



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Chile

Ossio, F.; De Herde, A.; Veas, L.  
Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile  
Revista de la Construcción, vol. 11, núm. 1, abril, 2012, pp. 54-63  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127623090006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*European requirements for  
air infiltration: Lessons  
for Chile*

# Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile



## Autores

**OSSIO, F.** Université catholique de Louvain,  
faossio@uc.cl  
Louvain, Bélgica

**DE HERDE, A.** Université catholique de Louvain,  
andre.deherde@uclouvain.be  
Louvain, Bélgica

**VEAS, L.** Pontificia Universidad Católica de Chile,  
lveas@uc.cl  
Santiago, Chile

**Fecha de recepción** 06/03/2012

**Fecha de aceptación** 16/04/2012

## Resumen

Los Estados miembros de la Unión Europea se han comprometido a reducir para el 2020 el consumo de energía primaria en un 20%. Dado que el consumo de energía en los edificios residenciales y comerciales representa aproximadamente un 40% del consumo total de energía final, se han definido una serie de políticas de Eficiencia Energética que mejoren el desempeño energético de las viviendas a modo de contribuir con el objetivo planteado. Una de las principales diferencias de estas políticas con la Reglamentación Térmica chilena

radica en que esta última no considera las pérdidas térmicas por infiltraciones de aire, las cuales pueden mermar o anular cualquier avance que generen los actuales requerimientos nacionales. El presente estudio revisa los estándares de 14 países europeos en lo que respecta a limitación de las pérdidas por infiltraciones de aire, discutiendo su sistema de evaluación, unidades de medida y valor a modo de obtener lecciones para una futura consideración de este tipo de pérdidas en la actual Reglamentación Térmica chilena.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, estándares de construcción, infiltraciones de aire.

## Abstract

*The Member States of the European Union have pledged to reduce by 20% the primary energy consumption to 2020. Since the energy consumption in residential and commercial buildings represents approximately 40% of total energy, it is possible to define a series of energy efficiency policies that allow improving the energy performance of dwellings as way to reach this objective. One of the main differences of these policies with respect to the Chilean Thermal Regulation is that the*

*latter does not consider heat losses by air infiltration, which in practice may reduce or even eliminate the benefits generated in the context of the current building requirements. This study reviews the national standards of 14 European countries with regard to the limitation of heat losses by air infiltration, with the aim of discussing their evaluation system, measure units and extracting future lessons for the Chilean Thermal Regulation.*

**Keywords:** Energy Efficiency, Construction Standards, Air Infiltration.

## 1. Introducción

El uso creciente de combustibles fósiles ha dirigido al planeta hacia un potencial cambio climático, cuyas consecuencias podrían ser irreversibles, motivo por el cual las autoridades internacionales han puesto su atención en el desarrollo de políticas de Eficiencia Energética que contribuyan a disminuir su consumo energético. En este contexto, los Estados Miembros de la Unión Europea se han comprometido a reducir para el 2020 los gases de efecto invernadero en un 20% por debajo de los niveles de 1990, a aumentar en un 20% la explotación de energías renovables y a adoptar medidas de Eficiencia Energética que permitan obtener un ahorro energético de un 20% con respecto a los niveles de consumo actuales.

El consumo de los edificios en los Estados Miembros de la Unión Europea representa alrededor del 40% del consumo total de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto este sector juega un papel clave en la consecución de los objetivos de la política energética y climática (Dyrbol, S. et al. 2010).

Dado lo anterior, se crea en el 2002 la EPBD (Energy Performance Building Directive), que tiene por objetivo fomentar la mejora de la Eficiencia Energética en el sector construcción, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias en materia de clima interior y la relación costo-beneficio. Entre sus principios se encuentra que cada Estado Miembro deberá fijar requisitos mínimos en materia de eficiencia energética a los edificios nuevos.

Los Estados Miembros de la Unión Europea han avanzado de modo dispar en los lineamientos de la EPBD, sin embargo tienen en común el hecho de buscar exigencias que permitan disminuir el consumo energético de calefacción doméstica, la cual contribuye significativamente a las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, una de las causas del efecto invernadero y el consecuente cambio climático, y que tiene un alto potencial de ahorro.

Desde el punto de vista energético puede considerarse el edificio como un sistema termodinámico sometido en forma permanente a múltiples y variadas influencias físicas, limitado por una envolvente a través de la cual se intercambia dinámicamente energía y masa, cuyo consumo energético por concepto de calefacción depende, a grandes rasgos, de las necesidades a cubrir, las ganancias dadas por aportes internos y solares, y las pérdidas a través de la envolvente.

Las medidas de Eficiencia Energética se han dirigido en gran medida a reducir las pérdidas a través de

la envolvente, las cuales corresponden a dos tipos. El primero, corresponde a las pérdidas por transmisión, determinadas por el diseño constructivo, conductividad térmica y espesor de los materiales constituyentes de la envolvente del edificio. El segundo tipo corresponde a las pérdidas por ventilación, que incluyen las infiltraciones, determinadas por las características permeables o de hermeticidad de la envolvente de los edificios. Las características termoconstructivas y permeables son propiedades inherentes al diseño y a la calidad de ejecución de la envolvente del edificio.

Ambas pérdidas deben ser consideradas, si se quiere disminuir el consumo energético de las viviendas, sin embargo la reglamentación térmica chilena establece requisitos solo para el primer tipo (pérdidas por transmisión), no existe en Chile actualmente ninguna disposición orientada a la regulación y control de las pérdidas térmicas derivadas de las infiltraciones de aire, las cuales influyen entre un 24 y 73% en la demanda de energía de calefacción de la vivienda chilena (Bustamante, W. et al. 2009).

Si bien Chile presenta un menor consumo energético que los Estados Miembros de la Unión Europea se debe tender a políticas de Eficiencia Energética que aseguren un adecuado suministro de energía en el largo plazo para apoyar el desarrollo económico; mejoren la seguridad del suministro de energía para reducir la dependencia de fuentes extranjeras; proporcionen un medio ambiente sano y libre de contaminación para la sociedad, y contribuyan a la mitigación del cambio climático global.

El presente estudio se plantea el problema de cómo debiesen ser abordadas las exigencias que tengan como fin controlar pérdidas térmicas derivadas de las infiltraciones de aire en viviendas, para ello se analizan las exigencias de 14 países europeos, se discuten sus diferencias y su aplicabilidad en Chile, obteniendo lecciones y recomendaciones para futuras exigencias chilenas.

## 2. Aspectos teóricos

A la hora de analizar cómo debiesen ser las exigencias a incluir en la reglamentación térmica de viviendas que permitan limitar las pérdidas térmicas por ventilación, se deben conocer una serie de conceptos básicos que se proceden a explicar.

La infiltración de aire corresponde al flujo incontrolado de aire que ingresa a un recinto a través de agujeros no intencionales y las grietas en la envolvente de la vivienda. La tasa de infiltración de aire depende de la porosidad de la estructura de la vivienda (hermeticidad

al aire) y la magnitud de las fuerzas naturales, como el viento y la temperatura.

Los respiraderos y otras aberturas incorporadas en la vivienda como parte del diseño de la ventilación también pueden convertirse en rutas para el flujo de aire no intencional cuando las presiones que se ejercen a través de dichas aberturas están dominadas por las condiciones meteorológicas en lugar de forma intencionada (Liddament, M. 2006).

La infiltración de aire no solo se suma a la cantidad de aire que entra a la vivienda, lo cual pueden interferir con el patrón de flujo de aire previsto en perjuicio de la calidad general del aire interior y confort, también influye en un mal desempeño energético de la vivienda aumentando el consumo por conceptos de calefacción o refrigeración.

El aire que entra en un espacio proviene de una combinación de infiltración y fuentes intencionales. Mientras que la medición del caudal de aire a través de aberturas identificables es posible mediante la medición directa del flujo, no es factible medir el flujo de aire a través de los muchos agujeros y grietas desconocidas que pueden aparecer en la construcción de una vivienda. Internacionalmente este problema se ha superado mediante la técnica de presurización.

La prueba de presurización se utiliza para medir la hermeticidad de los edificios y/o sus componentes. El propósito de este método consiste en medir la hermeticidad de un edificio a presiones superiores a las que se desarrollan naturalmente, pero no tan grandes que el proceso de presurización genere y/o distorsione artificialmente las aberturas.

Las mediciones se realizan mediante el uso de un ventilador para crear presiones adicionales entre el interior y exterior de una vivienda. Para ello se utiliza una puerta que trae incluido un ventilador, la cual reemplaza temporalmente una puerta de entrada existente.

Las presiones se hacen aumentar paulatinamente hasta normalmente los 100 Pa de presión. Para cada incremento de presión, el caudal de aire correspondiente que pasa a través del ventilador se mide gracias a una placa de orificios calibrados que incluye el ventilador. Para de ese modo, representar la presión inducida y el caudal generado, caracterizando el flujo de aire. Para minimizar el efecto de las presiones naturales, la prueba debe llevarse a cabo durante períodos de baja velocidad de viento.

La prueba de presurización ha sido el sistema de evaluación elegido por los países en estudio para verificar

el cumplimiento de los criterios de hermeticidad impuestos a las viviendas nuevas y cada vez más a viviendas existentes que garantizan una disminución en las pérdidas por ventilación. A continuación se describen los requisitos de hermeticidad de las viviendas de 14 países cuya verificación se realiza utilizando la prueba de presurización.

### 3. Resultados

Los Estados Miembros de la Unión Europea, en concordancia con la EPBD, han introducido diferentes requisitos para limitar la permeabilidad al aire de los edificios, es decir, garantizar un mínimo de hermeticidad de la envolvente, dado que un edificio con altos niveles de infiltraciones de aire sufre de elevados niveles de consumo de energía y si las infiltraciones son excesivas puede causar condiciones insalubres para sus usuarios, y daños a las estructuras.

En el presente artículo se revisan los requisitos establecidos por 14 países europeos para limitar la permeabilidad al aire de los edificios residenciales nuevos, poniendo especial énfasis en el sistema de medición, las unidades de medida, y la normativa de referencia. Se contrasta la información con la realidad local a modo de obtener lecciones para futuras normativas de Eficiencia Energética que contribuyan a asegurar un adecuado suministro de energía en el largo plazo; mejorar la seguridad del suministro de energía para reducir la dependencia de fuentes extranjeras; proporcionar un medio ambiente sano y libre de contaminación para la sociedad, y ayuden a la mitigación del cambio climático global.

La Tabla 1 muestra un resumen de los requisitos de estanqueidad para viviendas. Como se aprecia la prueba de presurización para determinar la hermeticidad de la envolvente se mide normalmente a una presión de 50 Pa, salvo Francia que utiliza 4 Pa. El requisito se expresa típicamente en las unidades vol/h o  $m^3/hm^2$ , salvo excepciones como Dinamarca y Suecia donde utilizan  $l/sm^2$ , siendo  $m^2$  la superficie del suelo y no la superficie de la envolvente como los otros casos.

La diferencia de unidades y presiones utilizadas impiden la comparación directa entre los requisitos, con el fin de comparar estos criterios, la Tabla 2 presenta los estándares anteriores en la unidad mayoritaria vol/h. Para ello se han utilizado los supuestos expuestos por Limb (2001) considerando un volumen de construcción típico de 300  $m^3$  y una superficie de 250  $m^2$  y normalizados a una presión de diferencia de 50 Pa.

**Tabla 1.** Estándares de hermeticidad para envolventes de viviendas

País	Estándar	Unidad	Presión (Pa)
Alemania	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,5.	Vol/h	50
Austria	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,5.	Vol/h	50
Bélgica	Se encuentra limitada la demanda teórica del inmueble. En caso de que no se cuente con datos experimentales el valor por defecto de infiltraciones para el cálculo de demanda es 12 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	50
Bulgaria	Los edificios se clasifican en Alta, Media y Baja estanqueidad, siendo sus requisitos menor a 2,0; entre 2,0 y 5,0; y mayor a 5,0 respectivamente. Las viviendas unifamiliares reciben la misma clasificación, siendo sus requisitos menor a 4,0; entre 4,0 y 10,0; y mayor a 10,0 respectivamente.	Vol/h	50
Dinamarca	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,5.	l/sm <sup>2</sup>	50
Eslovenia	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 2,0.	Vol/h	50
Estonia	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de tipología del inmueble. Inmuebles pequeños deben tener un nivel de estanqueidad menor a 6,0. Inmuebles de gran tamaño deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0.	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	50
Francia	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de tipología del inmueble. Viviendas unifamiliares deben tener un nivel de estanqueidad menor a 0,8. Otros tipos de viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,2.	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	4
Letonia	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0.	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	50
Lituania	Se establecen requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,5.	Vol/h	50
Noruega	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0.	Vol/h	50
Portugal	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 0,6.	Vol/h	50
Reino Unido	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 10,0.	Vol/h	50
Suecia	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 0,8.	l/sm <sup>2</sup>	50

Fuente: Europe's Buildings under the Microscope.

Si bien este tipo de análisis es limitado, ya que las renovaciones de aire indicadas cubren una amplia gama de edificios, y el tamaño y naturaleza de estos rige los estándares descritos, se puede observar que las viviendas con ventilación natural tienden a tener un estándar de hermeticidad menos estricto que aquellas viviendas con ventilación mecánica. Esta diferencia permite garantizar que las viviendas con ventilación natural tengan una ventilación adecuada y las viviendas con ventilación mecánica no tengan excesivas pérdidas por infiltración que impidan un adecuado control del aire de ventilación.

Una comparación más exhaustiva requiere información sobre los volúmenes típicos de construcción,

y naturaleza de los mismos, ya que solo edificios de características similares se pueden comparar, sin embargo se debe tener en cuenta el clima local. Este aspecto, la presión de referencia, y la unidad de los estándares, se discuten a continuación.

#### 4. Discusión

Los requisitos para limitar la permeabilidad al aire de las viviendas contribuyen a disminuir el consumo de energía, permiten un uso eficiente de los sistemas de ventilación, entre otros beneficios. Como se ha visto, numerosos países han introducido en su reglamentación térmica estándares que garanticen una

**Tabla 2.** Estándares de hermeticidad para envolventes de viviendas normalizados a 50 Pa.

País	Clasificación	Estándar normalizado a 50 Pa (Vol/h)
Alemania	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
Austria	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
Bélgica	Valor por defecto para el cálculo de demanda	10,0
	Viviendas Unifamiliares de Alta Estanqueidad	2,0
Bulgaria	Viviendas Unifamiliares de Media Estanqueidad	Entre 2,0 y 5,0
	Viviendas Unifamiliares de Baja Estanqueidad	Mayor a 5,0
	Edificios de Alta Estanqueidad	4,0
	Edificios de Media Estanqueidad	Entre 4,0 y 10,0
	Edificios de Baja Estanqueidad	Mayor a 10,0
Eslovenia	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	2,0
Estonia	Viviendas Pequeñas	5,0
	Viviendas de Gran Tamaño	2,5
Francia	Viviendas Unifamiliares	3,5
	Otros tipos de Viviendas	5,3
Letonia	Viviendas en General	2,5
Lituania	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
Noruega	Viviendas en General	3,0
Portugal	Viviendas en General	0,6
Reino Unido	Viviendas en General	10,0

Fuente: Elaboración Propia.

hermeticidad adecuada de las viviendas, con el objetivo de disminuir con ello las pérdidas por ventilación.

Sin embargo, a pesar de tener un origen común, los estándares establecidos por los diferentes países difieren en aspectos que dificultan su comparación, siendo estos principalmente la presión de referencia, la unidad del estándar y el valor de los mismos. A continuación se analizan dichas diferencias teniendo presente el contexto nacional a modo de obtener lecciones para una futura modificación a la reglamentación térmica que considere la hermeticidad de las viviendas.

Como se mencionó en el marco teórico la técnica utilizada para evaluar la permeabilidad al aire o hermeticidad de las viviendas corresponde a la técnica de presurización, la cual consiste básicamente en medir, en régimen estacionario, el flujo necesario que pasa a través de un ventilador para mantener una presión constante entre el interior y el exterior de la vivienda.

Como se aprecia en la Tabla 1 la prueba de presurización para determinar la estanqueidad de la envolvente se mide normalmente a una presión de 50 Pa, salvo Francia que utiliza 4 Pa. Una reglamentación en Chile debe indicar el tipo de presión a utilizar. La utilización de 50 Pa es lo suficientemente alta para evitar las interferencias producidas por las presiones naturales, siendo razonablemente precisa. Desafortunadamente un flujo determinado a 50 Pa no representa una cantidad de interés, si se quieren comprender los flujos que atraviesan la envolvente en condiciones normales de uso, dadas las presiones a las que son sometidas las viviendas son más cercanas 1Pa.

Para determinar una estimación más exacta de la estanqueidad al aire en condiciones normales es necesario realizar la prueba a presiones normales. En este sentido la presión utilizada por Francia, 4 Pa, representa de un mejor modo la realidad, sin embargo evaluaciones con este diferencial de presión tienden a no ser tan precisas dado que se generan interferencias por las presiones naturales.

Otra alternativa es ensayar en un rango de presiones adecuado y luego extrapolar a una presión de referencia, más cercana a la realidad, utilizando la ley de potencias. Sin embargo debido a la no linealidad de la ley de potencias y de los sesgos que pueden estar asociados a las mediciones de presión, se pueden introducir errores al análisis de datos.

En el caso chileno con presiones normales hasta 4 Pa se debe establecer una presión de referencia teniendo en cuenta que la elección más precisa (50 Pa) es menos

real, mientras que la presión más real (4Pa) es menos precisa.

En este aspecto, diversos estudios recomiendan generar estándares con una presión de referencia de 50 Pa dado que la prueba de presurización utilizando un diferencial de presión de 4 Pa genera variaciones entre +87% y -45%, mientras que la variación alcanza solo un 15% cuando se realiza la prueba de presurización con un diferencial de presión de 50 Pa (Genger, 2011).

Una segunda diferencia que se aprecia de los estándares establecidos por los distintos países es la unidad de medida, las cuales permiten comparar un inmueble de otro. A saber, hay tres maneras de expresar la hermeticidad de la vivienda que se utilizan mayoritariamente, siendo útil para evaluar distintas cosas, cada una con sus ventajas y desventajas.

La primera y más utilizada corresponde a la tasa de renovaciones de aire a una presión de referencia. Esta unidad se relacionada con el volumen interior del inmueble y corresponde a la cantidad de veces que se renueva el aire interior considerando los aportes de las infiltraciones. La ventaja de esta unidad es que las tasas de otros movimientos de aire como la ventilación se citan con frecuencia en dicha unidad. Se expresa normalmente en ACH (Air Changes per Hour) o h<sup>-1</sup>, en la Tabla 1 se aprecia como vol/h para indicar la dependencia del volumen del inmueble.

La segunda corresponde a la permeabilidad de la envolvente a una presión de referencia. Esta unidad relaciona el caudal de infiltraciones con la superficie de la envolvente. Es útil si se busca definir la calidad de la envolvente como un parámetro de construcción. Se expresa normalmente en m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>.

Y finalmente el estándar se puede expresar en la estanqueidad relacionada con la superficie del suelo. Esta unidad puede ser la más fácil de determinar desde un punto de vista práctico, pero es difícil su relación con otras unidades. Se expresa normalmente en l/s. m<sup>2</sup>, donde m<sup>2</sup> corresponde al área del piso.

Como se aprecia en la Tabla 1 mayoritariamente se establecen las tasas de renovaciones de aire (vol/h) como unidad para expresar la estanqueidad al aire, seguido de la permeabilidad de la envolvente (m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>), siendo las excepciones Dinamarca y Suecia que establecen sus requerimientos en l/sm<sup>2</sup>, donde m<sup>2</sup> corresponde al área del piso.

Independiente que todas las unidades expresadas anteriormente deben ser parte de un informe de evaluación de hermeticidad de la vivienda, dado que

proporcionan distintas informaciones relevantes a la hora de hacer el diagnóstico de un inmueble, parece apropiado considerar una unidad con las renovaciones de aire como requisito, dada su fácil comparación y entendimiento con otros flujos de aire.

Un estándar expresado por la permeabilidad de la envolvente puede resultar complementario al enfoque de la actual Reglamentación Térmica chilena, la cual establece estándares relacionados con los elementos de la vivienda, pero tiene el riesgo implícito de considerar a las infiltraciones de aire como una característica puntual del elemento y no como un proceso global y dinámico.

Por otra parte, el análisis y comparación los diferentes estándares no se puede realizar de modo directo, dado que su efectividad depende de las características climáticas, el comportamiento de los usuarios, entre otras variables que difieren de país en país.

Pese a lo anterior, se puede observar en la Tabla 2 una tendencia de los países en estudio a establecer estándares diferentes según el tipo de ventilación, se puede observar que las viviendas con ventilación natural tienden a tener un estándar de hermeticidad menos estricto dado que las infiltraciones permiten un ingreso de aire que favorece al sistema de ventilación, mientras que las viviendas con ventilación mecánica tienden a tener un estándar de hermeticidad más estricto que limiten las infiltraciones de aire, cuyo aporte incontrolado puede derivar en un mal uso del sistema de ventilación.

A su vez, la diferencia entre los países es influída por las características locales, entre ellas el clima, dado que el viento y la temperatura influyen directamente en las infiltraciones de aire, diferentes zonas climáticas pueden tener estándares distintos para obtener el mismo resultado.

Dados los puntos anteriores, es recomendable que una futura reglamentación chilena cuyo objetivo sea establecer estándares de hermeticidad a la vivienda tenga en consideración las zonas climáticas de Chile, siempre que la zonificación térmica que regula actualmente la Reglamentación Térmica no considera otras variables climatológicas importantes a la hora de analizar las infiltraciones de aire. A su vez, una diferenciación según el tipo de ventilación y tipología de la vivienda permitirá un mejor control de las infiltraciones de aire.

En este contexto, el proyecto "FONDEF D10I1025 Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile", actualmente en desarrollo por el

Consorcio Tecnológico conformado por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío (CITEC UBB) y de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile y su organismo DECON UC permitirá obtener la información base necesaria para el desarrollo de una adecuada reglamentación.

Finalmente, es indudable que adecuados estándares de hermeticidad de la envolvente en viviendas, junto con las medidas de control de pérdidas térmicas por transmisión permiten disminuir el consumo energético y aumentar el confort de las mismas.

La tendencia de los países desarrollados ha sido aumentar los estándares de hermeticidad paulatinamente, llegando hasta 0,6 vol/h en el caso de las viviendas pasivas. Dicha tendencia se justifica, dado que, en la medida que los estándares que limitan las pérdidas térmicas por transmisión se hacen más estrictos el impacto de las infiltraciones de aire en el consumo energético de las viviendas será mayor. Motivo por el cual es recomendable considerar estándares de estanqueidad en la Reglamentación Térmica chilena para luego aumentar las exigencias de modo similar en ambos factores.

## 5. Conclusiones

El uso creciente de combustibles fósiles ha dirigido al planeta hacia un potencial cambio climático, cuyas consecuencias podrían ser irreversibles, motivo por el cual las autoridades internacionales han puesto su atención en el desarrollo de políticas de Eficiencia Energética que contribuyan a disminuir su consumo energético. En este contexto, los Estados Miembros de la Unión Europea se han comprometido a reducir para el 2020 los gases de efecto invernadero en un 20%, a aumentar en un 20% la explotación de energías renovables y a adoptar medidas de Eficiencia Energética que permitan obtener un ahorro energético de un 20%.

Los Estados Miembros de la Unión Europea han avanzado de modo dispar en la definición de estrategias que permitan cumplir este objetivo, sin embargo tienen en común el hecho de buscar exigencias que permitan disminuir el consumo energético de calefacción doméstica, la cual contribuye significativamente a las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, una de las causas del efecto invernadero y el consecuente cambio climático, y que tiene un alto potencial de ahorro. Las medidas de Eficiencia Energética se han direccionado en gran parte a reducir las pérdidas a

través de la envolvente las cuales corresponden a pérdidas por transmisión y pérdidas por ventilación.

Actualmente la Reglamentación Térmica de Chile solo regula las pérdidas por trasmisión no considerando las pérdidas por ventilación, las cuales pueden mermar o anular cualquier mejora realizada por la propia Reglamentación Térmica. Por lo anterior, el presente estudio revisó los estándares establecidos por Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Dinamarca, Eslovenia, Estonia, Francia, Letonia, Lituania, Noruega, Portugal, Reino Unido y Suecia en lo que respecta a la limitación de infiltraciones de aire con el objetivo de obtener lecciones a considerar en una futura reglamentación chilena de este aspecto.

Se observó que la técnica utilizada para evaluar la permeabilidad al aire o hermeticidad de las viviendas que limita las pérdidas por ventilación, corresponde a la técnica de presurización, la cual consiste básicamente en medir, en régimen estacionario el flujo necesario, que pasa a través de un ventilador, para mantener una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior de la vivienda.

Se observó que la presión de referencia utilizada para los estándares era 50 Pa salvo Francia que utiliza 4 Pa. La utilización de 50 Pa es lo suficientemente alta para evitar las interferencias producidas por las presiones naturales, siendo razonablemente precisa, sin embargo no representa una cantidad de interés, si se quieren comprender los flujos que atraviesan la envolvente en condiciones normales de uso, dadas las presiones a las que son sometidas las viviendas son más cercanas 1Pa.

Una estimación más exacta de la estanqueidad al aire en condiciones normales requiere una prueba a presiones normales. En este sentido la presión utilizada por Francia, 4 Pa, representa de un mejor modo la realidad, sin embargo evaluaciones con este diferencial genera variaciones entre +87% y -45%, mientras que la variación alcanza solo un 15% cuando se realiza la prueba de presurización con un diferencial de presión de 50 Pa.

Una segunda diferencia que se observó en los estándares establecidos por los distintos países corresponde a la unidad de medida, las cuales permiten comparar un inmueble de otro. La más utilizada (8 países) corresponde a la tasa de renovaciones de aire, la que corresponde a la cantidad de veces que se renueva el aire interior considerando los aportes de las infiltraciones. La segunda más utilizada (4 países) pertenece a la permeabilidad de la envolvente, la cual se relaciona con el caudal de infiltraciones que atraviesa la superficie de la envolvente. Finalmente Dinamarca y Suecia

usan un estándar que relaciona la estanqueidad del inmueble con la superficie del suelo.

Independiente que todas las unidades expresadas anteriormente deben ser parte de un informe de evaluación de hermeticidad de la vivienda, dado que proporcionan distintas informaciones relevantes a la hora de hacer el diagnóstico de un inmueble, parece apropiado considerar una unidad con las renovaciones de aire como requisito, dado su fácil comparación y entendimiento con otros flujos de aire.

Se observó que la efectividad de los estándares depende de las características climáticas, el comportamiento de los usuarios, entre otras variables que difieren de país en país, lo que dificulta su comparación. Sin embargo, se constató una tendencia de los países en estudio a establecer estándares diferentes según el tipo de ventilación, donde las viviendas con ventilación natural tienen un estándar de hermeticidad menos estricto que las viviendas con ventilación mecánica. Esta diferencia se debe a que las viviendas con ventilación natural requieren cierto nivel de infiltraciones que permitan un ingreso de aire que favorezca su movimiento natural, por su parte las viviendas con ventilación mecánica requieren limitar las infiltraciones de aire, cuyo aporte incontrolado puede derivar en un mal uso del sistema de ventilación.

A su vez, se discutió sobre la diferencia entre los niveles de estándar de los países, los cuales se encuentran influidos por las características locales, entre ellas el clima, dado que el viento y la temperatura influyen directamente en las infiltraciones de aire, diferentes zonas climáticas pueden tener estándares distintos para obtener el mismo resultado.

Dados los puntos anteriores, se consideró recomendable para una futura reglamentación chilena cuyo objetivo sea establecer estándares de hermeticidad a la vivienda, tener en consideración las zonas climáticas de Chile, puesto que la zonificación térmica que regula actualmente la Reglamentación Térmica no considera otras variables climatológicas importantes a la hora de analizar las infiltraciones. Y considerar una diferenciación según el tipo de ventilación y tipología de la vivienda que permita un mejor control de las infiltraciones de aire.

Finalmente se observó la tendencia de los países desarrollados a aumentar los estándares de hermeticidad paulatinamente, llegando hasta 0,6 vol/h en el caso de las viviendas pasivas. Por su parte, en el contexto nacional, la Reglamentación Térmica solo considera estándares que buscan disminuir las pérdidas por transmisión, lo que no garantiza un

adecuado comportamiento energético de las viviendas. Se concluye que la inclusión de requisitos de hermeticidad para viviendas es clave a la hora de definir estrategias que contribuyan a asegurar un adecuado suministro de energía en el largo plazo; mejorar la seguridad del suministro de energía para reducir la dependencia de fuentes extranjeras; proporcionar un medio ambiente sano y libre de contaminación para la sociedad, y ayuden a la mitigación del cambio climático global.

## Agradecimientos

Este estudio se llevó a cabo como parte de una tesis doctoral del centro de investigación *Architecture et Climat* de la *Université catholique de Louvain* en Bélgica. Los autores desean agradecer al equipo de *Architecture et Climat* en especial a Claudia Rojo y a las entidades Gobierno de Chile con su programa Beca Chile de CONICYT y la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

## Bibliografía

1. Bobadilla, A., (2009). Permeabilidad al aire de viviendas. En Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío. Concepcion, Chile: Universidad del Bío Bío.
2. Bustamante, W., et al., (2009). Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. En, Camino al Bicentenario Propuestas para Chile (1<sup>a</sup> ed., pp. 253-282). Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile
3. *Europe's buildings under the microscope*. (1era ed.). (2011). Bruselas, Belgica: Buildings Performance Institute Europe (BPIE)
4. Genger, C. (2011). Modernizing ISO, EN and ASTM Air Leakage Standards... more accuracy in less time. En 32<sup>nd</sup> AIVC Conference and 1<sup>st</sup> TightVent Conference (pp. 223-228). Bruselas, Belgica: Air Infiltration and Ventilation Center.
5. Dyrbol, S. et al. (2010). European Directive on the energy performance of buildings: Energy policies in Europe – examples of best practice. En, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings (1<sup>a</sup> ed., pp. 126-140). California, Estados Unidos: American Council for an Energy-Efficient Economy.
6. Limb, M. (2001). *A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria*. Bruselas, Belgica: Air Infiltration and Ventilation Center.
7. NBN EN 13829 Performance thermique des bâtiments. Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur (ISO 9972 :1996, modifiée). Bruselas, Belgica: IBN 2001.
8. Sherman, M.H. & Chan, R. (2004). *Building Airtightness: Research and Practice*. California, Estados Unidos: Lawrence Berkeley National Laboratory.