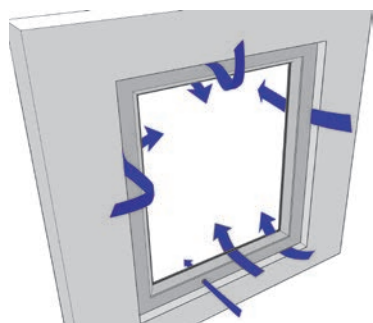
*Autores: Roberto Arriagada B..*

*Haroldo Jerez S.*

*Raúl Soto C.*

*Colaboradora: Carolina Recart Z.*

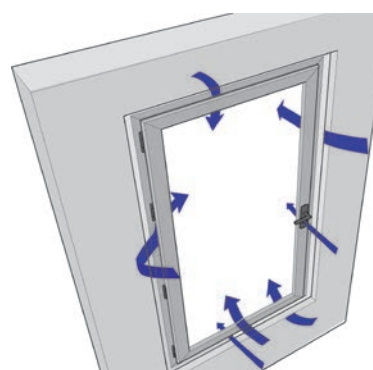
*Citec UBB*



*Figura 8.11: Principales puntos de infiltración de aire en ventanas fijas.*

Los criterios para mejorar la hermeticidad de las ventanas son similares a los considerados para puertas; debemos centrarnos no sólo en el sistema de ventana propiamente tal; hoja-marco-dispositivos de cierre y de evacuación de aguas, sino que también en la forma como se resuelve su instalación en el vano. Como ya hemos visto, debemos preocuparnos de aquellos elementos que forman parte de la envolvente de la edificación y que están en contacto con el exterior y/o con un espacio que no esté acondicionado térmicamente (no habitable).

El nivel de impacto que generan las ventanas en una edificación va a depender principalmente de la condición de apertura y tamaño de ésta, pudiendo generarse hasta 2 cambios de aire hora de infiltración cuando se somete a un diferencial de presión de 50Pa (Ver Capítulos 5 y 6 ).



*Figura 8.12: Principales puntos de infiltración de aire en ventanas abatibles.*

Al revisar la normativa nacional, el panorama no es muy distinto al que nos encontramos con las puertas. Existen normas para realizar los ensayos de permeabilidad al aire y normas que permiten clasificar las ventanas en función de esta propiedad. En la Norma Técnica MINVU 011/2 2014, que actualmente se encuentra en consulta pública, se establecen los requisitos de permeabilidad al aire de la misma forma que para las puertas, en función de la zona en donde está ubicado el proyecto.

Las estrategias y soluciones de hermeticidad deben considerar la materialidad, tipo de acristalamiento, dispositivos de cierre, forma de apertura y sustrato sobre el cual será instalada, sin olvidar el tamaño, ya que muchos sistemas de ventanas tienen restricciones en este sentido, asociadas principalmente a la resistencia de cargas de viento a las cuales se verá sometida durante su vida útil.

Un análisis detallado del sistema de ventana seleccionado puede servirnos para identificar probables puntos de infiltración de aire. En las figuras 8.11 a la 8.15 se muestran los puntos más comunes de infiltración de aire de las ventanas en atención a su forma de apertura, sea ésta fija, abatible, corredera, de movimiento compuesto o proyectante.

De esta forma, las principales estrategias de diseño para ventanas deben considerar los siguientes aspectos, sin afectar la funcionalidad de ésta:

**a) Reducir al máximo la tolerancia entre los vanos y los marcos de ventana:**

- Instalar un pre-marco de ventana con galce, o dejar en el rasgo de la ventana un zócalo interior de tal forma que la ventana atraque contra este elemento.
- Especificar la instalación de cintas de caucho perimetralmente, previo a la instalación del marco.
- Especificar sellado perimetral entre el marco y el rasgo, teniendo presente la materialidad de la ventana y la del rasgo. Se debe seguir las recomendaciones del fabricante del sellador a utilizar, en cuanto a tu aplicabilidad e instalación.

**b) Reducir al máximo los canales de comunicación entre el interior y el exterior a través de los sistemas de ventanas.**

- Para efectos de dimensionar la permeabilidad al aire de la ventana, exigir la realización del ensayo descrito en la NCh892Of.2001.
- Especificar la instalación de deflectores con aletas en los despiches o evacuaciones exteriores (Figura 8.13).

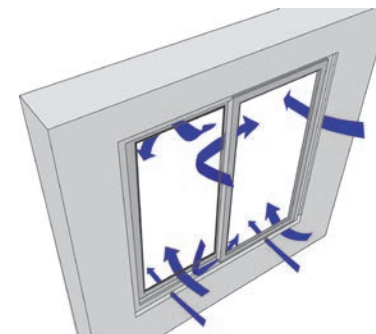


*Figura 8.13: Deflectores con aletas.*

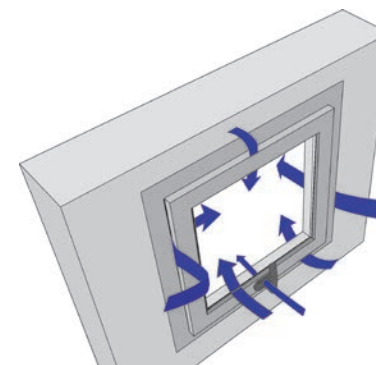
- Especificar que las perforaciones para las evacuaciones de agua generadas en el interior del marco no se encuentren en la misma línea que las perforaciones generadas en el exterior. Se deberá consultar al fabricante del sistema, no obstante se recomienda un desfase de a lo menos 100mm.

- Especificar, para el caso de ventanas correderas, topes estancos en la parte superior e inferior del encuentro entre las hojas y el marco, los cuales pueden de ser caucho/felpa o PVC, según recomendación del fabricante del sistema de ventana.

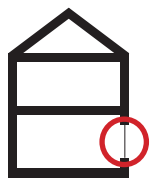
- Especificar que todos los burletes, siliconas y felpas, indistintamente de función (acristalamiento, calce de contacto, otra), deben corresponder a los definidos por el fabricante del sistema de ventana, dependiendo de la línea y condición de exposición. Todo burlete, silicona y felpa, no debe perder su continuidad.



*Figura 8.14: Principales puntos de infiltración de aire en ventanas correderas.*



*Figura 8.15: Principales puntos de infiltración de aire en ventanas de movimiento compuesto.*

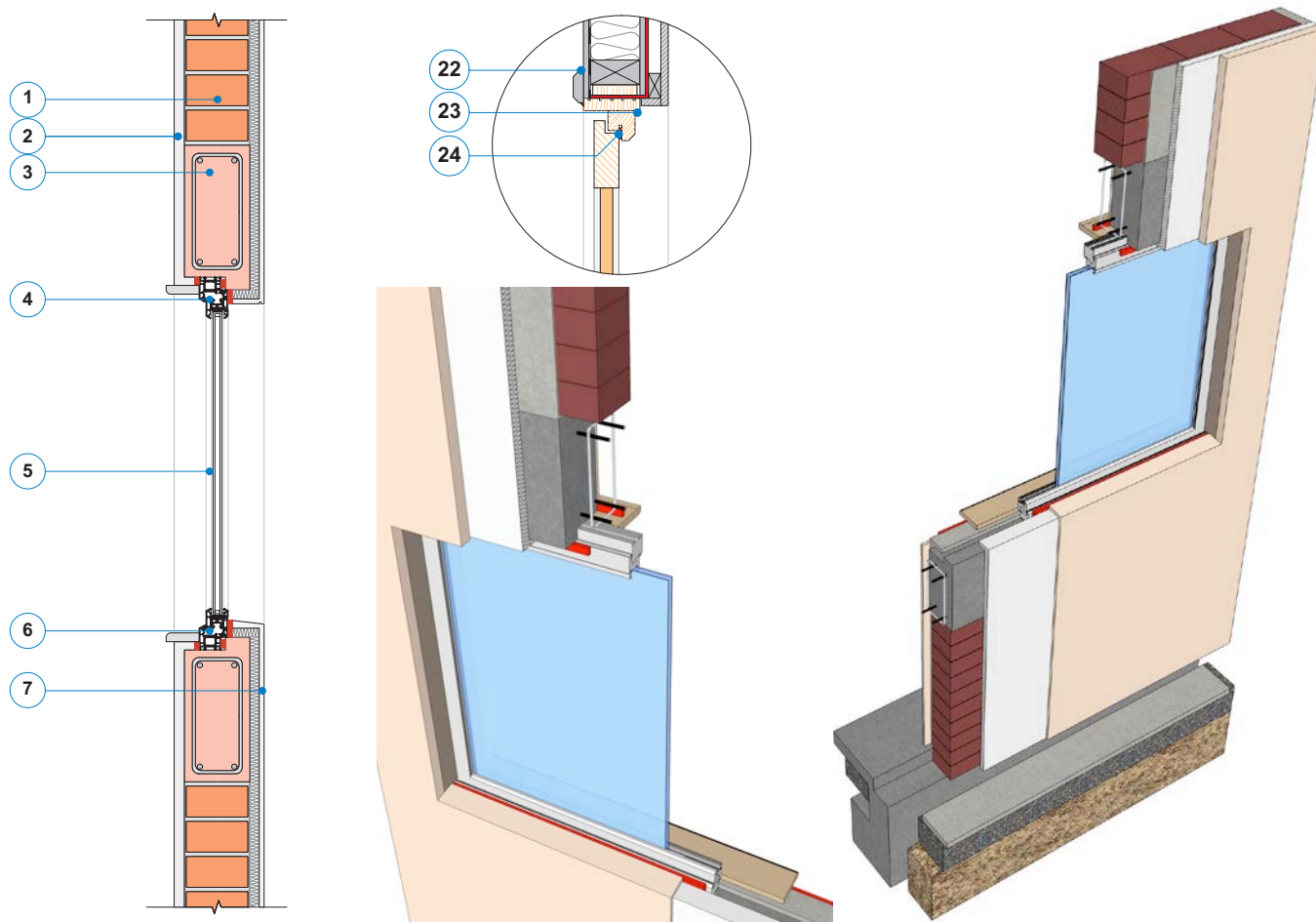


2C

### DESCRIPCIÓN GENERAL:

Encuentro rasgo o vano de muro con marco de ventana. Sello de infiltración al aire generado por zócalo en el rasgo de la ventana, el cual es reforzado con la instalación de una cinta de caucho pre comprimida previo a la instalación del marco.

**RECOMENDACIONES:** Verificar la verticalidad y horizontalidad del rasgo de la ventana y zócalo, la desviación no debe superar el  $\pm 0,15\%$  del lado respectivo del vano. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación del zócalo. Previa instalación del marco de la ventana el rasgo debe estar impermeabilizado. Se debe sellar con silicona el encuentro perimetral del marco con el rasgo, por el exterior con silicona neutra y por el interior con silicona acrílica.



1. Muro albañilería
2. Revestimiento interior
3. Viga hormigón armado
4. Marco ventana
5. Ventana
6. Marco ventana
7. Revestimiento EIFS
8. Sello silicona
9. Cinta caucho
10. Sello silicona

## 8.5 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE INSTALACIONES

*Autores: Cristián Muñoz V.  
Citec UBB  
John Fookes  
Alexander Fritz C.  
Decon UC*

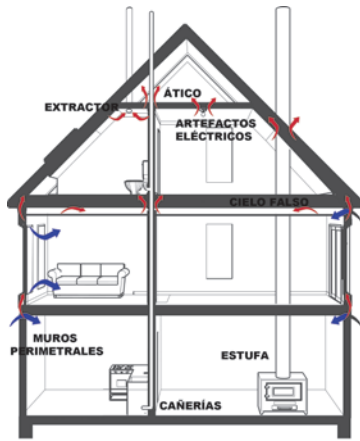


Figura 8.16: Puntos de fuga de aire en ductos de instalaciones

Las infiltraciones de aire no deseado producto de las instalaciones eléctricas o de ductos en una edificación, no han sido propiamente valoradas ni cuantificadas, y por ende, el impacto real en la hermeticidad al aire ha sido subestimado. La sumatoria de estas perforaciones tiene un importante impacto en el desempeño de la membrana al aire, por lo que hay que considerar sus soluciones constructivas desde la etapa de diseño, para así simplificar su implementación y ejecución en obra.

Debido a esto, es primordial limitar el número de penetraciones al sistema de barrera de aire, y en caso de ser necesarias, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Alrededor de los ductos de ventilación y calefacción, canalización eléctrica, u otro, se recomienda dejar espacio adecuado para realizar un sello posterior a su instalación. Esto a través de mangas flexibles o semirrígidas de caucho, PVC o metal; que permitan el paso de ductos por losas o muros, asegurando la continuidad de la membrana de vapor y humedad, y así también facilitar el posterior sello hermético con sellos de relleno tipo espumas, sellos de cintas, o sellos especializados que permitan cierta flexibilidad, dado los posibles movimientos entre los ductos y el sustrato o manga.



Figura 8.17: Proceso de sello en ductos

- En el caso de ductos calientes, utilizar una manga resistente al agua y temperaturas altas, sellando el espacio entre la manga y las membranas.

Es recomendable utilizar elementos no combustibles para generar el sello de estanquidad alrededor del ducto caliente, como por ejemplo, la utilización de una placa de metal que se ajuste al diámetro del ducto, y en su interior, elementos intumescentes para complementar el sellado. La placa debe ser unida/sellada a la barrera de vapor.

- En caso de tener que cumplir con requerimientos de cortafuego, se recomienda utilizar mangas de metal, instalar un sello resistente a fuego, y cubrir el sello con un revestimiento que complemente las exigencias contra el fuego.

- En el caso de las canalizaciones eléctricas, es recomendable que el tablero eléctrico sea instalado en la zona estanca, e identificar cada ducto, caja de distribución, enchufe, interruptor, luminaria o perforación que conecte con la zona no estanca, con el fin de sellar tanto el área alrededor de éstos, en contacto con la membrana, como también sellar el interior del ducto con los cables instalados con sellos de adhesión tipo silicona o de relleno tipo espuma, según sea el más indicado. De esta manera se evita la infiltración de aire no deseado tanto a través de la membrana como por los ductos.

Precaución general:

- Realizar una prueba de infiltraciones a nivel local antes de colocar las placas de terminación, con el fin de identificar filtraciones y reparar la

membrana de forma simple y oportuna, antes de proceder con la instalación del revestimiento y/o terminaciones.

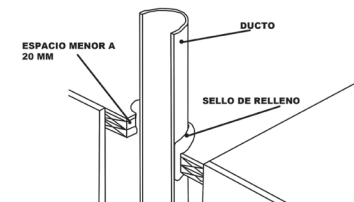


Figura 8.18: sello de relleno en ductos.

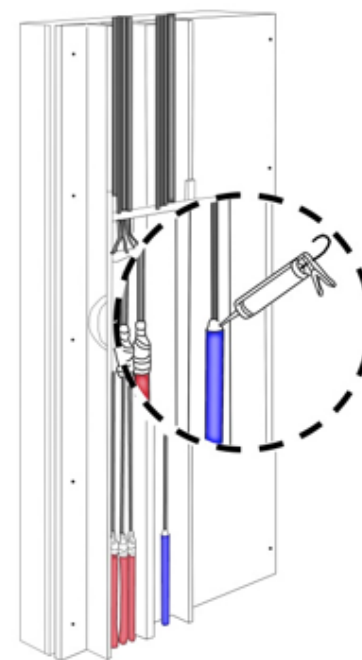
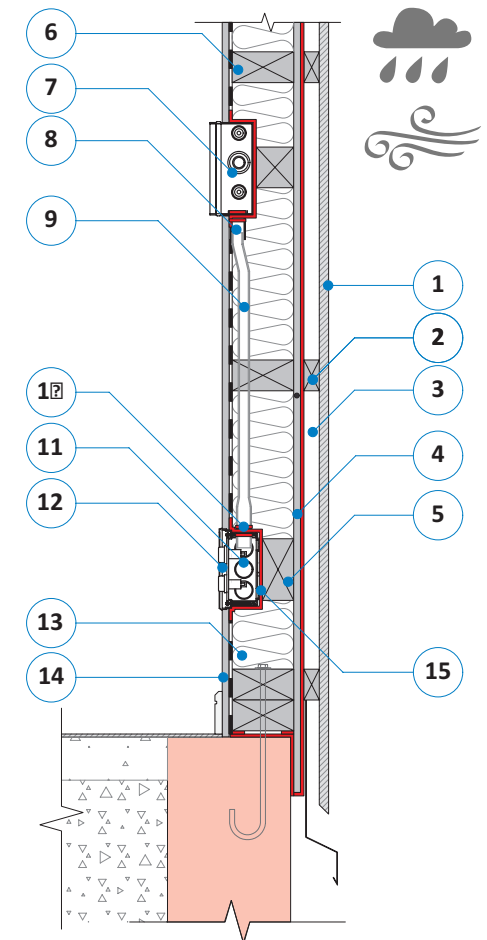
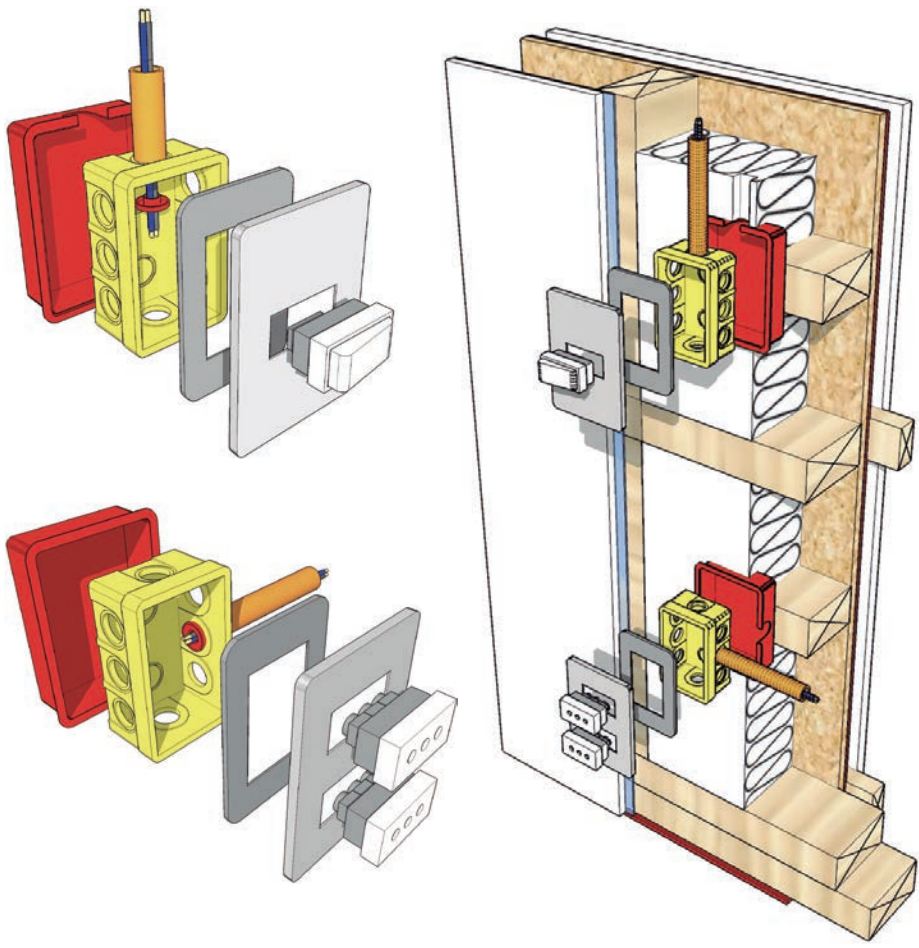
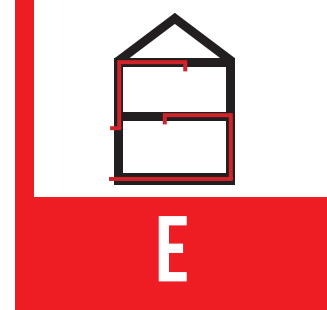


Figura 8.19: sellado en canalizaciones eléctricas

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Cajas eléctricas y canalizaciones en pvc empotradas en muro de estructura de madera con aislación térmica de 70mm. Respaldo de madera tras las cajas eléctricas y , sello hermético para la caja y el acceso de las canalizaciones.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar disponer las cajas contra elementos de respaldo de madera evitando intervenir las piezas estructurales. Disponer las cajas dentro de elementos herméticos preformados, rellenar con espuma de poliuretano o conformar la cavidad con membrana hermética asegurando su fijación con cinta de sello en todo su perímetro y teniendo especial cuidado en la zona donde se empalma la canalización. Reforzar la unión caja con canalización a través de un sello de goma o terminal de dos piezas que asegure la hermeticidad de la caja. Es recomendable tener especial cuidado en las cajas empotradas dispuestas hacia el exterior.



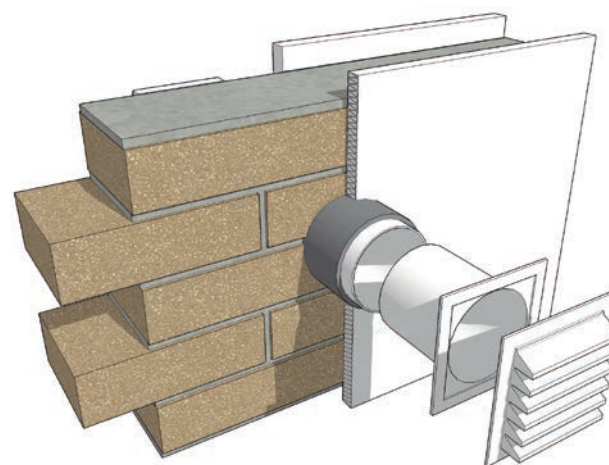
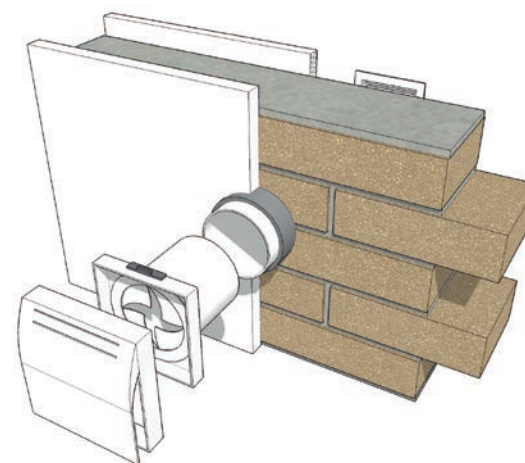
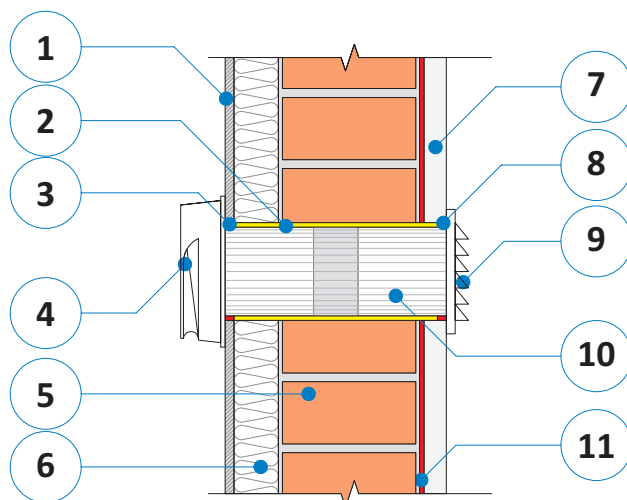
- 1. Solución revestimiento exterior.
- 2. Distanciator de madera
- 3. Cámara de aire
- 4. Placa arriostante
- 5. Pieza de respaldo
- 6. Cadeneta intermedia
- 7. Caja eléctrica
- 8. Salida caja PVC
- 9. Canalización eléctrica pvc ø 16 mm
- 10. Pié derecho
- 11. Sello de goma o terminal
- 12. Caja eléctrica enchufe doble
- 13. Solución térmica
- 14. Solución de revestimiento interior
- 15. Relleno con espuma de poliuretano o membrana envolvente preformada con cinta de sello perimetral



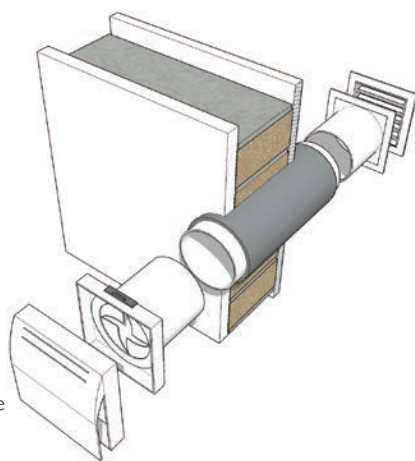
F

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Perforación en muro de albañilería confinada con terminación interior de estuco y exterior en sistema eifs. ducto de diámetro 100mm para sistema de ventilación pasiva. perforación diámetro mayor a 100mm con encamisado de poliuretano o relleno de poliuretano inyectado. terminaciones en ambas caras dependerá del tipo de revestimiento.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar que la perforación sea horizontal o con una leve pendiente al exterior. Disponer de una holgura regular de a lo menos 5mm para colocar el encamisado de poliuretano. perforaciones de mayor holgura o irregulares compensar o reemplazar con relleno de poliuretano inyectado. La terminación hacia ambos la dos del muro dependerá del tipo de revestimiento lo que puede variar desde yeso a siliconas u otro componente de sello.

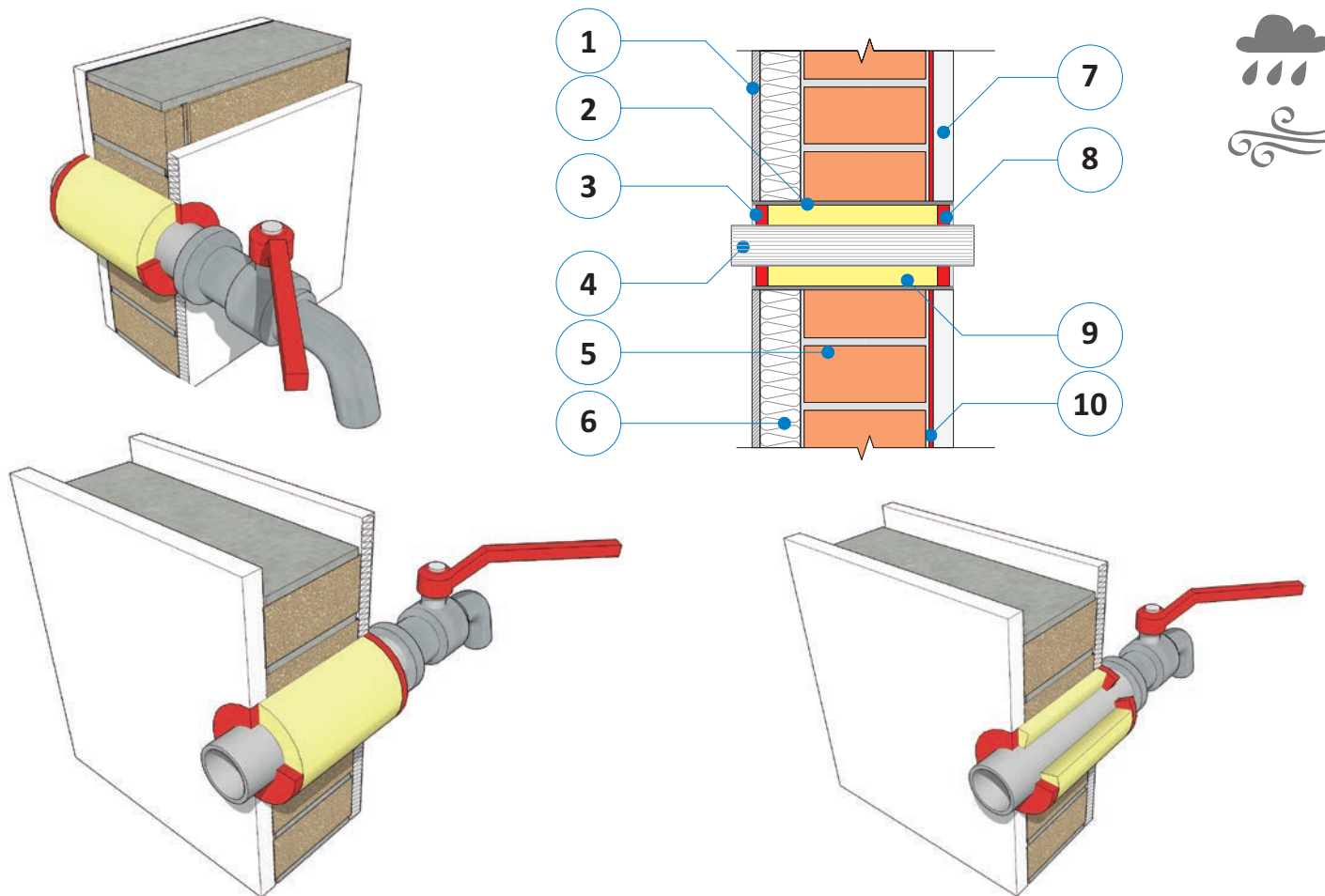


1. Solución revestimiento interior
2. Encamisado de poliuretano o relleno de poliuretano inyectado
- 3 Sello de terminación interior
4. Dispositivo de ventilación natural interior
5. Albañilería confinada
6. Solución térmica
7. Solución revestimiento exterior
8. Sello de terminación exterior
9. Celosía exterior de sistema de ventilación natural
10. Ducto de ventilación con filtro de polen y polvo
11. Barrera de humedad y viento



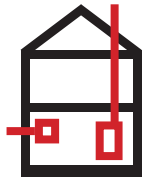
**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Cajas eléctricas y canalizaciones en pvc empotradas en muro de estructura de madera con aislación térmica de 70mm. Respaldo de madera tras las cajas eléctricas y , sello hermético para la caja y el acceso de las canalizaciones.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar disponer las cajas contra elementos de respaldo de madera evitando intervenir las piezas estructurales. Disponer las cajas dentro de elementos herméticos preformados, rellenar con espuma de poliuretano o conformar la cavidad con membrana hermética asegurando su fijación con cinta de sello en todo su perímetro y teniendo especial cuidado en la zona donde se empalma la canalización. Reforzar la unión caja con canalización a través de un sello de goma o terminal de dos piezas que asegure la hermeticidad de la caja. Es recomendable tener especial cuidado en las cajas empotradas dispuestas hacia el exterior



1. Solución revestimiento interior:
2. Perforación en muro
3. Sello de terminación interior
4. Ducto
5. Albañilería confinada
6. Solución térmica
7. Solución revestimiento exterior
8. Sello terminación exterior
9. Relleno poliuretano inyectado
10. Barrera de humedad y viento

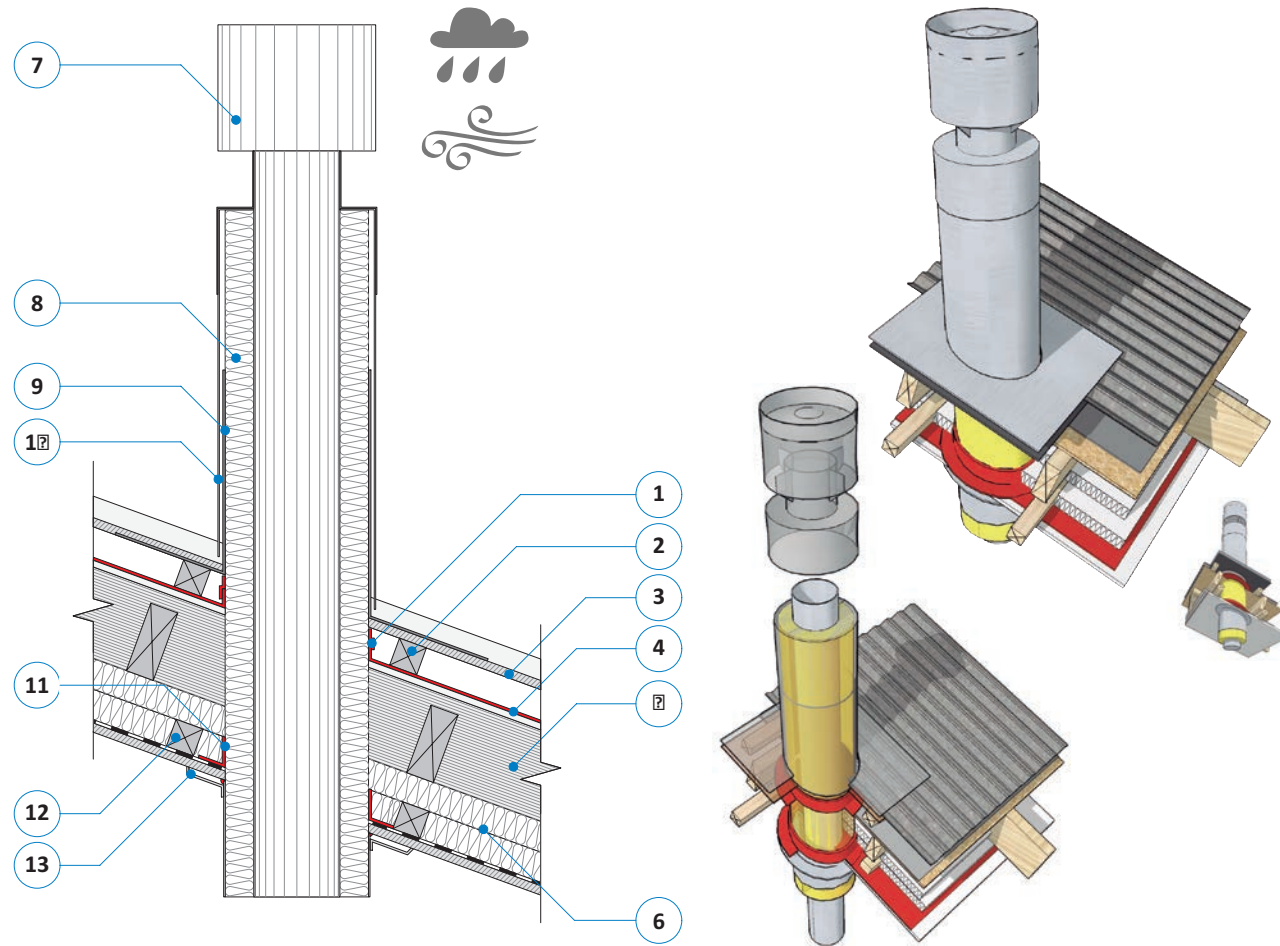




F

**DESCRIPCIÓN GENERAL:** Perforación ducto cubierta inclinada metálica con sellos en unión de barreras y soluciones de unión con cubierta, placa arriostrante y cielo interior.

**RECOMENDACIONES:** Asegurar utilizar elementos termoresistente en las uniones cercanas y en contacto con elementos posibles de transmisión de calor desde el ducto interior principal, Asegurar disponer ducto principal revestido de material aislante y termoresistente dentro de ductos de salida sobre plano de cubierta. Reforzar la discontinuidad de las barreras con elementos de sello termoresistente con a lo menos 10 cm. de traslape. Es recomendable que el tubo de ajuste se eleve a lo menos 35 cm sobre el plano de cubierta en su punto más desfavorable.



1. Solución sello barrera humedad y viento
2. Costanera
3. Solución de cubierta
4. Barrera de humedad y viento
5. Envidado de techumbre
6. Solución térmica
7. Remate de ducto
8. Solución termo resistente
9. Manta membrana asfáltica termoresistente
10. Tubo exterior
11. Solución sello barrera de vapor
12. Listón portante cielo
13. Remate interior y sello termoresistente

---

## 8.6 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE EDIFICACIONES EXISTENTES

*Autores: Roberto Arriagada B.  
Haroldo Jerez S.  
Raúl Soto C.  
Citec UBB*

Como hemos visto en los capítulos anteriores, en una edificación existen distintas fuentes de fugas de aire, las cuales pueden estar asociadas a los elementos constructivos que conforman la envolvente de éstas (puertas, ventanas, muros, pisos, cielos); al sistema constructivo propiamente tal (encuentros o uniones); y a las distintas instalaciones que pasan o intervienen dicha envolvente (eléctricas, sanitarias, calefacción, refrigeración, ventilación, otras).

Las causas de la generación de estas fuentes de fugas, pueden ser diversas: falta de especificaciones técnicas y detalles asociados a la hermeticidad, falta de supervisión y control durante el proceso de ejecución de las obras, falta de mantención durante su ocupación, eventos de fuerza mayor, etc.

Hoy en día es posible realizar un diagnóstico de la hermeticidad al aire de una edificación existente, para lo cual es necesario llevar a cabo el ensayo

conocido como Blower Door Test de acuerdo a una de las siguientes normas: NCh3295:2013, UNE EN 13829-2002, ASTM E - 779 -10 (Ver capítulo 4). Combinando esta técnica de ensayo con la instalación de una máquina de humo al interior del recinto que se busca evaluar, se pueden detectar visualmente los puntos de fuga y así orientar de mejor forma las estrategias de mejora o soluciones.

En términos generales, dependiendo de la fuente de fuga, existen distintas soluciones, por lo que la aplicación de una u otra va a depender de la inversión que se esté dispuesto a realizar, ya que dependiendo del caso, podríamos estar frente a una acción de reemplazo; cambiar un elemento por otro, o de mejora; instalar un dispositivo o elemento no considerado inicialmente. Cuando nos enfrentamos a una situación de reemplazo (por ejemplo, cambiar las ventanas, puertas, revestimientos), debemos procurar que el nuevo elemento posea características de permeabilidad al aire mejoradas, exigiendo cuando

sea posible certificados de ensayo que avalen dicha condición (Ver apartado 4.3 del capítulo 4). Al enfrentarnos a una situación de mejora, debemos procurar que los nuevos dispositivos se ajusten a las fuentes de fugas detectadas, considerando aspectos tales como la funcionalidad, durabilidad y condición de exposición.





En el mercado existen diversos tipos de productos, siendo los más conocidos aquellos que están

asociados a mejorar la hermeticidad de puertas y ventanas; burletes, felpas y zócalos.

En atención a la función, los podemos ordenar de la siguiente forma:

- Para reducir la abertura generada entre la puerta y el nivel de piso terminado. Se recomienda la utilización de zócalos de puerta. En tabla 8.2 se muestran algunos de estos dispositivos disponibles en el mercado.




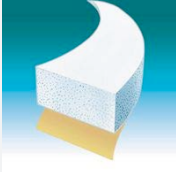
Tabla 8.2: Zócalos de puerta.

Tipo	Imagen
Burletes de PVC y goma, autoadhesivo	
Burlete metálico y felpa atornillada	
Burlete metálico articulado	
Burlete de sello doble de espuma	

- Para reducir la abertura generada entre la hoja de puerta u hoja practicable de una ventana y el marco, lo más apropiado es utilizar burletes y

felpas. En tabla 8.3 se muestran algunos productos de esta naturaleza.

**Tabla 8.3:** Burletes para encuentros hoja-marco de puertas y ventanas

Tipo	Imagen
Burletes de caucho, Perfil P	
Burletes de caucho, Perfil D	
Burletes de caucho, Perfil E	
Espumas autoadhesivas	

En general la instalación de estos productos es sencilla y no requiere de mayor especialización, no obstante, se deben seguir las recomendaciones de instalación del fabricante.

Otras soluciones para edificaciones existentes, están asociadas al sellado de singularidades constructivas, tales

como encuentros (muro-piso, muro-cielo, entre otras) e instalaciones (eléctricas, ventilación) que intervienen en las envolventes de una edificación.

En el cuadro 8.4 se presentan distintas técnicas de sellado, ordenadas de acuerdo al tipo de singularidad y las materialidades que se ven involucradas.

**Tabla 8.4:** Técnicas de sellado para singularidades.

Descripción singularidades o puntos de infiltración de Aire	Materialidad	Técnica de sello recomendada
Encuentro entre pisos y muros exteriores	Hormigón/madera	Aplicar silicona neutra estructural en grietas $\leq$ a 5mm de espesor. Inyección de espuma rígida de poliuretano en fisuras $>$ a 5mm de espesor
	Hormigón/ acero Madera/ Madera Madera/acero	
Encuentros en “L” y “T” en muros exteriores	Maderas	Aplicar silicona neutra estructural en grietas o aperturas $\leq$ a 5mm de espesor.
	Acero	Inyección de espuma rígida de poliuretano en fisuras o grietas $>$ a 5mm de espesor.
Unión de rasgo de vano con marco de puertas o marco de ventanas (exteriores)	Estuco / Madera, Aluminio, PVC	Aplicar silicona neutra estructural en aperturas $\leq$ a 5mm de espesor.
	Madera/ Madera, Aluminio, PVC	Inyección de espuma rígida de poliuretano en aperturas $>$ a 5mm de espesor
Uniones entre muro, cielos y techumbres	Madera	Aplicar sello de silicona neutra por todo el perímetro de la junta interior muro-cielo.
	Estuco/ Madera	Aplicar cinta autoadhesiva.
	Yeso cartón	Instalar cornisa de poliestireno expandido con adhesivo.
Ductos de Instalaciones y otras perforaciones	Muros de hormigón o madera	Aplicar sellos de espuma de poliuretano por el contorno exterior del ducto o tubería.
	Losas de hormigón, o entrepisos de madera	Aplicar sellador elástico de poliuretano por el contorno exterior del ducto o tubería.
Celosías y Aireadores	Muros de hormigón o madera	Aplicar sellos de espuma de poliuretano por el contorno exterior del ducto o tubería.
	Losas de hormigón, entrepisos de madera y techumbre	Aplicar sellador elástico de poliuretano por el contorno exterior del ducto o tubería. Si son fijos, analizar posibilidad de cambio por celosías o aireadores con posibilidad de cierre.
Extractores	Muros de hormigón, albañilerías, madera y acero.	Aplicar silicona neutra por el perímetro. Si la comunicación es directa con el exterior, ver posibilidad de cambio (a través de shafts o ductos) o protección, teniendo presente las pérdidas de carga asociadas.

---

## BIBLIOGRAFÍA

ASTM E779 – 10. Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization.

Instituto Nacional de Normalización. (2001). NCh892 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayo de estanquidad al aire

Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción. (2009). Manual de Tolerancias en la Edificación Habitacional.

Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh3296 Puertas y ventanas - Permeabilidad al aire - Clasificación

Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh3297 Puertas y ventanas - Permeabilidad al aire - Método de ensayo

Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh3327/I Prevención del delito - Parte I: Requisitos y clasificación para puertas y ventanas resistentes a la intrusión

Instituto Nacional de Normalización. (2001). NCh345/1 Cerraduras para puertas - Parte I: Terminología y clasificación

Instituto Nacional de Normalización. (2001). NCh345/2 Cerraduras para puertas - Parte 2: Requisitos generales

Instituto Nacional de Normalización. (2001) .NCh345/5 Cerraduras para puertas - Parte 5: Ensayos para cerraduras de embutir

Instituto Nacional de Normalización. (2004) NCh354 Hojas de puertas lisas de madera - Requisitos generales

- 
- Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh3295 Construcción – Determinación de la tasa de fuga de aire mediante el método de presurización del ventilador
- Instituto Nacional de Normalización. (2000) NCh446 Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Terminología y clasificación
- Instituto Nacional de Normalización. (2000) NCh447 Carpintería - Modulación de ventanas y puertas.
- Instituto Nacional de Normalización. (2001) NCh523 Carpintería de aluminio - Puertas y ventanas – Requisitos
- Instituto Nacional de Normalización. (2004) NCh723 Hojas de puertas lisas de madera - Métodos de ensayo
- Instituto Nacional de Normalización. (2005) NCh1258/5 Sistemas personales para detención de caídas - Parte 5: Conectores con puertas de trabado automático y de cierre automático
- Instituto Nacional de Normalización. (2003) NCh2808 Puertas, ventanas, tragaluces y muros cortinas exteriores - Determinación de la penetración del agua por diferencia de presión de aire estático cíclico o uniforme - Método de ensayo en terreno
- Instituto Nacional de Normalización. (2000). 891 Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Ensayo de estanquidad al agua
- Instituto Nacional de Normalización. (2000). NCh2496 Arquitectura y construcción - Ventanas - Instalación en obra
- Instituto Nacional de Normalización. (1957). NCh355 Ventanas de madera
- Instituto Nacional de Normalización. (2000). NCh888 Arquitectura y construcción - Ventanas - Requisitos básicos

---

Instituto Nacional de Normalización. (2001). NCh889 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayos mecánicos

Instituto Nacional de Normalización. (2000). NCh890 Arquitectura y construcción - Ventanas - Ensayos de resistencia al viento

Instituto Nacional de Normalización. (2000). NCh891 Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Ensayo de estanquidad al agua

Corporación de Desarrollo Tecnológico, (2011). Recomendaciones Técnicas para la especificación de ventanas, Documento Técnico N°28.

UNE-EN 13829:2002. Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.





# **CAPITULO 9:** VENTILACIÓN, CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y HERMETICIDAD

ARIEL BOBADILLA M.

COLABORADOR: ALEX GONZÁLEZ C.  
CITEC UBB



# VENTILACIÓN, CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y HERMETICIDAD

Se entiende por ventilación al cambio de una porción de aire que se considera indeseable por otra de mejor calidad, que mejora su pureza, temperatura, humedad, etc. El objetivo de la ventilación de los edificios es, precisamente, mantener la calidad del aire interior para asegurar tanto la salud de sus ocupantes como la conservación y el funcionamiento del edificio. La ventilación implica el suministro y extracción de aire de una zona o recinto del edificio y los costos asociados a movilizar y eventualmente acondicionar el aire (filtrar, enfriar, calentar, etc.). Una buena estrategia de ventilación supone hoy cumplir los objetivos de ésta con costos mínimos óptimos.

El “mal desempeño de la ventilación” es una causa que aparece cada vez más frecuentemente en los diagnósticos de patologías constructivas y enfermedades de la población (Jones, 1999). El deterioro de viviendas producto de la condensación y moho, se explica muchas veces por la baja renovación de aire de los recintos. En otro ámbito, enfermedades oculares, cutáneas, bronquiales, pulmonares y otras; como dolor de cabeza, dificultades para concentrarse e irritabilidad, se

explican también como consecuencia de habitar recintos con bajo nivel de renovación de aire interior.

La ventilación y calidad del aire interior de un edificio está determinada por una serie de parámetros, entre los cuales se incluyen: la calidad del aire exterior; el tipo y volumen de fuentes contaminantes presentes en el edificio; el diseño del sistema de ventilación y de sus condiciones de operación y mantenimiento; la hermeticidad al aire de la construcción y; de manera muy importante, la capacidad del ambiente natural para ventilar y eventualmente refrigerar.

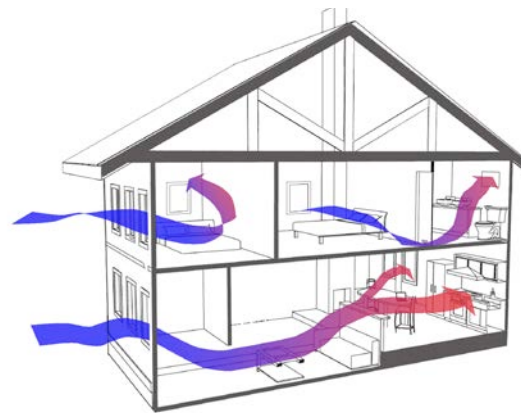


Figura 9.1: Esquema de ventilación de una vivienda

Este Manual se concentra fundamentalmente en el sellado y hermeticidad de las edificaciones con el objeto de limitar su demanda energética. Esta preocupación, sin embargo, puede producir una grave disfunción, si no se aborda conjuntamente el problema de la hermeticidad de la envolvente con el de la solución prevista para la ventilación. Reducir las infiltraciones supone reducir también la capacidad natural del edificio para ventilarse. Así no es posible una solución para la hermeticidad de la envolvente sin una correspondiente para la ventilación.

De esta forma, y no siendo la ventilación el eje temático principal de esta publicación, se ha estimado necesario incorporar en este capítulo elementos generales y criterios de diseño aplicables a la ventilación de edificios y su relación con los temas de hermeticidad que trata el texto de una forma más extensa.

## 9.1 HISTORIA

En la década de los ochenta, se descubrió que el microclima de los edificios puede enfermar a sus ocupantes. Se acuñó, precisamente, el término de “síndrome del edificio enfermo”, para denominar a aquellos edificios que por sus bajos niveles de ventilación interior, contienen aire enrarecido con altos niveles de dióxido de carbono, contaminantes,

virus y bacteria (Redlich, Sparer, & Cullen, 1997).

La crisis energética generó en su momento una gran preocupación por el ahorro y la eficiencia energética de los edificios. La primera estrategia fue limitar la demanda de energía de los edificios mediante incrementos en la aislación térmica, y contener la espacialidad interior dentro de envolventes más herméticas y selladas, sin ninguna preocupación especial por la ventilación. Estas medidas básicas permitieron disminuir drásticamente las pérdidas por transmisión de calor y ventilación en los edificios, logrando que éstos consumieran menos energía y de forma más eficiente.

Si bien se logró el objetivo de disminución del consumo de energía, esto fue a expensas de una serie de problemas que surgieron posteriormente bajo formas de excesiva humedad interior, condensaciones y formación de hongos, sobrecalentamientos excesivos en verano, etc., con consecuencias perjudiciales para la salud de las personas y del edificio. La conclusión a la que se llegó finalmente, fue que es necesario, consustancialmente, desarrollar también soluciones tecnológicas para la ventilación que fuesen capaces de equilibrar calidad del aire y ahorro de energía en los edificios, y que para ello es fundamental dotar al edificio con capacidad para auto ventilarse naturalmente. Esta fue la base que justificó el gran desarrollo que experimentó el área de ventilación de edificios en la década de los



Figura 9.2: Funciones de la ventilación

noventa en Europa y EEUU.

Desde la década de los setenta, la energía es cada vez más escasa y costosa, y la preocupación por el medio ambiente es cada vez mayor. Como respuesta, se diseñan edificios más protegidos térmicamente, con menores niveles de transmisión térmica y más herméticos, con lo que se justifican los menores niveles de demanda y consumo energético. Este fenómeno hace cada vez más crítica y compleja la solución para la ventilación de los edificios.

Las líneas de desarrollo científico del tema apuntan a encontrar un mejor compromiso entre calidad del aire y ahorro energético. Se exige explotar al máximo los sistemas de ventilación natural, considerando que movilizar aire supone el uso de alguna forma de energía y costos asociados. Un mejor compromiso con el ahorro de energía se tendrá utilizando, siempre que sea posible, los motores naturales de la ventilación y, cuando no es posible, utilizando motores activos pero de alto rendimiento. Así, la

ventilación como estrategia de diseño, se advierte cada vez más necesaria para mantener la calidad del aire en los lugares habitados en condiciones convenientes para la protección de la salud de las personas y el ahorro de energía.

Los imperativos de ahorro de energía y sustentabilidad de hoy en día, han modificado sustantivamente los enfoques y criterios aplicables a la ventilación de edificios, con impactos importantes en el desarrollo de tecnologías. Una buena estrategia de ventilación se considera aquella que permite cumplir el objetivo de ventilar, con costos mínimos óptimos; y ventilar cuando se necesita, en el lugar que se requiere, y en la cantidad precisa.

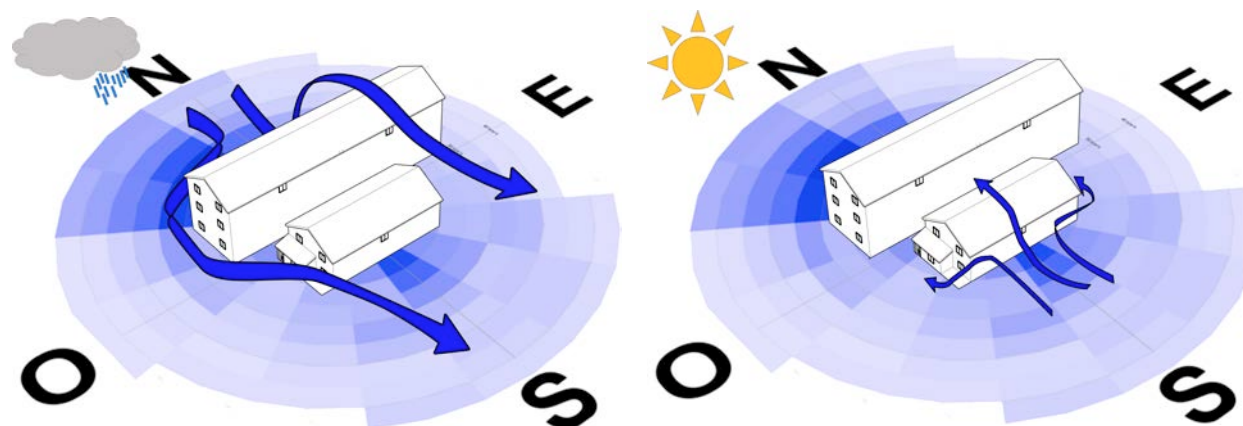


Figura 9.3: Exposición al viento de un edificio

## 9.2 VENTILACIÓN E INFILTRACIONES DE AIRE

Todos los edificios necesitan la provisión de cierta cantidad de aire nuevo, la que se determina en función de las demandas de sus distintos espacios y actividades. Cuando la provisión de aire se hace en forma más o menos controlada, a través de medios y aperturas previstas para esos fines, hablamos de ventilación.

Las infiltraciones de aire aportan también a las necesidades de ventilación, pero se diferencian de las estrategias de ventilación al ser intercambios de aire no controlados a través de aberturas no previstas, tales como grietas y juntas de unión no selladas de la envolvente. Se asocian directamente a calidad de ejecución y ocurren por la existencia

de diferencias de presiones a través de las grietas. Éstas pueden ser producidas por la acción del viento; por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior; o por la operación de aparatos de ventilación mecánica.

- Infiltraciones producidas por el viento: generadas por la presión de viento sobre la fachada del edificio. Dependen de la velocidad del viento incidente, la geometría del edificio y de su grado de exposición al viento (localización respecto de los edificios cercanos, la topografía y rugosidad del terreno).
- Infiltraciones por efecto de diferencia de temperatura: infiltración por efecto convectivo, también conocida como efecto chimenea o “stack”, que se explica por la relación entre la temperatura y la densidad del aire; a mayor temperatura menor es la densidad del aire, por lo que menor será el peso que ejerce la columna

de fluido que queda sobre la altura considerada de la grieta. En localidades en que la velocidad media del viento está sobre los 3 m/s prevalece el efecto de las presiones de viento sobre efecto de diferencia de temperatura.

- Infiltración o exfiltración por sistemas mecánicos de ventilación: producida por la sobrepresión en el caso de un sistema de impulsión de aire o por la depresión producida por un sistema de extracción.

Las infiltraciones son siempre el resultado de la acción combinada de más de un mecanismo inductor. El flujo de aire depende del diferencial de presiones y de la forma, tamaño y ubicación relativa de las grietas o aberturas de paso de aire. En la práctica, el aire nuevo presente en un edificio proviene en parte de infiltraciones y en parte de la ventilación.

Las recomendaciones internacionales respecto a la hermeticidad al aire de los edificios apuntan hoy a construir edificios con el mayor grado de hermeticidad posible, y atender las necesidades de aire nuevo controladamente. De forma ideal; aire nuevo en cantidad justa y en el momento y lugar necesario. Una infiltración excesiva conlleva pérdidas de frío o calor innecesarias, y discomfort producto de corrientes de aire. Actualmente, el objetivo de diseño debiera ser “construir herméticamente y ventilar apropiadamente”. No existen edificios excesivamente herméticos, sin embargo, es esencial

asegurar que exista siempre una ventilación suficiente.

## 9.3 FUNCIONES Y NECESIDADES DE VENTILACIÓN EN EDIFICACIONES

De acuerdo a la UNE, las instalaciones de ventilación deben cumplir con la exigencia técnica de *“mantener una calidad de aire interior aceptable en lugares ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado”* (AEN/CNT, 2008).

El suministro de aire limpio en los edificios persigue los siguientes propósitos (CEN, 2006)

- Proporcionar oxígeno para la respiración de los ocupantes.
- Diluir y/o eliminar los contaminantes de bases, tal como sustancias emitidas por el mobiliario, los materiales de construcción y materiales de limpieza usados en los edificios, los olores, el CO<sub>2</sub> metabólico y el vapor de agua.
- Diluir y/o eliminar los contaminantes específicos que provienen de fuentes locales identificables, tal como olores y vapor de agua de baños y cocinas, y productos de



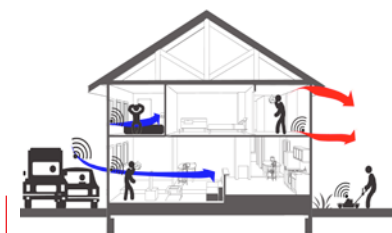


Figura 9.4: Fuentes de contaminantes sonoros asociados con la ventilación.

- combustión que provienen de aparatos quemadores de combustibles.
- d. Controlar la humedad interior.
- e. Refrigerar los espacios.
- f. Proporcionar oxígeno para el funcionamiento de los aparatos de combustión.
- Definir la estrategia, el diseño y finalmente el proyecto de sistema de ventilación adecuado, donde las consideraciones más importantes a tener en cuenta son, en primer lugar, el potencial del ambiente natural para ventilar; los costos (inversión, operación y mantención); tamaño y tipo de edificio (habitacional, servicio, nuevo, renovación); los contaminantes a remover; las condiciones de entorno (ruido y contaminación atmosférica).

Todos estos propósitos están relacionados con la salud de los ocupantes y la del edificio. La ventilación concierne a los cinco primeros objetivos pero su desempeño está estrictamente ligado al último propósito también. Por lo mismo, el sistema de ventilación y suministro de aire debe concebirse integralmente, y tener en cuenta además las demandas de confort térmico, acústico, de seguridad en general y las necesidades de ahorro de energía.

Para efectuar una ventilación adecuada y cumplir con sus funciones esperadas, hay que considerar el siguiente proceso:

- Determinar la(s) función(es) o necesidad(es) a atender (remover contaminantes, proveer oxígeno, remover olores, refrescar, etc.);
- Definir las exigencias de la ventilación, los desempeños esperados, y particularmente, la cantidad de aire necesaria para atender las distintas necesidades de ventilación y;

## 9.4 FUENTES CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS EDIFICACIONES

Dentro de los edificios se genera un gran número de contaminantes aéreos provenientes de distintas fuentes, incluyendo gases como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , vapores, humo de tabaco, partículas inorgánicas (fibras y material particulado diverso), y partículas orgánicas (esporas fúngicas, virus, y bacterias). Tales contaminantes pueden ser potencialmente dañinos para la salud o el confort de los ocupantes, o pueden ocasionar daños a la estructura del edificio.

Los principales contaminantes presentes en los edificios son los siguientes:

- **Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ):** es un producto de la respiración humana y la combustión. El dióxido de carbono es un asfixiante simple

que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno. En los edificios, el  $\text{CO}_2$  proviene principalmente de la exhalación humana, por lo que es un bio-efluente cuyo nivel y comportamiento en el recinto depende del número, actividad y tiempo de permanencia de los ocupantes, y de la tasa de ventilación. En el aire exterior el dióxido de carbono se encuentra en niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas valores de hasta 550 ppm. En ambientes interiores no industriales, como oficinas, escuelas y servicios en general, es posible alcanzar niveles entre 2000 y 3000 ppm, e incluso superiores. Las principales fuentes contaminantes en estos casos son la respiración humana, el humo de tabaco y los aparatos de combustión de sustancias que contienen carbono.

- **Olores:** emisiones corporales y otras provenientes de materiales y sustancias presentes en los edificios. Se relaciona con el sentido del olfato y se puede acumular a niveles desagradables por lo que siempre es necesario un suministro de aire limpio para diluirlos y eliminarlos. Sin embargo, la cantidad de aire nuevo necesario para reducir la concentración de  $\text{CO}_2$  es siempre superior al necesario para remover olores.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COVs):** emitidos por una amplia gama de materiales y productos presentes en el edificio mismo y su mobiliario. Son efluentes provenientes de acabados, pinturas, insumos de limpieza, pegamentos, útiles docentes, etc.,



donde los más comunes en los edificios son: formaldehído, decano, butoxietanol, estireno, tolueno y cloruro de vinilo. Se han demostrado asociaciones entre los niveles de COVs y problemas de salud y de comportamiento, tal como irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias, especialmente por formaldehídos, cuando sus concentraciones superan los  $0.1 \text{ mg/m}^3$ .

Figura 9.5: Principales contaminantes presentes en viviendas

- **Humedad:** derivada de la actividad metabólica de las personas y de la generada en forma de vapor acuoso en las diversas áreas de las edificaciones. En alguna de ellas pueden ser importantes, por ejemplo en talleres,

laboratorios, baños y cocinas, donde podría generar condensaciones en las superficies frías, y problemas de hongos y deterioro de las condiciones ambientales.

- **Monóxido de carbono (CO):** es un producto de la combustión incompleta de un combustible. Puede estar presente cuando existen aparatos de calefacción, estufas de leña y otros en base a hidrocarburos, cuando la combustión y/o evacuación de gases es defectuosa. Es inodoro, incoloro e insípido y es potencialmente fatal en concentraciones relativamente bajas.

La concentración y tipos de contaminantes presentes en cualquier edificio es resultado de la contaminación generada dentro y fuera de ella. En edificios destinados a habitación y muchos de servicios, los principales contaminantes, salvo casos excepcionales, son el dióxido de carbono derivado de la respiración de sus ocupantes, y la humedad. Estos contaminantes suelen utilizarse como indicadores para establecer estándares de calidad de aire interior y para evaluar desempeños de la ventilación.

## 9.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS EXIGENCIAS DE VENTILACIÓN

No existen actualmente métodos confiables para establecer la exigencia de ventilación que garantice niveles de concentraciones aceptables para muchas de las fuentes contaminantes presentes en los edificios. Se desconocen las tasas de producción de contaminantes, o bien, su determinación es compleja cuando las fuentes derivan de la estructura o mobiliario del edificio. Es más fácil preverlas cuando la fuente resulta de la presencia o actividad de los ocupantes.

### 9.5.1 EXIGENCIAS DE VENTILACIÓN PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES

Los métodos para cuantificar y caracterizar las exigencias de ventilación mínima para viviendas se basan en el conocimiento de la generación de contaminante propios de la ocupación y de niveles de concentración aceptables. Uno de estos métodos es el que especifica el Código Técnico de la Edificación de España (Norma Española, 2009) que se ilustra en la tabla 9.1. Define los caudales de ventilación mínimos para los locales de edificios destinados a vivienda teniendo presente las siguientes reglas:

- El número de ocupantes se considera igual a: uno en cada dormitorio individual; dos en cada dormitorio doble; y la suma de los contabilizados en los dormitorios en cada comedor y sala de estar de la vivienda.
- En los recintos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

El caudal de ventilación de la vivienda corresponde al mayor valor que resulta de los caudales de admisión y extracción determinados independientemente. Se calcula equilibrando los caudales de admisión y de extracción, y considerando una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales y la dirección de vientos predominantes normalmente.

**Tabla 9.1:** Valores límites para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda

Caudal de Ventilación Mínimo Exigido ( l/s)			
Locales	Por Ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5	-	-
Salas de Estar y Comedores	3	-	-
Baños y Cuartos de Aseos	-	-	15 por local
Cocinas	-	2 <sup>1</sup>	50 <sup>2</sup> por local
Bodegas	-	0.7	-
Almacenes de Residuos	-	10	-

<sup>1</sup> En cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.

<sup>2</sup> Caudal correspondiente a la ventilación puntual específica de la cocina

Fuente: Código Técnico de la Edificación de España

## 9.5.2 ABERTURAS DE VENTILACIÓN PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES

El área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada recinto debe ser como mínimo la mayor de las que se obtienen mediante las fórmulas que figuran en la tabla 9.2.

**Tabla 9.2: Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en  $\text{cm}^2$**

Aberturas de ventilación	
Aberturas de admisión <sup>(1)</sup>	$4 q_v$ ó $4 q_{va}$
Aberturas de extracción	$4 q_v$ ó $4 q_{ve}$
Aberturas de paso	$70 \text{ cm}^2$ ó $8 q_{vp}$
Aberturas mixtas <sup>(2)</sup>	$8 q_v$

(1) Cuando se trate de una abertura de admisión constituida por una apertura fija, la dimensión que se obtenga de la tabla no podrá excederse en más de un 10%.

(2) El área efectiva total de las aberturas mixtas de cada zona opuesta de fachada y de la zona equidistante debe ser como mínimo el área total exigida

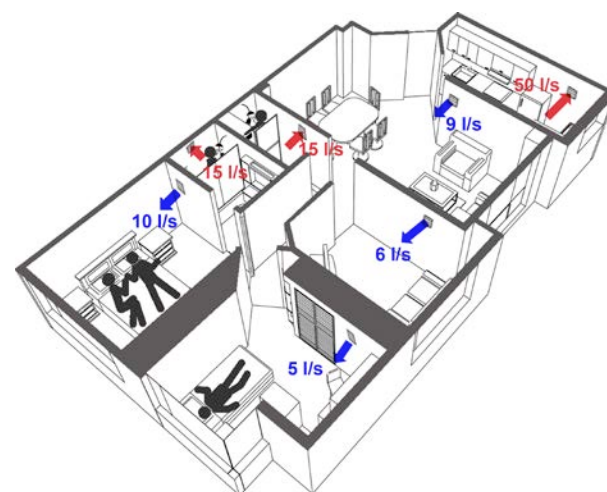
Siendo:

$q_v$ : caudal de ventilación mínimo exigido del local [l/s], obtenido de la Tabla 9.1: Valores límites para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda 9.1.

$q_{va}$ : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de admisión del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción, y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

$q_{ve}$ : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de extracción del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción, y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

$q_{vp}$ : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de paso del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción, y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].



**Figura 9.6: Ejemplo de caudales de ventilación para cada recinto de una vivienda**

### 9.5.3 EXIGENCIAS DE VENTILACIÓN PARA EDIFICACIONES DE USO TERCIARIO

Los caudales de ventilación mínimo para recintos de edificios de uso terciario (oficinas, educacionales, salud) que suelen utilizarse como referencia, son los que se presentan en las siguientes Tablas, teniendo presente las siguientes reglas:

- Se considera el caudal mayor que resulte de cuantificar las necesidades, según la tasa de aire exterior por persona o por unidad de superficie.
- Los caudales se definen para el uso, densidad ocupacional y programa de funcionamiento normalizado definidos en la reglamentación y/o proyecto que se trate.

Tabla 9.3: Caudales de ventilación mínimo exigidos para Edificios Educacionales

Tipo de recinto	Índice de aire exterior por persona l/s persona	Índice de aire exterior por Área l/s m <sup>2</sup>
Sala Cuna y Jardín Infantil (hasta edad 4 años)	5	0,9
Enfermería en Sala Cuna y Jardín Infantil	5	0,9
Sala de clase (edad 5-8 años)	5	0,6
Sala de clase (sobre 9 años )	5	0,6
Auditorio	3,8	0,3
Sala de clases de arte	5	0,9
Taller de maderas / metales	5	0,9
Laboratorios	5	0,9
Laboratorio de Computación	5	0,6
Centro multimedia	5	0,6
Música / teatro / danza	5	0,3
Sala de uso múltiple	3,8	0,3

Fuente: Adaptado de ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 2010 entre otros

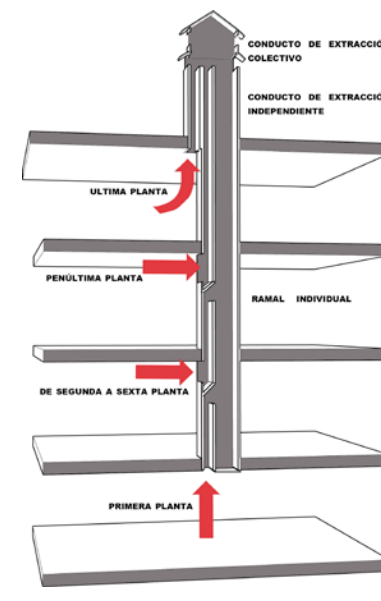


Figura 9.7: Sistema de extracción colectiva. En caso de utilizar este sistema no debe servir a más de 6 plantas. Si existieran, los ductos de plantas sobre ese nivel deberían ser individuales.

**Tabla 9.4: Caudales de ventilación mínimos exigidos para edificios de oficinas**

Tipo de recinto	Índice de aire exterior por persona l/s persona	Índice de aire exterior por Área l/s m <sup>2</sup>
Oficina	2,5	0,3
Áreas de recepción	2,5	0,3
Teléfono / ingreso de datos	2,5	0,3
Hall de acceso principal	2,5	0,3

Fuente: Adaptado de ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 2010 entre otros

**Tabla 9.5: Caudales de ventilación mínimo exigidos para Edificios de Salud**

Tipo de recinto	Índice de aire exterior por persona l/s persona	Índice de aire exterior por Área l/s m <sup>2</sup>
Salas de pacientes	5	0,9
Salas de espera	5	0,9
Pasillos/Espacios de circulación	3	0,4
Sala de enfermeras	5	0,9
Sala de tratamiento	8	1,2
Sala de recuperación	8	1,2
Sala de aislamiento	8	1,2
Pabellones quirúrgicos	8	1,2

Fuente: Adaptado de ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 2010 entre otros

## 9.6 ORGANIZACIÓN DE LA VENTILACIÓN

Las siguientes reglas generales aplican al diseño y organización del sistema de ventilación y sus partes y componentes:

### 9.6.1 PRINCIPIOS BÁSICOS Y CONDICIONES DEL SISTEMA:

**Principio 1:** Flujo que entra = Flujo que sale.

**Principio 2:** Ingreso por locales secos y extracción por locales húmedos y/o “sucios”.

**Principio 3:** Conducir el aire a través de los locales.

**Principio 4:** Disponer para los otros locales ventilación específica.

- El aire debe circular desde los locales secos o limpios a los húmedos o sucios. Por locales húmedos o sucios se entienden baños, cocinas, talleres, laboratorios y otros donde existan emisiones contaminantes importantes, adicionales a las típicas humanas. Por locales secos se entienden dormitorios, salas de estar y comedores.
- Los locales secos o limpios deben disponer

de aberturas de admisión; los locales húmedos o sucios deben disponer de aberturas de extracción; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso.

- Los locales con varios usos deben disponer de las aberturas correspondientes en cada zona destinada a un uso diferente.
- Como aberturas de admisión, se entienden aberturas dotadas de aireadores o aberturas incorporadas en la carpintería de vanos. Se consideran también aberturas de admisión



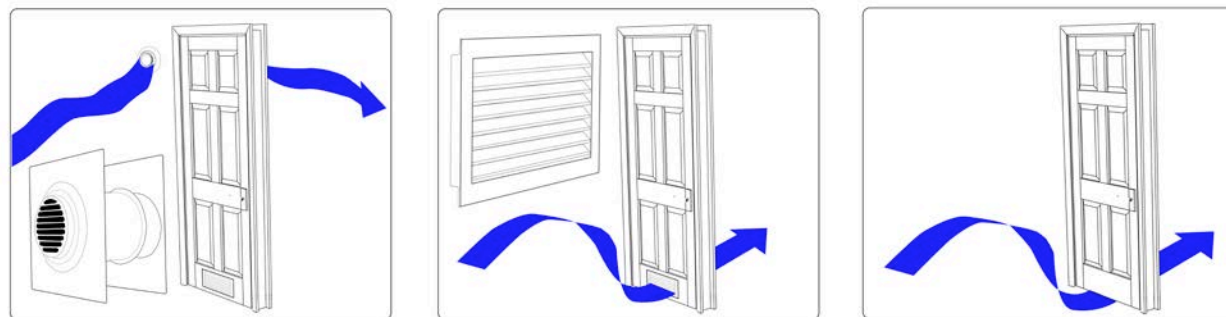
Figura 9.8: Esquema de circulación flujos de aire viviendas



Figura 9.9: Esquema de circulación flujos de aire edificios de servicios



Figura 9.10: Dispositivos de ventilación natural tipo aireador



las juntas de aperturas de puertas y ventanas que comunican los locales con el ambiente exterior, caracterizadas por la permeabilidad al aire de estos elementos según NCh 892.

- e. Cuando la ventilación sea híbrida, las aberturas de admisión deben comunicar directamente con el exterior.
- f. Todos los locales deben tener un sistema complementario de ventilación natural, ya sea a través de una ventana practicable o una puerta.
- g. Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de aire de locales de otro uso. Cuando este conducto sea compartido por varios extractores, cada uno de éstos debe estar dotado de una válvula automática que mantenga abierta su conexión con el conducto sólo cuando esté funcionando o de cualquier otro sistema anti retorno.
- h. Las cocinas, comedores, dormitorios y salas de estar deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural. Para ello debe disponerse una ventana exterior practicable o una puerta exterior.



Figura 9.11: Incorrecta localización de admisión y extracción

## 9.7 TIPOS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN

### 9.7.1 TIPOS DE VENTILACIÓN

Dependiendo de cómo se controla la contaminación, se distinguen dos tipos de ventilación: ventilación general de base o ambiental, y ventilación intensiva por extracción localizada. La primera reduce por dilución el nivel de contaminación en un espacio hasta niveles aceptables. La segunda elimina el agente contaminante en el mismo foco de generación, impidiendo así su dispersión por el recinto.

**Ventilación general de base:** requiere la aplicación de flujos de aire de forma permanente. Corresponde a la ventilación higiénica mínima necesaria para garantizar niveles de concentraciones de CO<sub>2</sub>, olores, humedad, y eventualmente otras sustancias nocivas, dentro de límites aceptables para la salud humana.

**Ventilación intensiva por extracción:** se utiliza para retirar puntual y localizadamente un contaminante. Se utiliza en circunstancias más o menos excepcionales, para:

- Evacuar vapores de agua generados durante la

cocción de alimentos en cocina o duchas en baños.

- Refrescar ambientes sobrecalentados por insolación y/o ocupación extraordinaria, como por ejemplo, durante una recepción.
- Remover partículas o sustancias contaminantes derivadas de actividades diversas que se realizan ocasionalmente, por ejemplo, trabajos de pintura.

Se puede ventilar intensivamente también a través de ventanas y puertas en casos extraordinarios de sobrecargas de calor o humedad.

Por otro lado, dependiendo de los potenciales movilizadores del aire, se distinguen tres tipos de ventilación: ventilación natural, ventilación mecánica y ventilación híbrida.

**La ventilación mecánica:** produce activamente la renovación de aire mediante el uso de sistemas electromecánicos. La renovación se puede conseguir mediante extracción mecánica y admisión natural (simple flujo); extracción natural y admisión mecánica (simple flujo); y extracción e impulsión mecánica (doble flujo).

**La ventilación natural:** produce naturalmente la renovación a través de los “motores” que provee el ambiente natural: ya sean las presiones

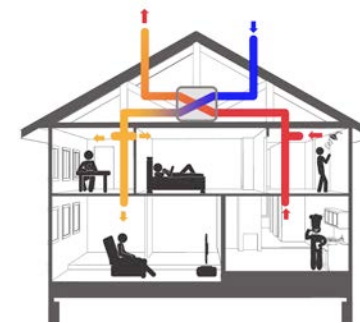


Figura 9.12: Esquema de ventilación con recuperador de calor

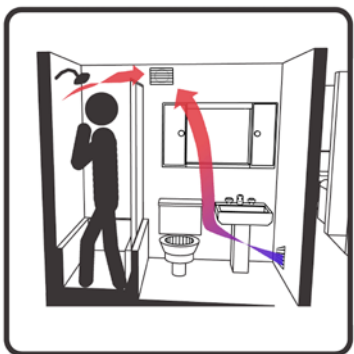


Figura 9.13: Ventilación puntual para extracción de humedad

generadas por el viento y las presiones originadas por diferenciales térmicos, tal como se explica en el Capítulo I de este manual.

**La ventilación híbrida:** genera la renovación de aire combinando ambos tipos de ventilación. Funciona en modo natural cuando las condiciones ambientales exteriores e interiores lo permiten, y en modo mecánico cuando el nivel de contaminantes excede el límite de control. Se diseña como sistema de ventilación natural e incorpora ventiladores y un sistema de control del nivel de contaminante enclavado al funcionamiento del aparato.

## 9.7.2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Los edificios deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser natural, mecánica o híbrida. La elección del tipo de instalación debe ser hecha considerando los límites impuestos por el tipo de edificio, la hermeticidad al aire de su envolvente, el clima y las condiciones ambientales exteriores, como también del costo de la inversión, su desempeño energético y operacional, la energía utilizada, y los costos y facilidades de mantenimiento.

Se distinguen en general cuatro sistemas genéricos de ventilación:

Tabla 9.6: Sistemas de ventilación

Sistema de ventilación	Método de ventilación	
	Admisión de aire	Extracción de aire
<b>A</b>	Natural	Natural
<b>B</b>	Mecánica	Natural
<b>C</b>	Natural	Mecánica
<b>D</b>	Mecánica	Mecánica

### Principios Sistema A de alimentación y extracción natural:

el aire se desplaza por acción de diferenciales de presión de viento existente entre las fachadas de los edificios y gracias a diferenciales de densidad del aire en función de su temperatura. El aire es ingresado a través de grillas y otras aberturas presentes en una o más fachadas, conducido por el interior a través de dispositivos de pasada y puertas, evacuando naturalmente al exterior a través de grillas dispuestas en fachadas opuestas y conductos verticales a través de la techumbre

### Aplicación

- En todos los casos que las condiciones de entorno y del ambiente natural lo permitan.

*Ventajas de la ventilación natural*

- Bajo costo inversión.
- No demanda energía eléctrica.
- Demanda muy poca mantención y genera bajo o nulos ruidos molestos.

*Inconvenientes de la ventilación natural*

- El desempeño de la ventilación no está garantizado, ya que depende de fenómenos naturales e incontrolables.
- Riesgo de caudales de ventilación descontrolados, muy sensibles al viento, al diferencial térmico y a la orientación de las fachadas en relación a los vientos dominantes.
- Riesgos de caudales excesivos con los efectos de corrientes de aire y pérdidas energéticas importantes.
- Las grillas introducen ruidos exteriores y también contaminantes aéreos.
- Uso de conductos verticales, de dimensiones relativamente importantes con descargas libres sobre cubiertas necesariamente.
- Aberturas en las fachadas poco estéticas.

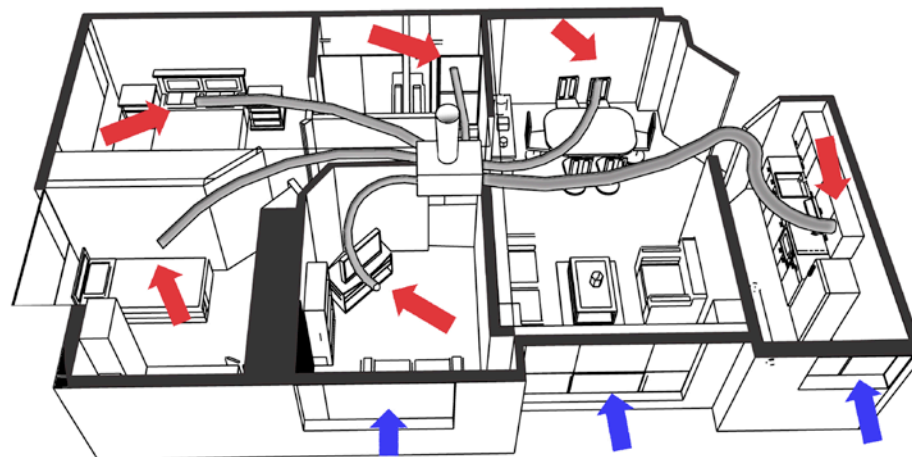


Figura 9.14: Esquema de ventilación natural convectiva

**Principios Sistema B de alimentación mecánica y extracción natural:**

supone la impulsión de aire forzada mecánicamente mediante una red de conductos y extracción de aire viciado naturalmente a través de grillas y conductos verticales. En esta instalación, los recintos se mantienen a sobrepresión.

*Aplicación*

- En lugares fuertemente contaminados. El aire puede ser fácilmente filtrado antes de ingresar a los distintos recintos.
- En edificios con recintos mediterráneos con difícil acceso a tomas naturales de aire exterior.



Figura 9.15: Esquema de ventilación natural por una fachada practicable

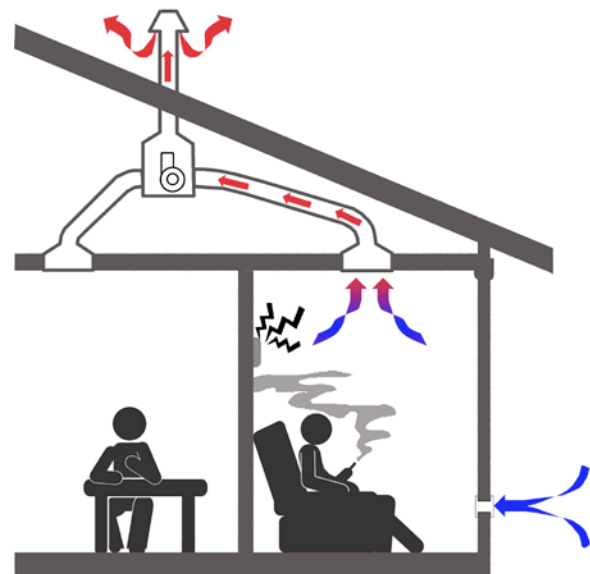


Figura 9.16: Esquema de ventilación híbrida

- En edificios industriales o donde se requiere aire limpio tratado especialmente.

#### *Ventajas de la alimentación mecánica*

- La simplicidad del sistema.
- La buena distribución del aire fresco en todo el edificio.
- Reducción de infiltraciones de aire y de daños por emanaciones contaminantes proveniente de materiales y mobiliario del edificio.
- Facilidades para el tratamiento del aire impulsado: filtrado, calentado o enfriado.

- Fácil control de flujos de aire.

#### *Inconvenientes de la alimentación mecánica*

- Favorece la penetración de humedad en los muros perimetrales.
- No es apropiada o conveniente para obras de reacondicionamiento.
- Las aberturas de paso entre locales favorece el paso de ruidos.
- El ruido de los ventiladores y la distribución de aire pueden ser molestos.
- No es posible la recuperación de calor y los flujos de aire extraídos no son controlados.
- La extracción requiere el uso de conductos verticales con descargas sobre techumbre.
- La envolvente exterior debe tener una buena estanqueidad al aire.
- Demanda el uso de energía eléctrica y necesita una mantención regular.

#### **Principios Sistema C de extracción mecánica y alimentación natural:**

Supone la extracción forzada mecánicamente de aire viciado desde uno o varios lugares y la impulsión natural a través de grillas, ventanas, grietas y hendiduras de la envolvente. En esta instalación los recintos se mantienen en depresión. El diseño de la instalación debe ser previsto de modo que la extracción mecánica permita que el aire ingrese a

través de grillas ubicadas en recintos secos y limpios, y transite fácilmente de ahí hacia recintos húmedos o sucios de donde es evacuado al exterior. Esto obliga a que estos últimos lugares respecto de todos los otros mantengan una depresión mayor, y que existan dispositivos de pasadas que favorezcan el tránsito del aire desde las zonas o lugares de admisión a las de extracción.

#### *Aplicación*

- En viviendas unifamiliares.
- En edificios destinados habitación de tamaño medio.

#### *Ventajas de la alimentación mecánica*

- La simplicidad del sistema.
- Bajos costos de operación.
- Demanda locales técnicos de menor tamaño.
- No es necesario el uso de conductos verticales de evacuación.
- Aplica tanto a edificios nuevos como a obras de acondicionamiento.
- Fácil ajuste operacional mediante regulación de las bocas de extracción y/o admisión.
- Menores riesgos de penetración de humedad en los muros perimetrales.
- Ofrece posibilidad de recuperación de calor.

#### *Inconvenientes de la extracción mecánica*

- No es recomendable para edificios situados en ambientes contaminados o ruidosos.
- Se necesita una red de conducto para integrar las distintas áreas.
- El aire nuevo no es filtrado.
- La envolvente exterior debe tener una buena hermeticidad al aire.
- Demanda el uso de energía eléctrica y necesita una mantención regular.
- Las grillas de admisión pueden generar discomfort por sobre-ventilación y ruidos.
- Las necesarias aberturas entre locales favorece el paso de ruidos aéreos.
- Dependiendo del funcionamiento de la extracción, se pueden producir inversión de tiraje y retorno de gases proveniente de aparatos de combustión abierta.

#### **Principios Sistema D de extracción y alimentación mecánica:**

Considera ventilación de doble flujo mediante ventiladores de impulsión, de extracción y redes de distribución y evacuación. El sistema se mantiene equilibrado con presiones balanceadas entre el interior y exterior según necesidades.

#### *Aplicación*

- En edificios de viviendas cuando el clima es severo.

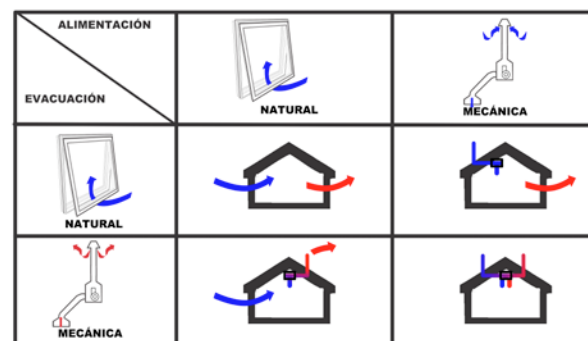


Figura 9.17: Tipos de alimentación y evacuación de aire

- En tiendas, edificios comerciales, oficinas en general.
- Especialmente cuando el entorno es ruidoso y/o contaminado

*Ventajas de la extracción y alimentación mecánica*

- **Sistema muy manejable. Sea cual sea la condición climáticas externa, es posible:**
  - Capturar el aire exterior de entornos no saludables;
  - Filtrar el aire;
  - Controlar los flujos de impulsión y extracción;
  - Establecer a voluntad recintos a mantener en depresión o sobrepresión, controlando los flujos de admisión y extracción en cada local.
- **Asegura tasas de renovación controladas y suficientemente elevadas. En consecuencia permite:**

- Buen control de los niveles de humedad interior;
- Reducción de los niveles de contaminación;
- Reducción de riesgos de recirculación de gases de combustión.
- Permite una buena distribución del aire.
- Se presta muy bien para realizar control automático lo que favorece la gestión de flujos.
- Permite la recuperación de calor.
- No es necesario el uso de abertura en la envolvente como ventanas para apoyar la ventilación.

*Inconvenientes de la extracción y alimentación mecánica*

- Es un sistema costoso.
- Demanda espacios técnicos amplios.
- Es difícil equilibrar flujos.
- La envolvente del edificio necesita imperativamente una muy buena hermeticidad al aire.
- Costos de energía relativamente alto y necesidades de mantención regular.

En la Tabla 9.8 se presentan comparadamente las características y prestaciones esperadas de los diferentes sistemas de ventilación para los criterios que se indican:

Tabla 9.7: Características y desempeños esperados de los distintos sistemas de ventilación

Dimensión	Criterio	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D
Concepción	Uso obra de renovación	Aplicable	No aplicable	Aplicable	Aplicable raramente
	Hermeticidad envolvente	Buena	Muy buena	Muy buena	Excelente
	Complejidad sistema	Muy simple	Simple	Simple	complicado
	Redes de ventilación	Conductos de extracción vertical y descarga sobre techumbre	Conductos verticales de extracción y redes de impulsión	Redes de conductos de extracción	Redes de conducto: una de extracción y otra de impulsión
Calidad del aire	Tratamiento filtrado de aire	El aire nuevo no puede ser tratado	El aire nuevo puede ser filtrado y acondicionado	El aire nuevo no puede ser tratado	El aire nuevo puede ser filtrado y acondicionado.
	Riesgo de inversión y contaminación	Alto Riesgo. Sistema sujeto a comportamiento clima exterior.	La sobrepresión reduce los riesgos	Puede haber inversión de tiro y retorno de gases	Bajo o nulo riesgo al controlar flujos de impulsión y extracción.
Ruidos	Transmisión de ruidos	Grillas favorecen ingreso de ruidos y contaminantes	Reducida transmisión con buen diseño y ubicación ventilador	Grillas favorecen ingreso de ruidos y contaminantes	Transmisión limitada bajo condición buen diseño instalación.
Control	Control admisión aire	Nulo. Sujeto a los fenómenos naturales que movilizan el aire.	Admisión controlada de aire en los recintos	Sin control de admisión de aire en los recintos	Admisión controlada de aire en los recintos
	Control extracción aire	Nulo. Sujeto a los fenómenos naturales que movilizan el aire.	Sin control de flujos de aire extraído	Con control de flujos de aire extraídos	Con control de flujos de aire extraídos
	Gestión de flujos	Mediante grillas regulables pero los flujos no son conocidos	Sólo el aire suministrado puede ser gestionado	Sólo el aire extraído puede ser gestionado	Gestión de flujos admitidos y extraídos. Sistema muy manejable
	Mantenimiento instalación	Muy poca mantención	Mantenimiento regular	Mantenimiento regular	Mantenimiento regular
Energía	Recuperación de calor	Sin posibilidad de recuperación de calor	Sin posibilidad de recuperación de calor	Con posibilidad de recuperación de calor	Permite recuperación de calor del aire extraído.
	Consumo eléctrico	Sin necesidad de consumo eléctrico	Necesita energía eléctrica	Necesita energía eléctrica	Necesita energía eléctrica
Costos	Inversión	Bajo	Relativamente alta	Relativamente alta	Alta
	Operación	Nulos	Bajo costo	Bajo costo	Altos, sobre todos si no hay recuperación de calor



---

## BIBLIOGRAFÍA

- AEN/CNT. (2008). *Párametros del ambiente interior para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. UNE-EN 15251*.
- CEN. (2006). *Ventilation for buildings. Design and dimensioning of residential ventilation systems. CEN/TR 14788*. (European Committee for Standardization, Ed.). Brussels, Belgium.
- Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33(28), 4535-4564. doi:10.1016/S1352-2310(99)00272-1
- Norma Española. (2009). HS 3 Calidad del aire interior. En *Código técnico de la Edificación*.
- Redlich, C. A., Sparer, J., & Cullen, M. R. (1997). Sick-building syndrome. *Lancet*, 349(9057), 1013–6. doi:10.1016/S0140-6736(96)07220-0

# CAPITULO 10: CASOS DE ESTUDIO

MAUREEN TREBILCOCK K.  
COLABORADOR: CRISTIÁN MUÑOZ V.  
CITEC UBB



# CASOS DE ESTUDIO

Este capítulo presenta dos casos de estudio de viviendas construidas en Chile que han sido desarrolladas en base a criterios de eficiencia energética con especial consideración a la hermeticidad al aire, que además han sido medidas a través del ensayo del Blower Door. Ambos casos presentan valores de hermeticidad al aire considerados aceptables, pero con niveles de logro muy diferentes. El primer caso corresponde a una vivienda con subsidio del Estado, de bajo costo, que alcanza valores de hermeticidad mucho mejores a la media nacional de las viviendas de madera, cumpliendo con lo esperado para la zona climática en que se emplaza. El segundo caso corresponde a la primera vivienda de estándar Passivhaus construida en el país, que por requerimientos de la certificación Passivhaus debe alcanzar un valor de hermeticidad al aire muy exigente, lo que la convierte en pionera en el país en esta materia.

## 10.1 VIVIENDAS CONDOMINIO NUEVO MUNDO

El Condominio Nuevo Mundo corresponde a un conjunto de 17 viviendas de madera localizadas

en Temuco, que fueron diseñadas por un equipo interdisciplinario del CITEC UBB con el objetivo de aplicar estrategias de diseño prestacional en viviendas de bajo costo, con subsidio Estatal. Esta iniciativa, que fue impulsada por el SERVIU de la Región de la Araucanía con colaboración de la Cámara Chilena de la Construcción de Temuco, permitió implementar una metodología de desarrollo de viviendas sociales pionera en el país, ya que los objetivos de desempeño propuestos en la etapa de diseño fueron medidos en etapa de construcción.

*Tabla 10.1: Identificación del caso de estudio*

Identificación	Condominio Nuevo Mundo
Localización	Temuco, Zona Climática Sur Interior
Arquitectos	Francisco Schiappacasse, Maureen Trebilcock, Gerardo Saelzer - UBB
Asesores	Ariel Bobadilla, Freddy Guzmán, Alexander Opazo, Rodrigo Figueroa, CITEC UBB
Cliente	SERVIU Región de la Araucanía
Constructora/ Inmobiliaria	Constructora Rucantú
Inspección Técnica	CITEC UBB
Año Construcción	2013



Figura 10.1: Vistas del proyecto

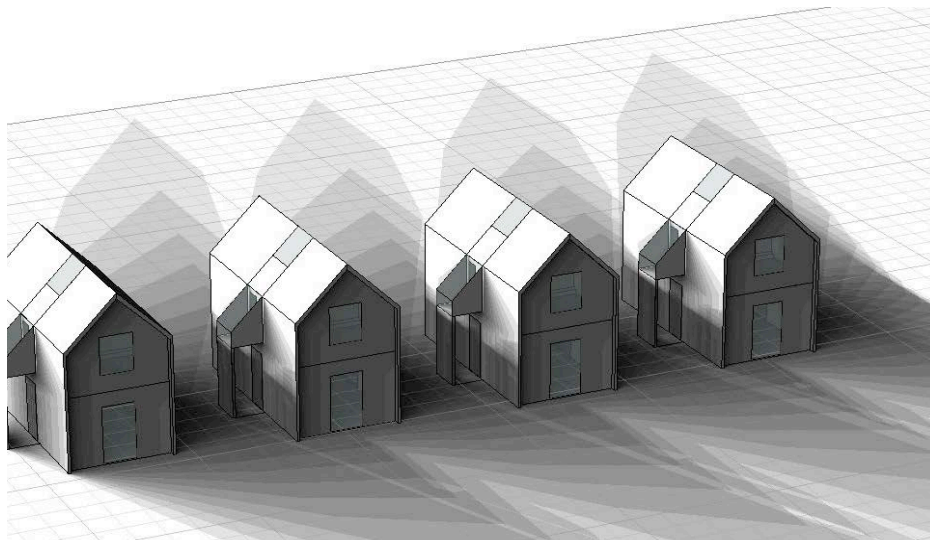


Figura 10.2: Análisis de asoleamiento del conjunto durante la etapa de diseño

Las viviendas se localizan en la ciudad de Temuco, situada a  $38^{\circ} 46'$  de latitud sur y  $72^{\circ} 38'$  de longitud oeste, caracterizada por un clima oceánico templado lluvioso con influencia marítima, que presenta temperaturas que oscilan entre  $4^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$  en invierno, y entre  $8^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$  en verano. Esta ciudad ha presentado en los últimos años numerosos episodios de contaminación ambiental debido a la combustión de leña para calefacción, por lo que iniciativas que apunten a mejorar la eficiencia energética de las viviendas, como ésta, son de gran relevancia para la zona.

### 10.1.1 ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO

Todas las viviendas que componen este conjunto definen su orientación en base a criterios de asoleamiento y ventilación; ya que hacia el norte disponen de un espacio solar de bajo costo, sobre el acceso, mientras que hacia el sur se localizan los recintos húmedos. De esta manera, los vientos predominantes en invierno, provenientes del norte, permiten que el vapor de agua generado en la cocina y en el baño emigre hacia el exterior impulsado por las presiones del viento, evitando de esta forma que se desplace hacia otros recintos habitables y generen riesgos de condensación y moho. El distanciamiento entre las viviendas fue estudiado para permitir que el espacio solar ubicado en el segundo piso reciba asoleamiento durante la mayor parte del año, según se observa en la figura 10.2.

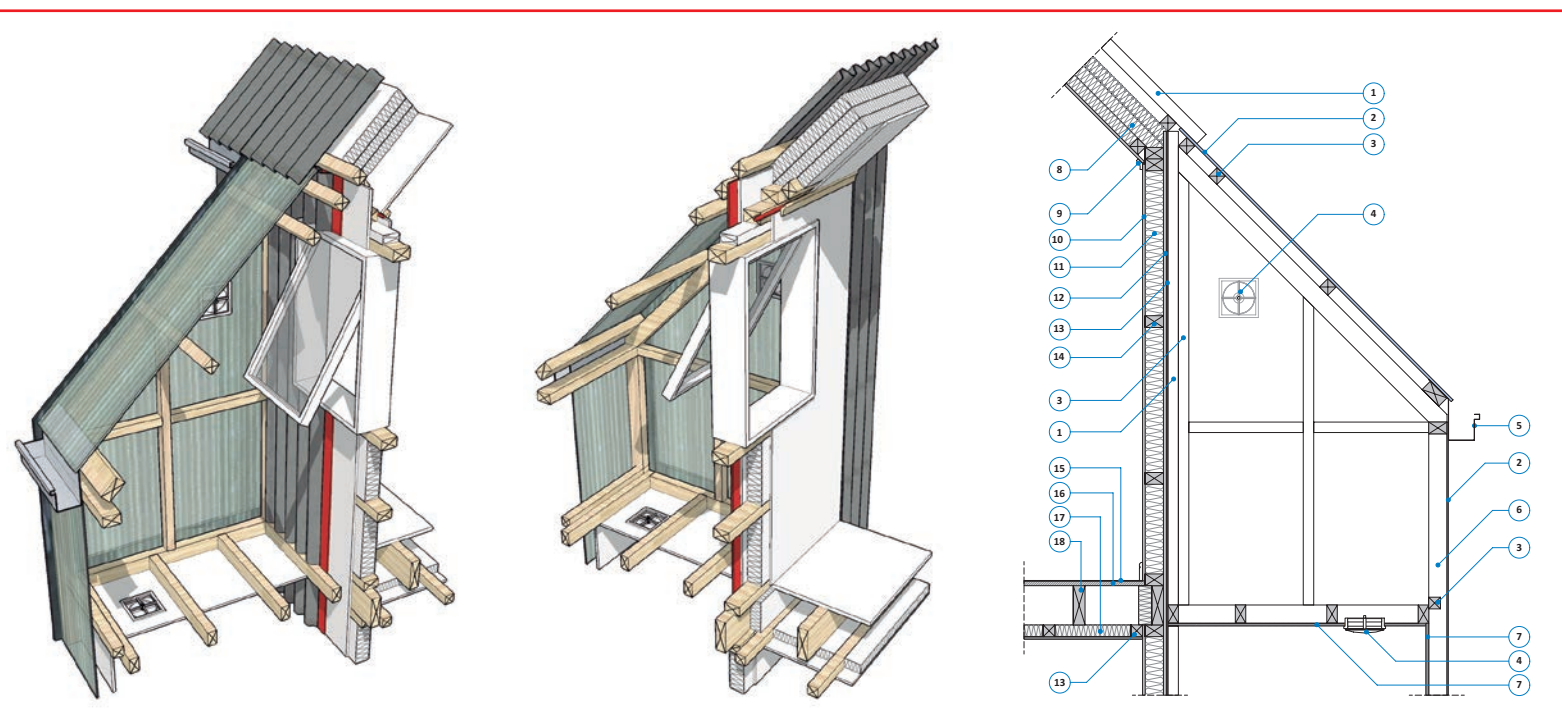
Debido a requerimientos de organización funcional de los recintos, el acceso principal se orienta al norte, lo que genera riesgos de infiltración de aire y agua, ya que se enfrenta al viento predominante en invierno que usualmente viene acompañado de lluvias. Por lo tanto, la vivienda contempla un muro de protección del acceso al viento que en su parte superior configura el espacio solar tipo invernadero (Figura 10.4). Este espacio solar, materializado a través de paneles de policarbonato alveolar, capta la energía proveniente del sol durante todo el día y la traspasa a los espacios habitables a través de una ventana operable. Posee aireadores operables que permiten que ingrese aire limpio del exterior y que se ventile en verano, según se detalla en la Figura 10.5.



Figura 10.3: Imagen del conjunto



Figura 10.4: Protección del acceso y espacio solar



- |   |  |
|---|--|
| 1. Revestimiento exterior plancha fibrobitemen Onduline , color negro | 10. Revestimiento interior placa yeso cartón, espesor 10 mm  |
| 2. Policarbonato alveolar, espesor 5 mm                               | 11. Protección térmica poliestireno expandido, espesor 70 mm |
| 3. Pino, 2" x 2"  | 12. Placa estructurante OSB, espesor 11 mm                   |
| 4. Aireador   | 13. Barrera de humedad y viento tipo Tyvek                   |
| 5. Canal agua lluvia zincalum, espesor 0,5 mm                         | 14. Cadeneta pino 2" x 3"                                    |
| 6. Pino 2" x 3"   | 15. Solución de pavimento                                    |
| 7. Revestimiento exterior fibrocemento, espesor 10 mm                 | 16. Placa estructurante, espesor 18 mm.                      |
| 8. Protección térmica poliestireno expandido, espesor 150 mm          | 17. Aislación acústica, espesor 45 mm                        |
| 9. Moldura y sello silicona neutra                                    | 18. Viga de piso, 45 x 150 mm.                               |

Figura 10.5: Detalle del espacio solar



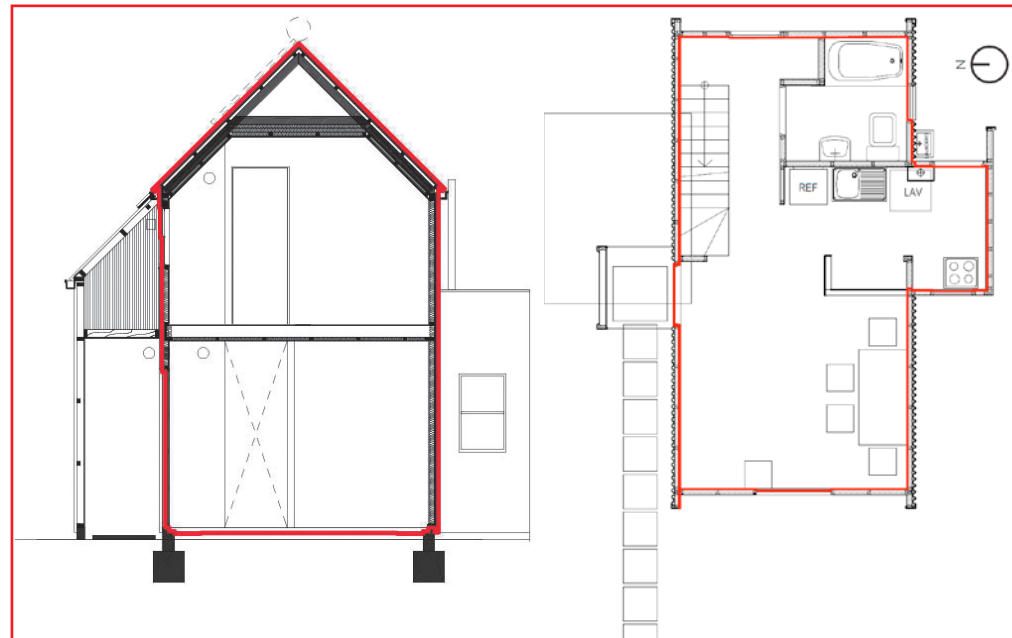
Figura 10.6: Vivienda Condominio Nuevo Mundo

## 10.1.2 DISEÑO DE LA ENVOLVENTE

La envolvente de las viviendas fue reforzada térmicamente, tanto a través de aislación térmica, como a través de barreras para la hermeticidad al aire. La figura 10.7 grafica la envolvente a través del esquema de la “línea roja”, tanto en planta como en corte, donde el principal concepto se refiere a una envolvente continua, con minimización de puentes térmicos y control de infiltración en las singularidades.

La envolvente térmica contempla aislación de poliestireno expandido de baja densidad ( $10\text{kg}/\text{m}^3$ ) y de 70mm de espesor entre los pie derechos que componen el muro; revestimiento exterior arriostrante de placa de OSB de 11mm de espesor; y revestimiento interior en base a un sistema compuesto por placa de yeso cartón y poliestireno expandido de 10mm de espesor, que permite la minimización del puente térmico generado por la estructura de madera. La techumbre contempla aislación de lana mineral de 150mm de espesor y bajo el radier se dispone de aislación de poliestireno expandido de alta densidad y 30mm de espesor.

Figura 10.7: Esquema de la línea roja en la envolvente de la vivienda





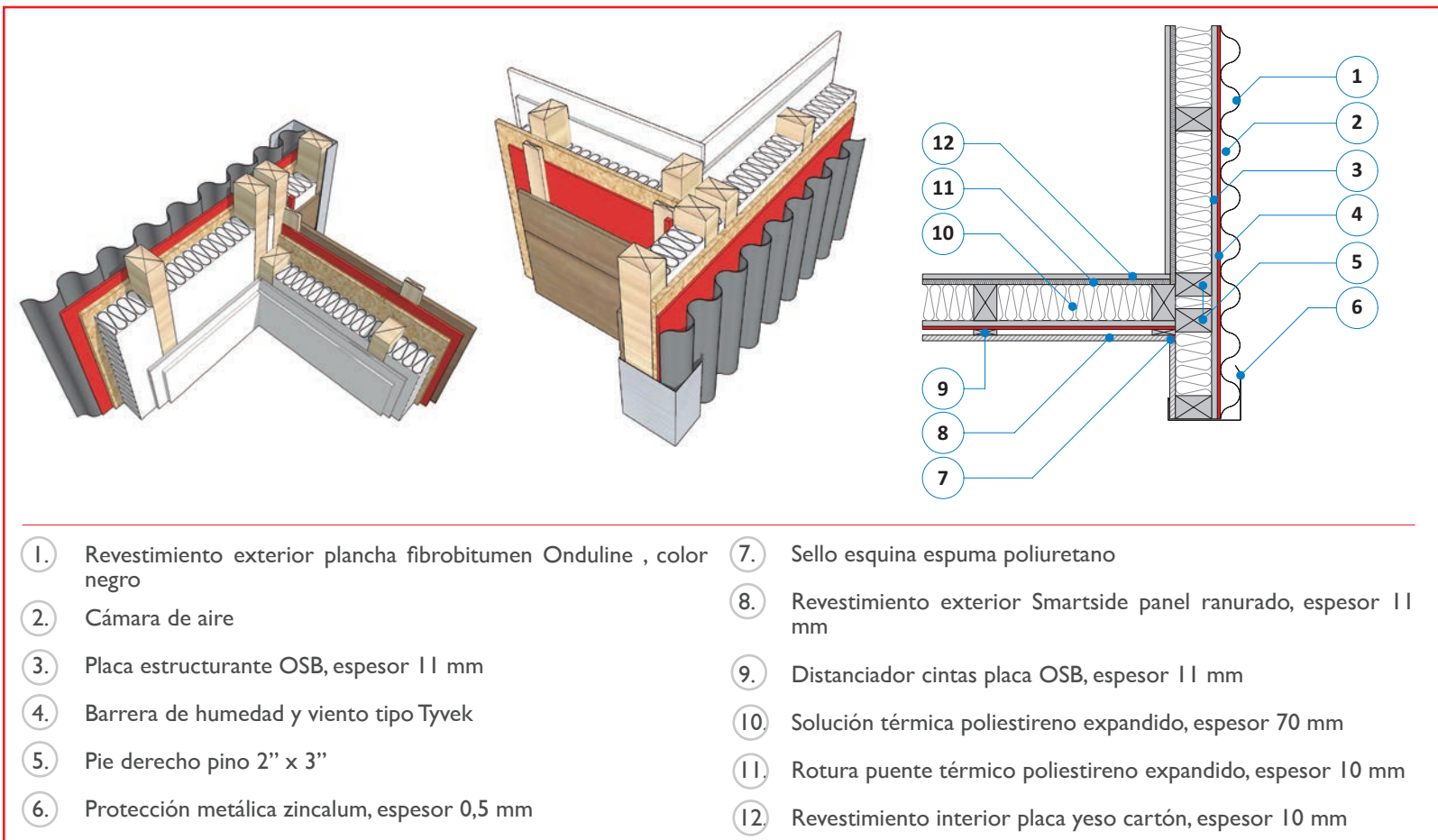
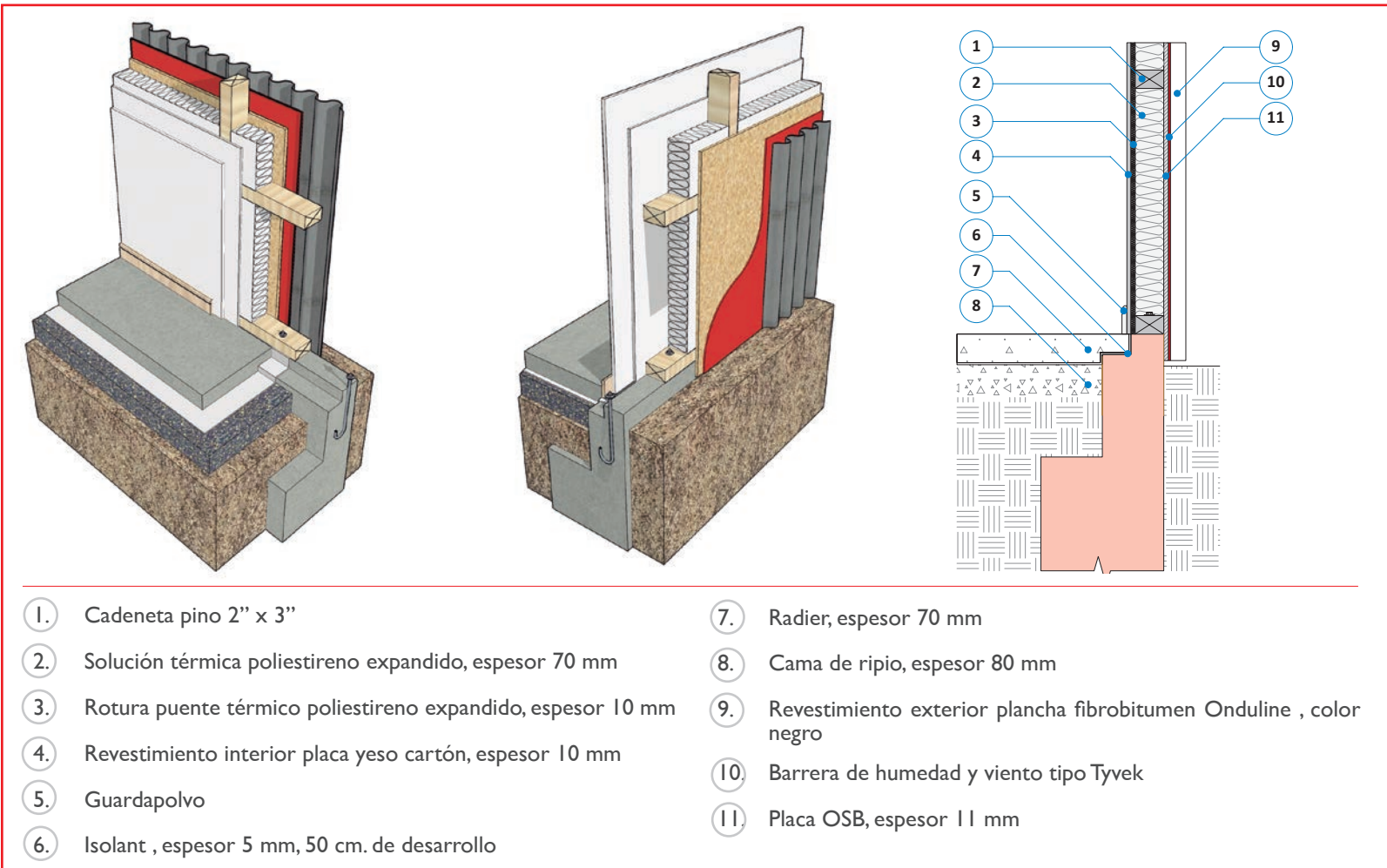


Figura 10.8: Detalle de encuentro de muros

Los muros envolventes tienen características de permeabilidad al paso del vapor, lo que permite que el vapor de agua emigre a través de las distintas capas que componen el muro hasta la cámara de aire exterior, por lo que se denominan “muros que respiran”, los que no contemplan barrera de vapor. El objetivo de esta estrategia es disminuir los

riesgos de condensación que constituye el principal problema en viviendas sociales en este contexto climático (Figura 10.8).

La barrera a la hermeticidad coincide con la barrera a la humedad dispuesta por el exterior del muro, a través de una membrana continua marca Tyvek,



que se grafica en la Figura 10.8 y la Figura 10.9. Los encuentros entre las placas de revestimiento exterior de OSB Smart Panel y la estructura de madera fueron sellados con poliuretano inyectado

(Figura 10.10), de la misma forma como se sellaron las uniones entre las placas de OSB de los muros, antes de recibir la membrana y el revestimiento de fibrobitumen (Figura 10.11).

**Figura 10.9:** Detalle encuentro muro y fundación



*Figura 10.10: Sello de poliuretano inyectado en unión entre placa de revestimiento y estructura de madera*



*Figura 10.11: Sellos de poliuretano inyectado en uniones entre placas de OSB*

### 10.1.3 PERMEABILIDAD DE VENTANAS

Debido a la relevancia de las ventanas en el grado de hermeticidad esperado de las viviendas, se especificaron ventanas de doble vidriado hermético y marco de aluminio con tipo de apertura proyectante, estableciendo un desempeño de permeabilidad al aire certificado tipo 60a (ver Capítulo 6). La certificación se realizó en los Laboratorios del CITEC UBB a través de ensayo

normalizado. La unión entre las ventanas y el marco consideró sellos de relleno de silicona, al igual que las terminaciones de los marcos de puertas.

### 10.1.4 ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN

Debido al reducido volumen de aire interior y a la alta densidad de ocupación de las viviendas, es

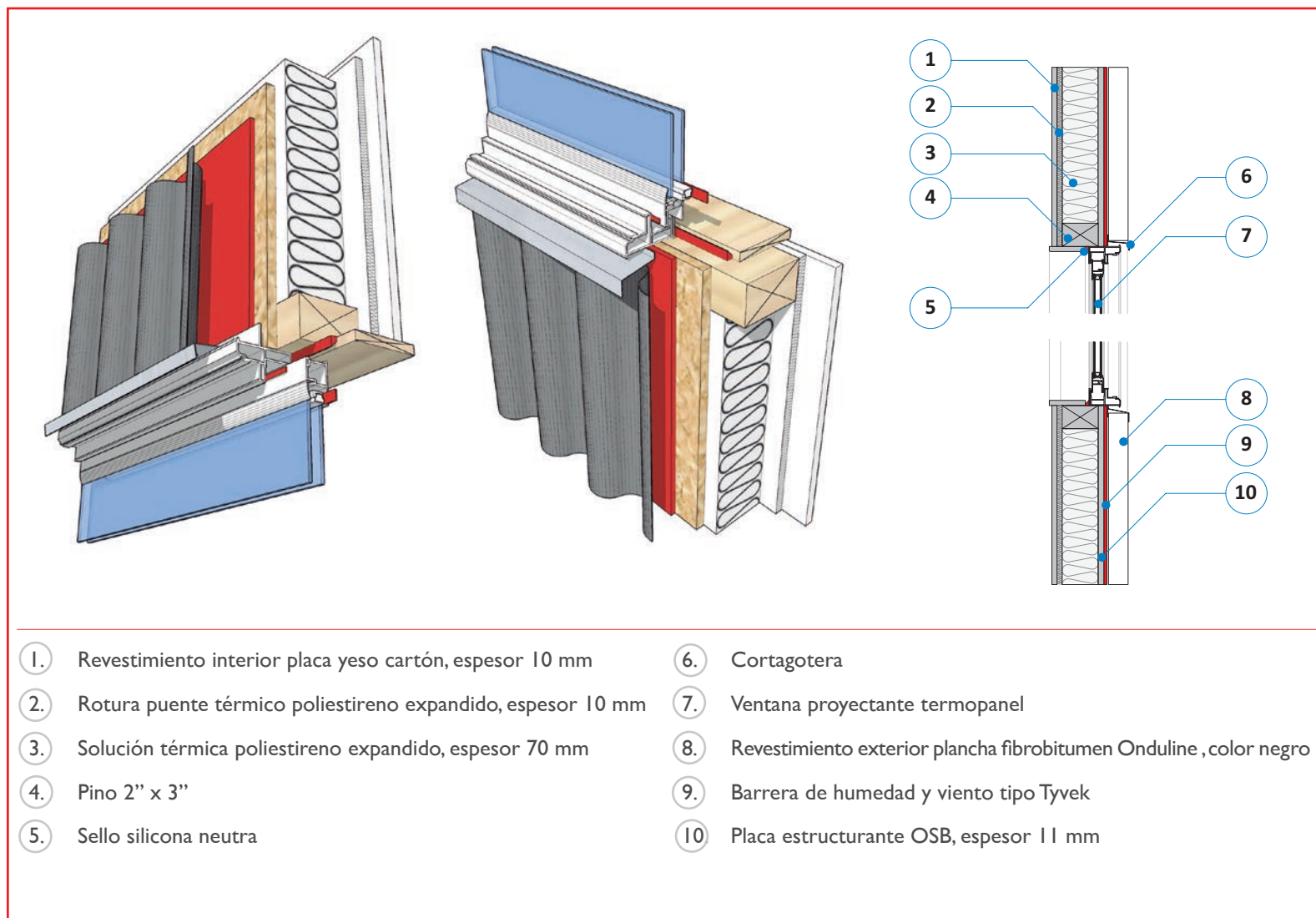


Figura 10.12: Detalle encuentro muro - ventana



Figura 10.13: Aplicación de sello de silicona en marcos de ventanas



Figura 10.14: Sellos de poliuretano inyectado en marcos de ventanas

importante considerar que la hermeticidad puede implicar un deterioro en la calidad del aire si no se proyectan estrategias de ventilación apropiadas. El concepto de construir herméticamente y ventilar adecuadamente, que se discute en el Capítulo 9, se materializa en estas viviendas a través de estrategias de ventilación natural.

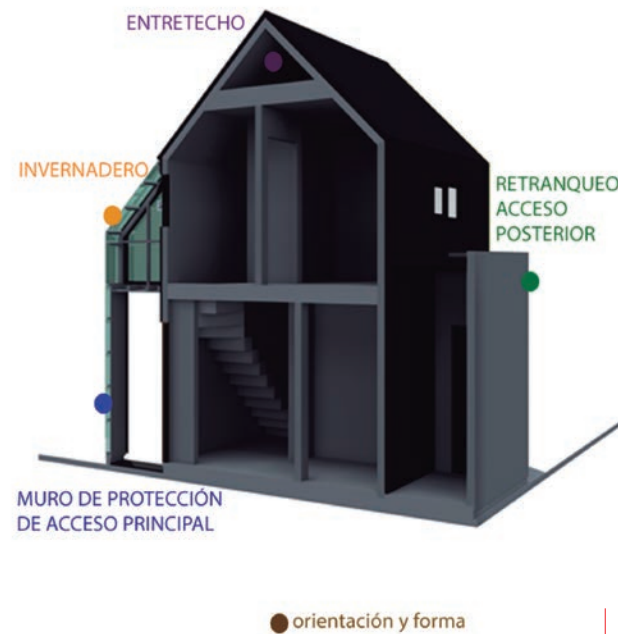


Figura 10.15: Esquema en corte

Para el periodo de invierno, cuando las necesidades de ventilación son más críticas ya que la apertura

de ventanas implica fugas de calor, las estrategias de ventilación natural se centran en un sistema de aireadores dispuestos en distintos puntos de la vivienda, con el objetivo de alcanzar 1,5 renovaciones de aire por hora, calculadas para mantener una buena calidad del aire, de acuerdo a la densidad de ocupación esperada y al volumen de aire. Considerando que el viento predominante de invierno proviene del norte, el aire ingresa a través de aireadores ubicados en el espacio solar, que contribuye a precalentar el aire en días soleados; y se elimina a través de aireadores ubicados en el cielo de los dormitorios hacia el entretecho ventilado. Los aireadores son operables y poseen filtros para el polvo, por lo que permiten un flujo de aire a baja velocidad que no genera problemas de confort térmico en los usuarios. Esta estrategia de ventilación es sencilla y de bajo costo, pero tiene la desventaja de que el aire que ingresa está usualmente a temperatura exterior, lo que contrasta con el próximo caso de estudio que posee una estrategia de ventilación más eficiente, pero de mayor costo y complejidad.

La estrategia de ventilación para el verano se centra en la apertura de ventanas en todas las orientaciones para favorecer la ventilación cruzada, además de ventilación en el entretecho y bajo la cubierta.



Figura 10.16: Aireadores operables en espacio solar



Figura 10.17: Aireadores operables en muros envolventes

## 10.1.5 RESULTADOS DE HERMETICIDAD

Las viviendas fueron sometidas al ensayo Blower Door con el objetivo de medir la hermeticidad al aire. Para ello se seleccionó una vivienda representativa y se ejecutó el ensayo junto con la aplicación de humo para visualizar los puntos de fuga de aire. La Figura 10.18 muestra la ejecución del ensayo, donde la vivienda alcanzó un valor n50: 8,4 (1/h), lo que se compara positivamente con el valor promedio que alcanzan las viviendas de madera a nivel nacional, que presentaron valores entre 15 y 25 (1/h) (ver Capítulo 2).

Tabla 10.2: Ficha Técnica

Superficie habitable	52 m <sup>2</sup>
n50	8,4 (1/h)
Valor U muros	0,59 W/m <sup>2</sup> °C
Valor U techumbre	0,28 W/m <sup>2</sup> °C
Demanda energética calefacción	60,9 kWh/m <sup>2</sup> año



Figura 10.18: Ensayo Blower Door a vivienda tipo Condominio Nuevo Mundo



Figura 10.19: Visualización de flujos de aire con humo

## 10.2 VIVIENDA PILOTO PASSIVHAUS

Esta vivienda corresponde al caso piloto del proyecto Fondef D0911081 que busca introducir el estándar Passivhaus en Chile. Su envolvente en base a paneles de madera contralaminada CLT posee altos estándares de aislación térmica y una altísima hermeticidad al aire, en concordancia con los requerimientos del estándar internacional Passivhaus, cuyo principal objetivo de desempeño es alcanzar una demanda de calefacción de sólo 15 kWh/m<sup>2</sup> al año, y una hermeticidad al aire a 50 Pa de solo 0,6 renovaciones de aire por hora (Valor n50).

*Tabla 10.3: Identificación del caso de estudio*

Identificación	Vivienda Piloto Passivhaus
Localización	San Pedro de la Paz, Zona Climática Sur Litoral
Arquitectos	Paulina Escobar Quintana
Asesorías	Tobías Hatt, Ricardo Hempel, Gerardo Saelzer, Denisse Schmidt, Paulina Wegertseder, Proyecto Fondef D0911081 Universidad del Bío-Bío
Constructora	Constructora: Paulina Escobar Quintana Paneles CLT: Marcus y Cia Ltda
Monitorización	CITEC UBB
Año construcción	2013 / 2014

### 10.2.1 ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO

El proyecto consiste en dos viviendas pareadas, de forma compacta, lo que implica una menor superficie de envolvente exterior en relación al volumen interior, minimizando las pérdidas de calor. La fachada principal se orienta al norte con mayores superficies vidriadas para captar la radiación solar en invierno y estaciones intermedias. El acceso se orienta al sur y está semi-protegido a través un espacio de acceso interior retranqueado. La fachada sur dispone de elementos vidriados limitados para evitar las pérdidas de calor en esa orientación, porque recibe muy poca radiación solar durante el año.



*Figura 10.20: Render del proyecto*

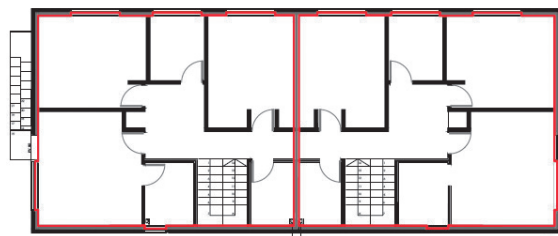
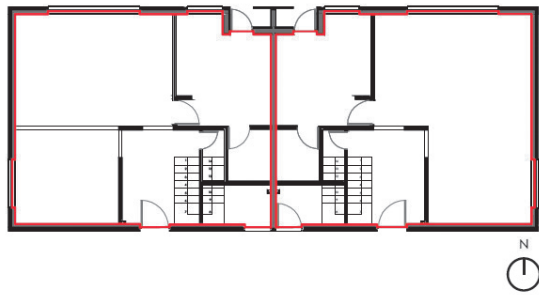


Figura 10.21: Plantas del proyecto Passivhaus

## 10.2.2 DISEÑO DE LA ENVOLVENTE

La envolvente fue cuidadosamente diseñada en base a objetivos de aislamiento térmico y hermeticidad al aire. Los paneles de CLT consistentes en tres capas de madera sólida fueron prefabricados por la empresa Marcus y Cia Ltda, cuidando de lograr un primer objetivo de hermeticidad a través de los adhesivos utilizados entre las capas (Figura 10.22). Por el exterior del panel se dispuso de dos capas de aislamiento térmico de lana mineral de 50mm de espesor cada una, entre encintados de madera dispuestos en distintas orientaciones, con lo que

se minimizó el puente térmico generado por la madera. Sobre la aislación térmica, una membrana transpirable de marca Rothoblaas cumple la función de barrera de humedad y viento, y configura una cámara ventilada generada por un encintado que recibe el revestimiento exterior de madera (Figura 10.23).



Figura 10.22: Prefabricación de los paneles de CLT



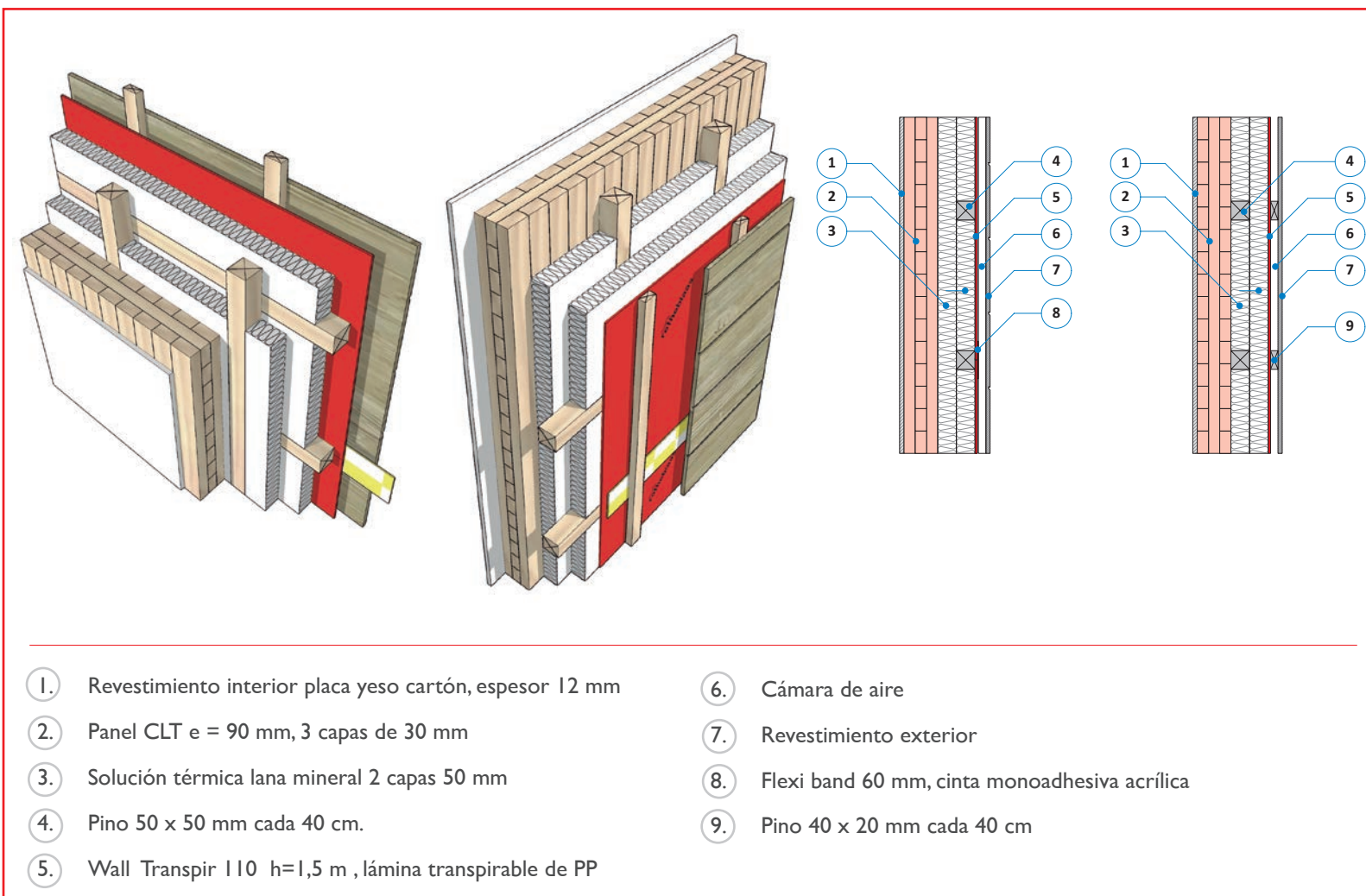


Figura 10.23: Detalle de muro envolvente

La ejecución de la envolvente fue un gran desafío en materia de hermeticidad, ya que el estándar Passivhaus requiere alcanzar un objetivo de desempeño n50 de 0,6 renovaciones de aire por hora, lo que es inédito en el país, lejano a lo registrado en la línea base de hermeticidad al aire de las edificaciones en Chile, detallada en el Capítulo 2 de este manual.

La ejecución de las viviendas comienza por la perfecta nivelación de las bases de soleras y la colocación de cintas de goma que incluyen un Compriband bajo las soleras, de manera de evitar rendijas de aire en estas uniones (Figura 10.24) y Figura 10.25).

La unión entre la solera y el panel dispone de una cinta de sello que se ilustra en la Figura 10.26 y luego una membrana de sello autoadhesiva de aproximadamente 80cm de alto que cubre toda la unión que se genera entre el panel y el sobrecimiento (Figura 10.27).



*Figura 10.24: Bases de soleras niveladas*



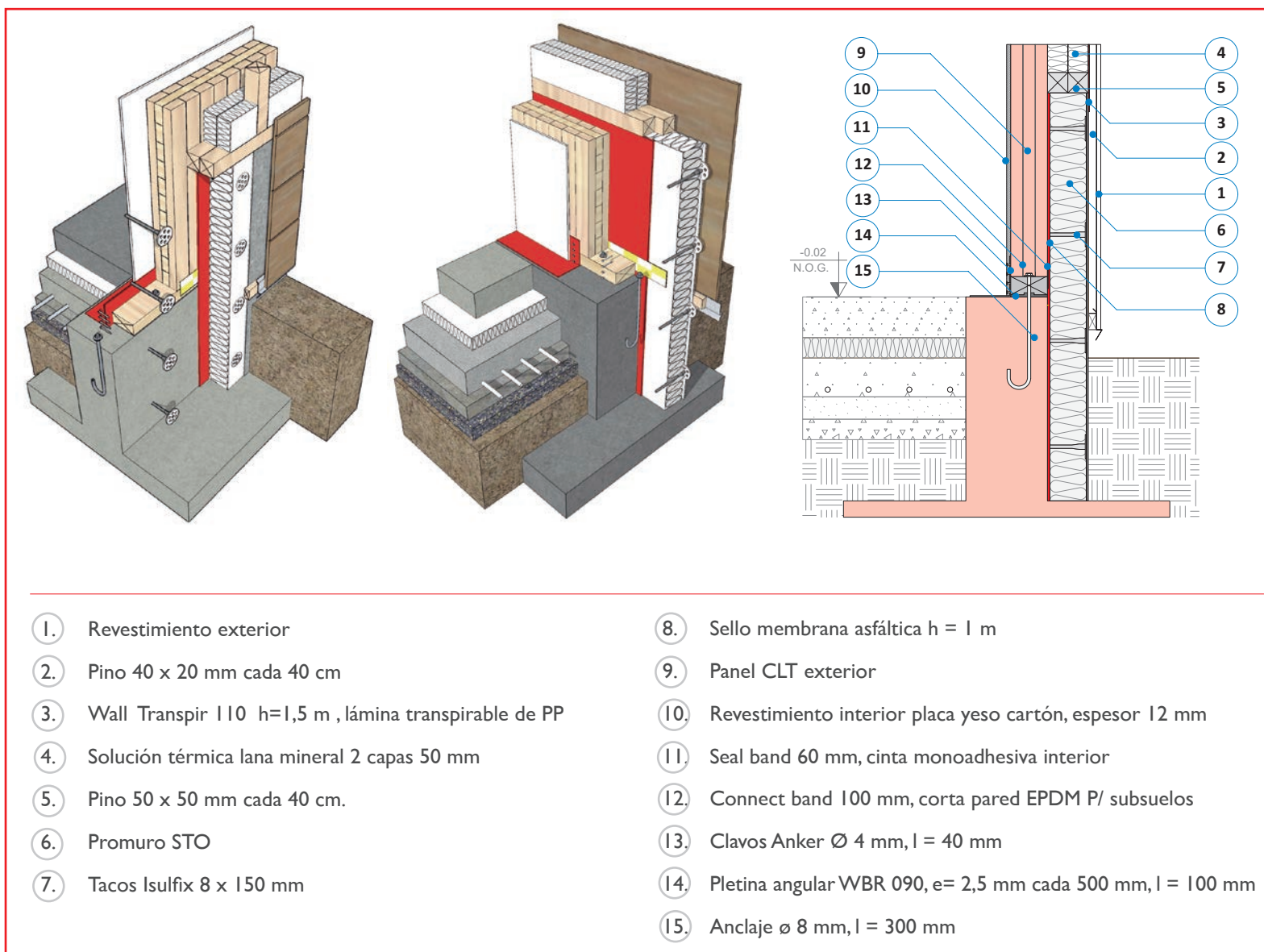
*Figura 10.25: sello bajo solera incluye un Compriband (marca Rothoblaas)*



*Figura 10.26: Cintas de sello en unión entre solera y panel*



*Figura 10.27: Membrana bituminosa de sello autoadhesiva en unión sobrecimiento-panel*



- |  |   |
|--|---|
| 1. Revestimiento exterior                                  | 8. Sello membrana asfáltica $h = 1$ m                               |
| 2. Pino 40 x 20 mm cada 40 cm                              | 9. Panel CLT exterior   |
| 3. Wall Transpir 110 $h=1,5$ m , lámina transpirable de PP | 10. Revestimiento interior placa yeso cartón, espesor 12 mm         |
| 4. Solución térmica lana mineral 2 capas 50 mm             | 11. Seal band 60 mm, cinta mono adhesiva interior                   |
| 5. Pino 50 x 50 mm cada 40 cm.                             | 12. Connect band 100 mm, corta pared EPDM P/ subsuelos              |
| 6. Promuro STO   | 13. Clavos Anker $\varnothing 4$ mm, $l = 40$ mm                    |
| 7. Tacos Isulfix 8 x 150 mm                                | 14. Pletina angular WBR 090, $e = 2,5$ mm cada 500 mm, $l = 100$ mm |
|  | 15. Anclaje $\varnothing 8$ mm, $l = 300$ mm                        |

Figura 10.28: Detalle unión entre el muro y el sobrecimiento

Las uniones entre los paneles también requirieron de gran esfuerzo en materia de hermeticidad, por lo que se dispuso de cintas adhesivas tanto por el exterior como por el interior (Figura 10.29 y Figura 10.30). Es importante indicar que la barrera a la hermeticidad de la vivienda la constituyen principalmente los paneles de madera CLT, lo que se demostró en el primer ensayo de Blower Door realizado a la vivienda.

Finalmente, la membrana de barrera al viento cubre completamente los muros envolventes, siendo además permeable al paso del vapor de agua, permitiendo que éste emigre al exterior a través de la cámara de aire ventilada. La Figura 10.31 permite observar que las uniones entre las membranas fueron selladas con cintas adhesivas, con el fin de lograr una membrana continua por toda la envolvente de la vivienda, que incluye también sellos a los tubos de instalaciones, como se muestra en la Figura 10.32.



*Figura 10.29: Cintas adhesivas sellan las uniones entre los paneles*



*Figura 10.30: Cintas de sellos entre paneles por el interior*



*Figura 10.31: Membrana de barrera al viento*



*Figura 10.32: Sellos en las instalaciones*



*Figura 10.33: Sellos en unión marco-muro, por el interior*



*Figura 10.34: Sellos en unión marco-muro, por el exterior*

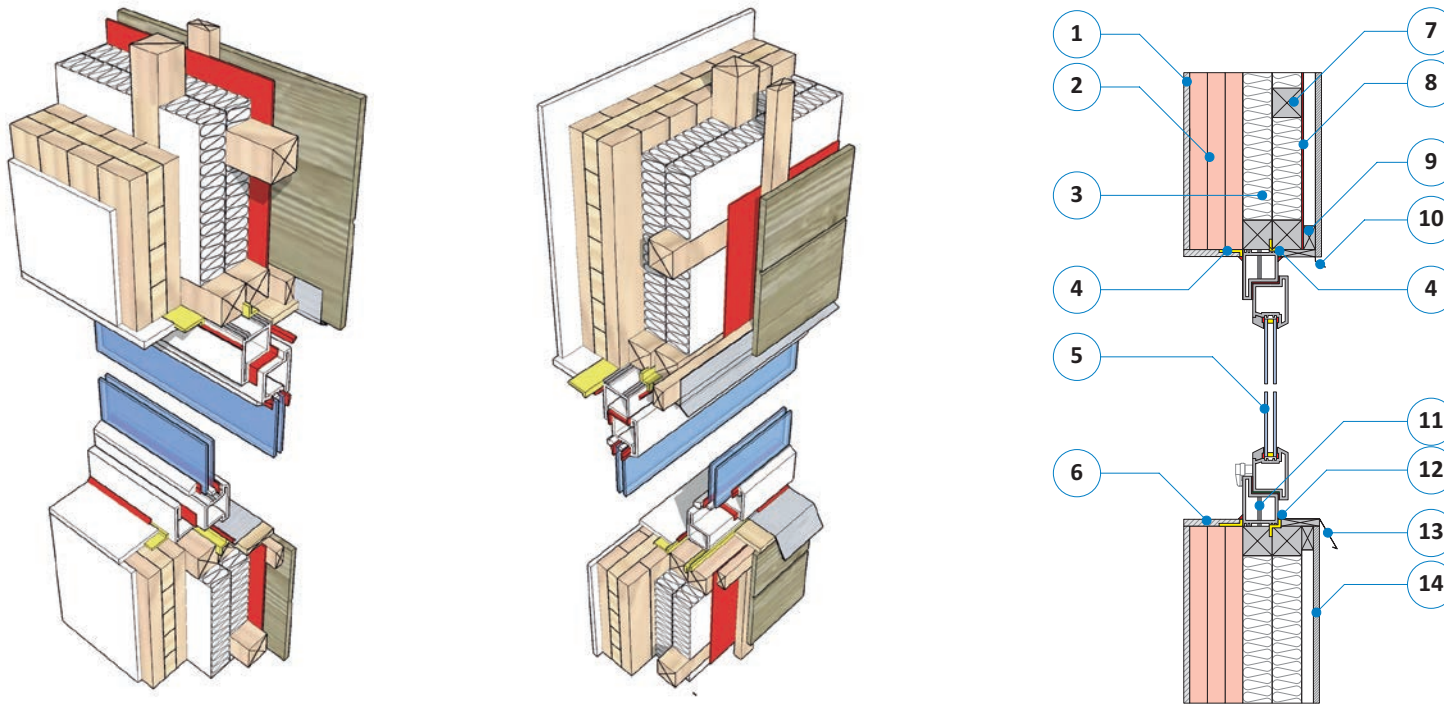
## 10.2.3 PERMEABILIDAD DE VENTANAS

Las ventanas juegan un rol muy importante en esta vivienda de altos estándares de hermeticidad, ya que como ha sido discutido en capítulos anteriores, gran parte de las infiltraciones se generan tanto por las uniones entre los perfiles de la ventana, como por la unión entre el marco de la ventana y el muro.

Para disminuir las infiltraciones por las ventanas, se especificaron ventanas proyectantes con varios puntos de sello, marco de PVC y doble vidriado hermético con gas Argón. La unión entre el marco de la ventana y el muro consideró, por el interior, sellante acrílico y cintas adhesivas; y por el exterior, cintas adhesivas por todo el contorno, tal como se ilustra en la figura 10.33 y figura 10.34.



*Figura 10.35: Cintas de sellos en ventanas y en unión de entrepiso*



- |  |   |
|--|---|
| 1. Revestimiento interior placa yeso cartón, espesor 12 mm | 8. Wall Transpir I 10 h=1,5 m , lámina transpirable de PP |
| 2. Panel CLT e = 90 mm, 3 capas de 30 mm                   | 9. Pino 40 x 20 mm cada 40 cm                             |
| 3. Solución térmica lana mineral 2 capas 50 mm             | 10. Cortagotera   |
| 4. Seal band 60 mm, cinta mono adhesiva interior           | 11. Tornillo autorroscante Flat PH                        |
| 5. Ventana Kommerling PVC proyectante termopanel con argón | 12. Sellante acrílico para ventana Sikacryl               |
| 6. Placa yeso cartón, espesor 12 mm                        | 13. Botagua con cortagotera                               |
| 7. Pino 50 x 50 mm cada 40 cm.                             | 14. Revestimiento exterior                                |

Figura 10.36: Detalle ventana



Figura 10.37: Puerta de acceso de madera con doble contacto



Figura 10.38: Puerta de acceso con marco inferior

La puerta de acceso de madera es de doble contacto y contempla un marco en la parte inferior para evitar infiltraciones de aire por esta zona, tal como se ilustra en la Figura 10.37 y en la Figura 10.38.

## 10.2.4 ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN

Un objetivo de hermeticidad tan alto como el que se propone en esta vivienda, debe ir acompañado de una adecuada estrategia de ventilación, ya que la renovación de aire por infiltraciones no será suficiente para satisfacer las necesidades de calidad del aire de sus ocupantes, y por otro lado, la apertura de ventanas en invierno es indeseable para mantener una baja demanda de calefacción, ya que se debe evitar perder el calor generado al interior.

Debido a esto, el estándar Passivhaus conlleva generalmente un sistema de ventilación con recuperación de calor, que permite que el calor del aire viciado interior se traspare al aire limpio y fresco proveniente del exterior, en base a un sistema eficiente y de bajo consumo de energía. Para ello se ha dispuesto un sistema de ventilación mecánico en la vivienda, que extrae el aire desde la cocina y baños, para precalentar el aire limpio e inyectarlo a los dormitorios y estar.

## 10.2.5 ENSAYO DE HERMETICIDAD

Se realizaron ensayos de hermeticidad a la vivienda en diferentes etapas de su proceso constructivo, con el fin de evaluar el avance en el cumplimiento del objetivo. A la fecha de esta publicación, la vivienda alcanzó un valor n50 de 1,0 renovación de aire por hora, lo que es muy bueno para la etapa del proceso. El ensayo contempló visualización de fugas con humo, lo que permitió concentrar los esfuerzos de sellado en los puntos específicos de fuga.

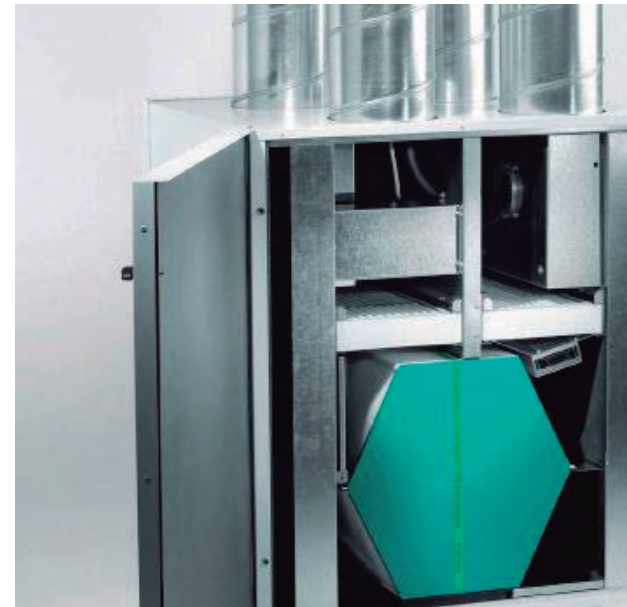


Figura 10.39: Sistema de ventilación con recuperación de calor



Figura 10.40: Ensayo Blower Door en etapa de obra gruesa

Tabla 10.4: Ficha Técnica

Superficie habitable	105 m <sup>2</sup>
n50	1,0 (1/h) (preliminar, en etapa de obra gruesa)
Valor U muros	0,29 W/m <sup>2</sup> °C
Valor U techumbre	0,28 W/m <sup>2</sup> °C
Valor U ventanas	1,26 W/m <sup>2</sup> °C
Demanda energética calefacción	15 kWh/m <sup>2</sup> año



---

## BIBLIOGRAFÍA

Hempel, R., Hatt, T., Saelzer, G., Schmidt, D., Wegertseder, P. (2013). *El estándar Passivhaus en Chile*, Concepción, Universidad del Bío-Bío

Trebilcock, M., Schippacasse, F., Saelzer, G., Bobadilla, A., Opazo, A., Guzmán, F., Figueroa, R. (2012). *Performance Integrated Design of Low-cost Housing in Chile*, Proceedings of PLEA Conference 2012, Lima, Perú.

# GLOSARIO



---

# GLOSARIO

**Área de infiltración efectiva (ELA):** Es una representación de la calidad hermética de la envolvente. Este indicador asume que el área total de fuga corresponde a un orificio que cuantifica el área absoluta de los orificios en el edificio, combinando cada grieta y agujero presente en el edificio en un agujero idealizado. Este indicador depende de la presión a la que se está evaluando el ensayo, normalmente se entrega a 4Pa y a 50Pa.

**Blower Door:** Equipo que permite evaluar la hermeticidad al aire de un edificio. Consiste en una “puerta” que se adapta a las dimensiones de un vano de puerta o ventana, en la que se instala un ventilador que permite presurizar y despresurizar el edificio. Cuenta con un medidor de presión y de flujo, que permiten conocer la cantidad de aire impulsado por el ventilador. Se utiliza para determinar la tasa de fuga de aire según NCh 3295 Of. 2013.

**Calidad aceptable del aire:** Aire ambiental que no contiene concentraciones perjudiciales para la salud humana de contaminantes y que es considerada aceptable para el 80% de los ocupantes (ASHRAE 62.1-2010)

**Cambio de aire por hora:** Se refiere a el volumen de aire que entra o sale de un edificio o espacio habitable en una hora, dividido por el volumen del edificio o espacio habitable.

**Control prestacional o de desempeños:** Control del conjunto de características cualitativas y cuantitativas de una edificación o parte de ella, identificadas y medidas objetivamente, que contribuyen a determinar su aptitud para responder a las distintas funciones para las que ha sido diseñada.

**Efecto Stack:** Presión hidrostática causada por el peso de una columna de aire dentro o fuera de un edificio. La presión hidrostática en el aire depende de la densidad y la altura de interés por encima de un punto de referencia.

**Envolvente:** Superficie de un edificio que se encuentra en contacto con el exterior, incluye elementos opacos y translucidos.

**Espacio acondicionado:** Espacio o recinto interior de un edificio que se encuentra en régimen de

---

calefacción o enfriamiento.

**Exfiltración:** Flujo de aire a través de grietas u otras aberturas no intencionales en la envolvente desde el interior del edificio hacia el exterior, impulsadas por diferencias de presión naturales y / o artificiales.

**Grados día de infiltración (GD<sub>i</sub>):** Indicador de la severidad climática relacionada con las infiltraciones de aire. Se calcula según ANSI/ASHRAE 119-1988 (RA 2004).

**Hermeticidad al aire:** Característica física de la envolvente que describe su capacidad para oponerse a las infiltraciones. Está relacionada con la materialidad de la envolvente y la calidad de la ejecución.

**Imágen termográfica:** Imágen producida por un sistema sensible a la radiación infrarroja y que representa la distribución de temperatura radiante aparente sobre una superficie.

**Infiltración de aire:** Ingreso de aire a un recinto en forma indeseada a través de grietas, intersticios propios de los elementos que conforman la envolvente, causado por presiones de viento o diferencias en la densidad del aire interior y exterior. Normalmente se asocia a pérdidas de energía al intercambiar aire acondicionado por aire exterior.

**Intercambio de aire:** Se refiere al cambio de aire que se produce cuando el aire al interior de un edificio es remplazado por aire proveniente del exterior. Se puede clasificar en forma general según su origen en ventilación o infiltración.

**Nivel de presión neutro:** Es el nivel donde la presión interior y exterior son iguales. En ausencia de viento, este nivel es dependiente de la estructura del edificio, de la envolvente y tipología. Depende principalmente de la ubicación vertical de vanos, la resistencia de estos al flujo y la resistencia al flujo del edificio, determinada por la configuración espacial de los pisos y conexiones verticales entre los mismos.

**Permeabilidad al aire:** Se refiere a la capacidad de un componente de la envolvente de un edificio para permitir el paso de aire a través de él al estar expuesto a un diferencial de presión.

**Presurización:** Aumento en forma artificial y constante de la presión de aire en un recinto o edificio.

**Singularidades de infiltración:** Corresponden a todas aquellas zonas críticas de la envolvente de una edificación que permiten el paso involuntario de aire a través de ella. Se localizan principalmente en las uniones entre dos o más elementos constructivos; en las pasadas de instalaciones tradicionales; y en los defectos constructivos de la cáscara de la edificación.

---

**Temperatura exterior:** Temperatura del aire al exterior de un edificio.

**Ventilación:** Intercambio de aire entre el exterior e interior de un edificio en forma voluntaria.

**Temperatura interior:** Temperatura del aire al interior de un edificio.

**Valor límite de hermeticidad:** Valor límite definido por provincia del país, que define la capacidad de oponerse a las infiltraciones de aire de la envolvente. Su unidad de medida es cambios de aire por hora (1/h) a una presión diferencial de 50 Pa. A menor valor, mayor exigencia.

**Velocidad del viento:** Parámetro que califica el movimiento de aire, se puede expresar en m/s, km/h, entre otros.

**Ventilación Mecánica:** También conocida como forzada, es el movimiento de aire hacia o desde el edificio usando ventiladores, rejillas de inyección o extracción.

**Ventilación Natural:** Introducción de aire proveniente del exterior de un edificio en forma voluntaria a través de ventanas, puertas, celosías y otras fenestraciones en la envolvente, aprovechando los motores de viento existentes en el lugar. El movimiento de aire se produce por la acción del viento y/o por la existencia de un gradiente de temperatura.





**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
*La Universidad de la Región del Bío-Bío*

