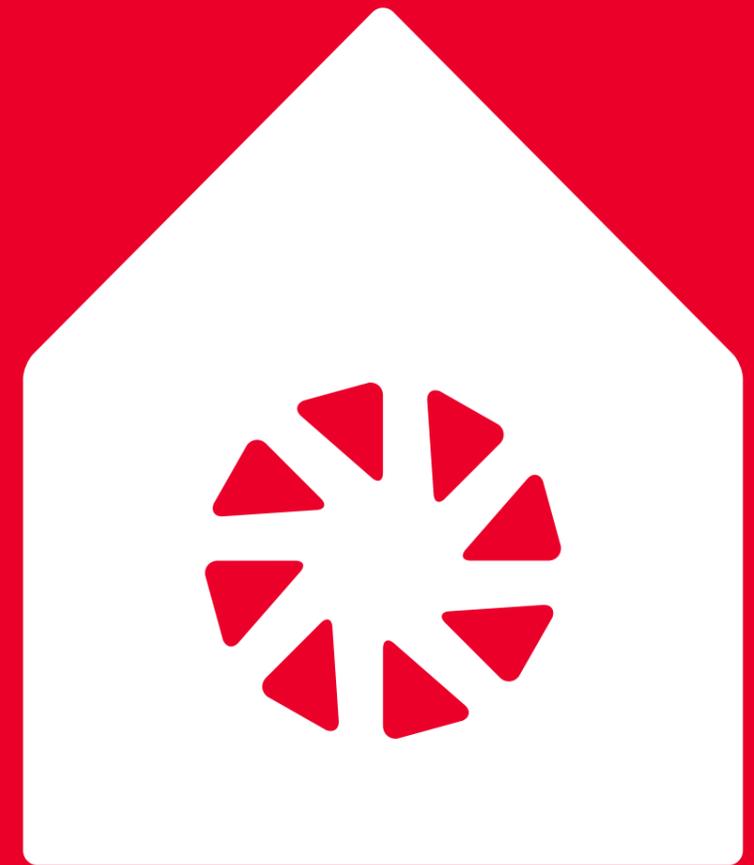


## **Apeia**

Análisis de pérdidas  
energéticas por  
infiltración de aire



## **Apeia**

Análisis de pérdidas energéticas por infiltración de aire

**Apeia**

## Análisis de pérdidas energéticas por infiltración de aire

Publicación financiada con el proyecto APEIA, seleccionado en la convocatoria de premios para el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica o científica y proyectos de innovación didáctica en el ámbito de la Formación Profesional de la Dirección Xeral de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa, de la Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia.

ISBN 978-84-608-6621-3  
Depósito legal: C 322-2016  
© Copyright 2016 José L. Vázquez Otero - Todos Los Derechos Reservados

Impreso en Galicia  
Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.  
La editorial no se pronuncia ni expresa al respecto de la exactitud de la información contenida en esta publicación, por lo que no asume ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

Agradecimientos a los socios en el Proyecto, Eusebio Chao Carreiras (C.I.F.P. Someso), Taller de Ingeniería MYL, S.L.P. y a los colaboradores de Energiehaus, S.L., Costa comunicación visual y Apliter.

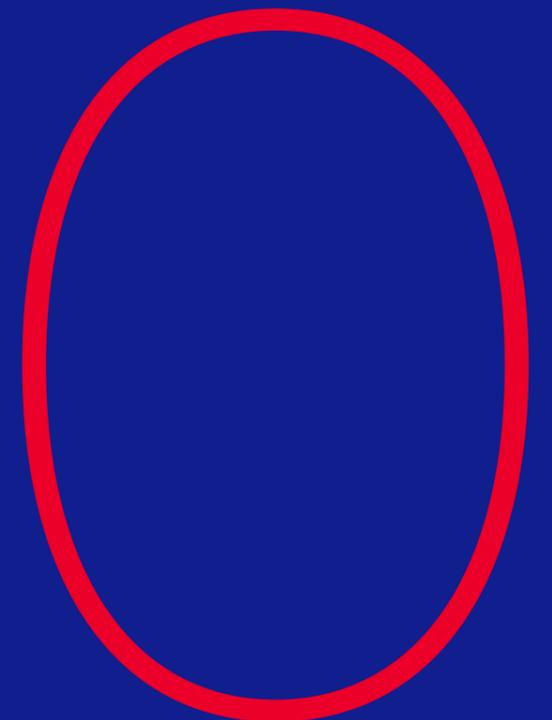
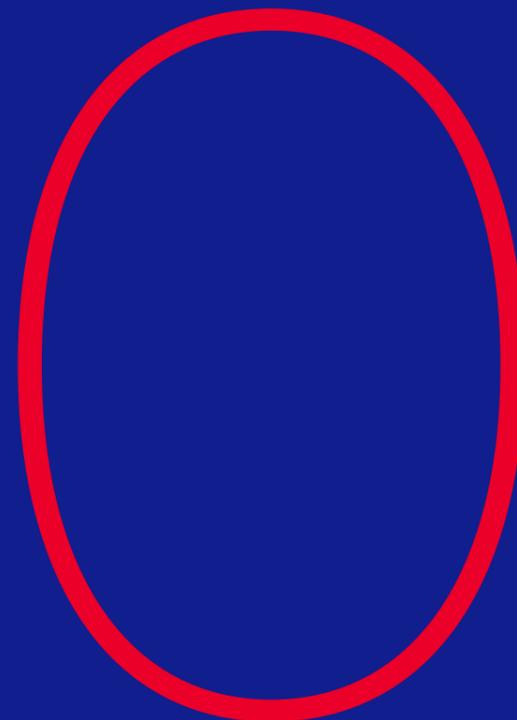
**Editorial:**  
IES Universidade Laboral de Culleredo  
Salvador Allende S/N, 15670 Culleredo, A Coruña  
apeia@ulaboral.eu

**Autor**  
José Luis Vázquez Otero

# Índice de contenidos

		<b>.00</b> <b>Introducción</b> Manual de infiltraciones de aire en los edificios y presentación de casos de estudio del proyecto APEIA, cuantificando las pérdidas de energía debidas a las fugas de aire para diversos edificios.				<b>.07</b> <b>Estado de la reglamentación</b> Los estándares de bajo consumo son los más estrictos, pero cada vez son más países los que establecen límites a las infiltraciones de aire.	<b>.08</b> <b>Indicadores</b> Dependiendo del estándar o país, se emplean diferentes indicadores, siendo el más empleado la tasa de renovación de aire a 50 Pa, $n_{50}$ .	<b>.09</b> <b>Procedimiento de medición</b> Antes de la realización del ensayo Blower Door, deberemos medir la superficie útil, el volumen interior y la superficie de envolvente térmica del edificio.			
	<b>.01</b> <b>Antecedentes</b> La necesidad de construir edificios de consumo casi nulo nZEB, ocasiona que las pérdidas de energía de los edificios deban ser reducidas y las debidas a infiltraciones de aire no se encuentran expresamente limitadas por la reglamentación vigente, por el momento.	<b>.02</b> <b>Fugas de aire en los edificios</b> Este concepto no se tiene en cuenta en el diseño de edificios convencionales pero sí en el diseño de edificios construidos con estándares de bajo consumo.	<b>.03</b> <b>Hermeticidad al paso del aire</b> Edificios más herméticos al paso del aire irán siempre acompañados de instalaciones de ventilación controlada, para asegurar la calidad del aire interior.	<b>p.06-11</b>		<b>p.72-77</b>	<b>p.78-83</b>	<b>p.84-91</b>			
	<b>.04</b> <b>Estrategias de hermeticidad al aire</b> Además de la continuidad del aislante térmico, se trazará la línea de hermeticidad al paso del aire, "regla del lápiz", para reducir las fugas de aire al valor perseguido.	<b>.05</b> <b>Caracterización de las infiltraciones</b> Se realizan con el equipo Blower Door y en función del estándar que se deba cumplir el ensayo puede ser de presurización, despresurización, o ambos.	<b>.06</b> <b>Blower Door</b> Es el equipo idóneo para la detección y evaluación de fugas de aire en los edificios. Se trata del método más utilizado para la realización de ensayos de estanqueidad desde su invención a finales de los años 70.	<b>p.12-17</b>	<b>p.18-23</b>	<b>p.24-33</b>			<b>.10</b> <b>Fase de medición</b> El ensayo se realiza en una única zona y siguiendo el protocolo de la Norma UNE-EN-13829.	<b>.11</b> <b>Equipos auxiliares</b> Una cámara termográfica y un generador de humo son equipos muy útiles para la detección de infiltraciones de aire con una Blower Door.	<b>.12</b> <b>Redacción del informe técnico</b> Los resultados obtenidos tras la realización del ensayo se presentarán en un informe técnico para su entrega al cliente.
						<b>p.92-101</b>	<b>p.102-107</b>	<b>p.108-115</b>	<b>.13</b> <b>Casos de estudio</b> Presentación de 15 casos de estudio realizados dentro del proyecto APEIA por sus integrantes, centros educativos y empresas participantes.	<b>.14</b> <b>Conclusión del estudio</b> Las infiltraciones de aire deben ser tenidas en cuenta como causa de pérdida de energía en los edificios y por lo tanto limitadas por la normativa para poder alcanzar objetivos de nZEB.	<b>.15</b> <b>Referencias y fuentes de consulta</b> Algunas de las muchas referencias y publicaciones consultadas durante el desarrollo del proyecto y la redacción de esta publicación.
	<b>p.34-57</b>	<b>p.58-63</b>	<b>p.64-71</b>			<b>p.116-155</b>	<b>p.156-161</b>	<b>p.162-165</b>			

# Introducción



# 00. Introducción

Esta publicación es una introducción al estudio de la estanqueidad al paso del aire de los edificios y del análisis de las infiltraciones de aire desde un punto de vista energético.

El documento tiene una parte expositiva acerca de las infiltraciones de aire en los edificios y otra de casos de estudio, consistente en la presentación de diversos ensayos de estanqueidad al paso del aire realizados dentro del proyecto APEIA.

Se ha contado para el desarrollo y análisis de los diferentes casos de estudio con diversas empresas especializadas en Blower Door, diseño de edificios y construcción entre otros aspectos de la ingeniería de la construcción. Los casos de estudio son edificios o parte de los mismos, que han sido sometidos al ensayo Blower Door. Se trata de edificios cuya construcción fue ejecutada bajo diferentes normas o estándares de construcción y con diversas tipologías constructivas.

Se describe la problemática de las infiltraciones de aire en los edificios, su solución, el estado de la normativa en diversos países, la caracterización de las mismas y se estudian una serie de edificios en los cuales se cuantifican las pérdidas por infiltración utilizando diversos indicadores.

A la vez, se sitúa cada uno de los casos de estudio en un escenario actual para evaluar el peso que tendrían las pérdidas por infiltración siguiendo el estándar de la HE1 de 2013. Se comparan los indicadores obtenidos con la misma construcción siguiendo un estándar de Edificio de Consumo Casi Nulo (nZEB) en lo relativo a la estanqueidad al paso del aire. Finalmente se presenta una comparación entre los diferentes casos de estudio para diversos indicadores.



Antecedentes

01

# 01. Antecedentes

Las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético en los edificios, a través de una adecuada construcción, empezaron en España con la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas (NBE-CT-79), que establece las condiciones térmicas exigibles a los edificios.

Dicha norma establece los primeros límites a las pérdidas térmicas a través de los cerramientos y al comportamiento higrotérmico de los mismos, pero en lo que se refiere a la permeabilidad al aire de los cerramientos se queda en las carpinterías sin tener en cuenta el montaje de las mismas, exigiendo sólo el ensayo de éstas por parte de los fabricantes.

Algún tiempo después, se publica el CTE (Código Técnico de la Edificación) y concretamente su Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE-DBHE-2006). Con esta norma se pretende aumentar considerablemente la calidad de los edificios y su ahorro energético, por medio del incremento de aislamiento de los mismos y de la disminución de sus puentes térmicos, pero el asunto de la permeabilidad al aire sigue aplicándose únicamente a las carpinterías sin instalar. Lo mismo ocurre con la revisión que se hace en 2013 del Documento Básico de Ahorro de Energía, con el que la exigencia aumenta, al verse la demanda de energía de los edificios altamente reducida por factores como el incremento de aislamiento, compacidad en el diseño de los edificios y un cuidadoso diseño de los huecos y su orientación, pero quedando la permeabilidad del edificio limitada

a las carpinterías, aunque esta vez sí se menciona el deber de considerar la permeabilidad de los cerramientos opacos. Este último cambio normativo se ha hecho orientado a alcanzar los objetivos de Edificios de Consumo Casi Nulo (nZEB).

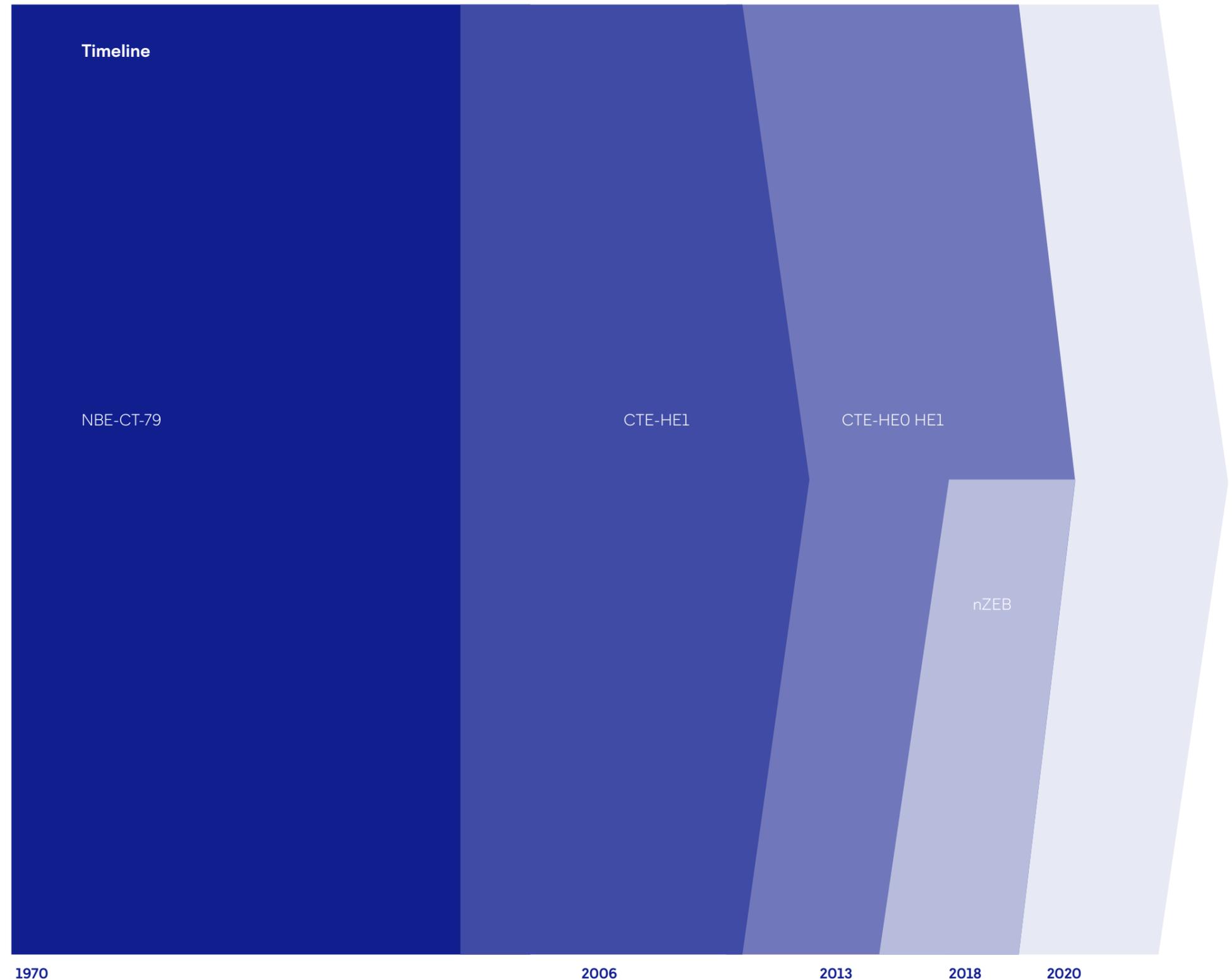
Al pretender construir Edificios de Consumo Casi Nulo, tendremos que basarnos en las técnicas y procedimientos constructivos que siguen estándares reconocidos internacionalmente como el Passivhaus de Alemania, el Minergie de Suiza o el CasaClima de Italia, en los que la permeabilidad al aire del edificio juega un papel muy importante para la evaluación energética del mismo.

Estos estándares, entre otros, establecen restricciones a la infiltración de aire exterior a los edificios, por lo que construyen edificios más estancos al paso del aire para reducir la energía necesaria para acondicionar las renovaciones de aire no deseadas.

Ha de hacerse notar que una construcción con una baja permeabilidad al aire habrá de ir acompañada de un sistema de ventilación para que, en todo momento las necesidades de confort y salubridad de los espacios queden aseguradas.

A lo largo de este documento se explicará en mayor profundidad el tema de la permeabilidad al paso del aire, el procedimiento de ensayo con el equipo Blower Door y se darán algunas soluciones constructivas.

A la vez se presentarán diversos casos de estudio realizados sobre edificios existentes por los componentes del Proyecto APEIA de Análisis de Pérdidas Energéticas por Infiltración de Aire.



# Fugas de aire en los edificios

02

## 02. Fugas de aire en los edificios

Las fugas de aire en edificios también son las llamadas infiltraciones o exfiltraciones. Consisten en el intercambio de aire no deseado entre el interior y el exterior del edificio a través de grietas en su envolvente u otro tipo de defecto constructivo. Ambos flujos de aire de infiltración y exfiltración se producen simultáneamente y tienen lugar cuando existe una diferencia de presión entre el interior y el exterior de los elementos constructivos del edificio. Estos flujos no solo se deben a defectos constructivos, sino que también son debidos a chimeneas, pasos de instalaciones, huecos de la envolvente u otros.

El control de fugas de aire es un componente importante, pero comúnmente mal entendido del diseño de edificios eficientes. No se trata de evitar la ventilación, ésta deberá estar asegurada, sino de evitar la entrada de aire no deseado.

La reducción de la permeabilidad al aire de la envolvente del edificio, sellando las posibles grietas y huecos susceptibles de permitir el paso del aire tiene diversas ventajas:

**Reducción del coste de energía** empleado en calefacción debido a la importante reducción de la carga térmica del edificio.

**Mayor sensación de confort** al evitar corrientes de aire no deseadas.

**Reducción de la probabilidad de producción de mohos** al impedir que la humedad pueda quedar atrapada en las cavidades.

**El sistema de ventilación será más efectivo** y con mayor rendimiento.

**El coste de los equipos primarios de producción será menor** debido a la necesidad de menor potencia instalada.

## Principales fuentes de fugas de aire

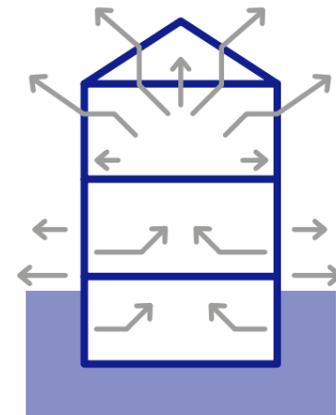


### 2.1. Origen de las fugas de aire

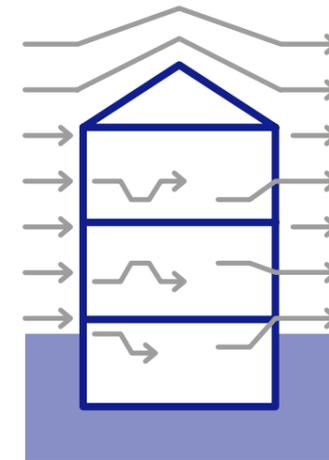
En viviendas unifamiliares, el recinto en el que se producen más fugas de aire es la planta bajo cubierta, cuando ésta es no habitable, debido a las deficientes condiciones de aislamiento que suele tener la cubierta y a que el forjado de esta planta suele tener una inadecuada ejecución. Se puede hacer, de manera general, una estimación de la distribución de las pérdidas de aire en una vivienda, tal como se presenta a continuación.

### 2.2. Estratificación de aire

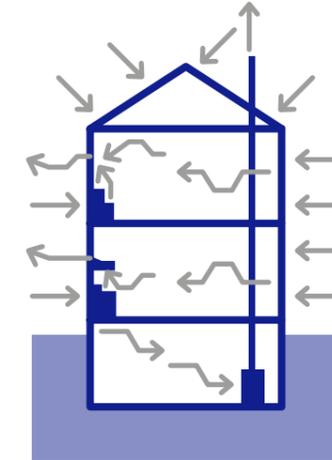
Conocido como "stack effect", la estratificación de aire en los edificios se debe a la acumulación del aire caliente en los recintos superiores de los mismos, formando estratos o capas debidas al movimiento del aire por convección. El aire caliente, acumulado en la parte superior, tiende a salir por los orificios o grietas que puedan existir en la envolvente y es reemplazado por aire frío. En caso de analizar el servicio de refrigeración el efecto será inverso y las fugas de aire tendrán lugar por la parte inferior de la envolvente.



Fugas de aire por "stack effect".



Fugas de aire debidas a la presión del viento.



Fugas de aire a través de las instalaciones.

### 2.3. Viento

La fuerza del viento es otro de los orígenes de las fugas de aire en la edificación. Al soplar el viento éste se frena o ralentiza debido al impacto sobre la envolvente de las construcciones, lo que da lugar a diferencias de presión. La energía contenida en la masa de aire y en la velocidad del viento se convierte en presión al impactar contra las superficies de la envolvente. Esta presión debida a la velocidad del viento, será positiva cuando el edificio experimente una presión de empuje contra el cerramiento a barlovento y será negativa cuando el efecto sea el de tiro en el lado de sotavento. Al ser la presión del viento una función cuadrática de la velocidad, en caso de verse duplicada la velocidad del viento obtenemos una

presión cuatro veces mayor. En el caso de analizar una construcción en una zona con viento nos encontraremos con un alto grado de fugas de aire.

### 2.4. Instalaciones con circulación de aire

Los edificios disponen de instalaciones que comunican directamente con el exterior debido a la naturaleza de la misma, como pueden ser las chimeneas francesas o los sistemas de ventilación forzada. Este tipo de instalaciones son susceptibles de provocar fugas o entradas de aire no deseado, por lo que se deberían tener siempre en consideración. Las canalizaciones por las que discurren las instalaciones atraviesan los diferentes paramentos, bien a través de pasamuros o directamente. Este tipo de orificios son una fuente común de fugas en los

edificios, que no es tomada en consideración al proyectar o ejecutar las instalaciones de edificios convencionales. En el caso de edificios con sistemas de ventilación forzada, si ésta no está correctamente equilibrada será fuente de fugas o entradas de aire no deseado, debido a las circulaciones de aire a través de la misma incluso sin la existencia de solicitaciones.

Hermeticidad  
al paso del aire

03

## 03. Hermeticidad al paso del aire

Al hablar de hermeticidad al paso del aire en edificios, se hace referencia a la necesidad de construir envolventes térmicas más estancas, es decir, con una menor permeabilidad al paso del aire.

Puede resultar confusa la pretensión de construir envolventes de edificios más herméticas, existiendo la tendencia a creer que los edificios construidos con altas hermeticidades al paso del aire tendrán una ventilación deficiente y la consiguiente baja calidad del aire interior. En este punto ha de hacerse notar que todo edificio construido con una baja permeabilidad al paso del aire deberá disponer de un sistema de ventilación que asegure las renovaciones de aire necesarias. Como es sabido se trata de que en el interior del mismo se reúnan las condiciones de confort y salubridad, como mínimo, señaladas por la legislación vigente.



Sistemas de ventilación.

### 3.1 Implicaciones de la permeabilidad al aire

Asegurar un buen nivel de hermeticidad para un edificio consiste en ser capaz de controlar el flujo de aire que fluye a través de orificios voluntarios (respiraderos y tomas de aire) y limitar los flujos incontrolados, que suelen ser fuente de patologías, incomodidad y desperdicio de energía.

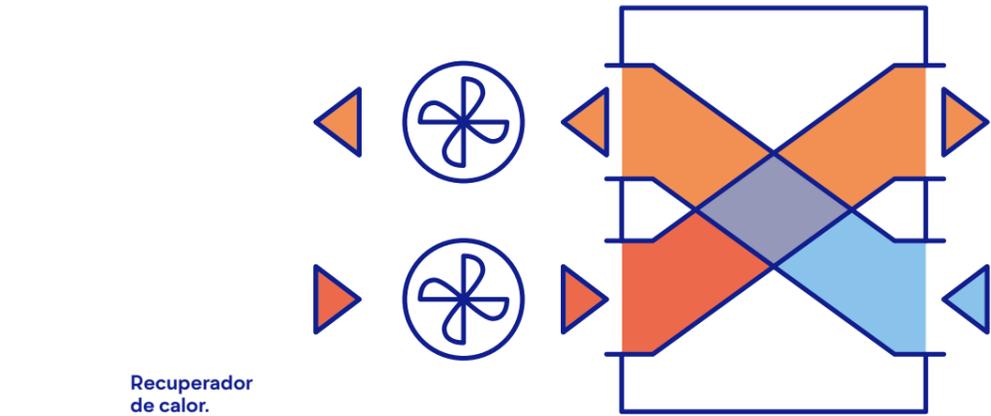
Los factores relacionados con la hermeticidad al paso del aire son:

- Higiene y salud. Calidad del aire interior.
- El confort térmico y acústico de los ocupantes.
- Ahorro energético.
- Salubridad.
- La seguridad de las personas en áreas industriales.

#### 3.1.1 Calidad del aire interior

Para asegurar los caudales de ventilación necesarios en los recintos de los edificios, la ventilación debería llevarse a cabo por un sistema controlado. Sin embargo, en España la inmensa mayoría de los edificios disponen de ventilación natural sin control. Por otra parte, el aire que atraviesa los cerramientos, antes de entrar a los recintos, se puede cargar de contaminantes como fibras, polvo, moho, compuestos orgánicos volátiles, entre otros y transferirlos al ambiente interior.

Los edificios con un grado de hermeticidad elevado irán dotados de un sistema de ventilación que filtre el aire de entrada de impurezas y garantice la calidad del aire de entrada.

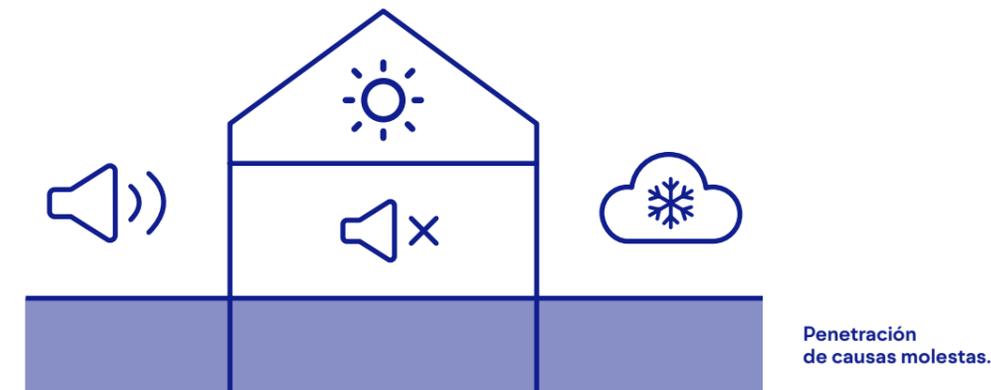


Recuperador de calor.

#### 3.1.2 Confort térmico y acústico

La permeabilidad al paso del aire a través de la envolvente térmica puede afectar a los ocupantes de diversas formas:

- Desde el punto de vista térmico, la infiltración de aire puede ser una fuente de sensaciones molestas debido a corrientes de aire, superficies interiores frías, cambios de temperatura o incapacidad de combatir la carga térmica.
- Desde el punto de vista acústico, una envolvente permeable supone un aislamiento acústico a los ruidos exteriores menor.



### 3.1.3 Ahorro energético

Las infiltraciones no deseadas, además de ser un foco de incomodidad, producen un incremento en la demanda de energía de los edificios debido a las pérdidas energéticas que supone la evacuación hacia el exterior del aire tratado y la consiguiente introducción de aire exterior al edificio, implicando una carga térmica adicional.

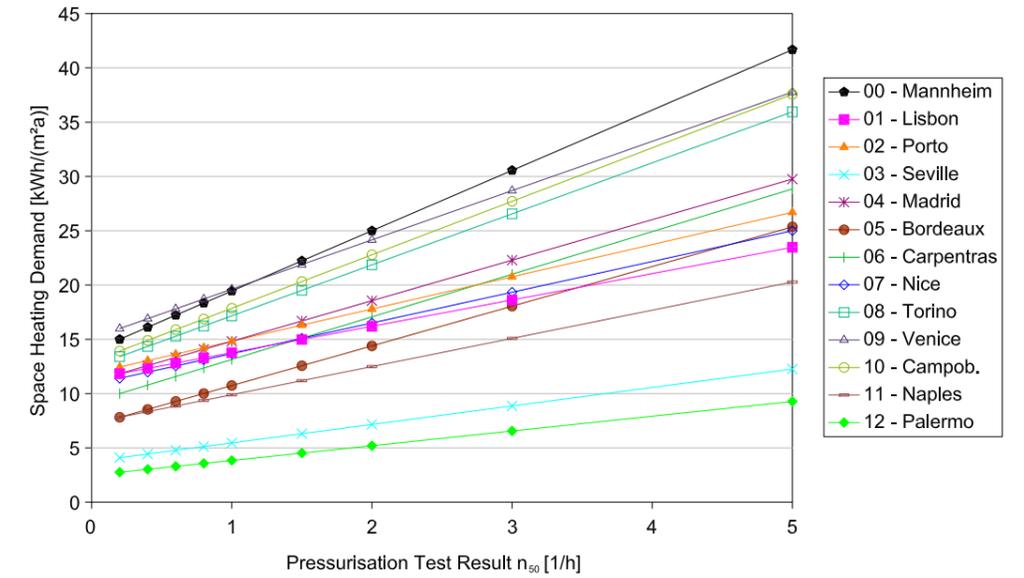
En los cálculos de demanda para calefacción y refrigeración, el volumen de aire a acondicionar supone una parte importante de la carga de energía total del edificio y, conociendo las infiltraciones del aire de un edificio, podremos cuantificar esta energía. En posteriores apartados se calcularán estas pérdidas energéticas para los casos de estudio.

En los siguientes gráficos se muestran las demandas de energía para calefacción y para refrigeración de edificios en el sudeste de Europa para diferentes tasas de infiltración de aire. Se trata de datos obtenidos de la publicación Passive houses in South West Europe, de J.Schnieders.

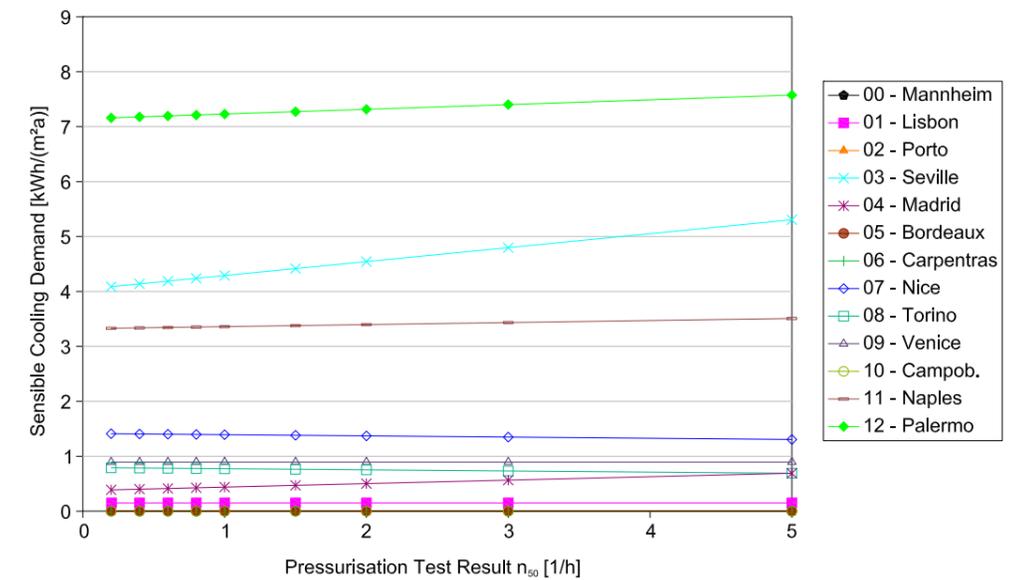
En este estudio de investigación, Schnieders propone como recomendación para la construcción de edificios, en cualquier lugar del sudeste europeo la combinación de un alto nivel de estanqueidad con una instalación de ventilación con recuperador de calor.

Indica que este sistema combinado es mucho más interesante que espesores elevados de aislamiento para las condiciones de verano y sistemas de enfriamiento/deshumidificación para verano.

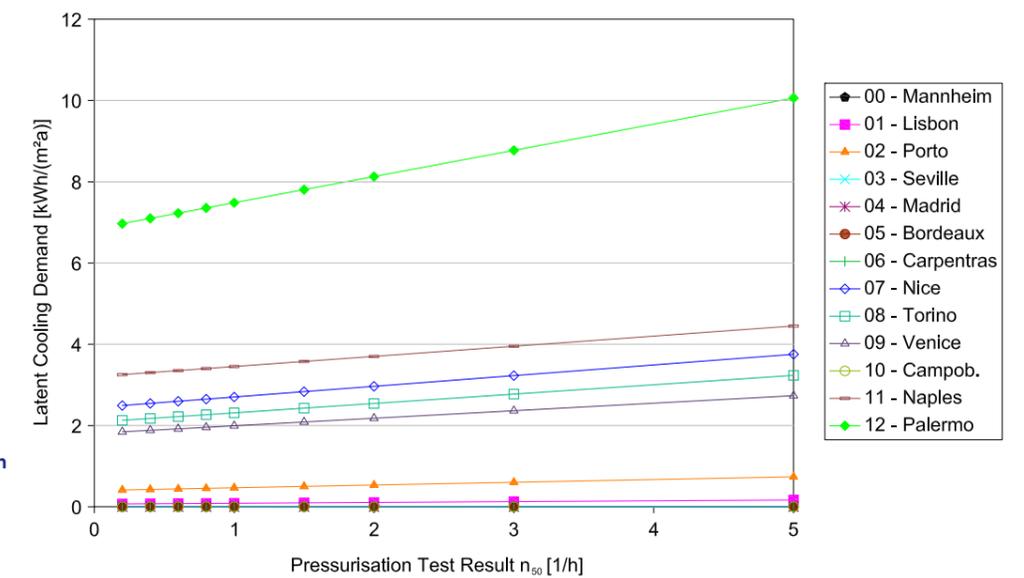
Relación entre la hermeticidad al aire y la demanda para calefacción en edificios de viviendas.



Relación entre la hermeticidad al aire y la demanda para refrigeración sensible en edificios de viviendas.



Relación entre la hermeticidad al aire y la demanda para refrigeración latente en edificios de viviendas.



### 3.1.4. Salubridad

Cuando el aire caliente y húmedo fluye hacia el exterior del edificio por medio de algún hueco en la envolvente, su capacidad de retener el vapor de agua se ve reducida. Al ponerse en contacto el aire caliente con elementos fríos, el vapor de agua se condensa y, al producirse esta condensación intersticial en la envolvente, puede ir quedando retenida dando lugar al deterioro de los materiales constructivos, provocando puentes térmicos y crecimiento de mohos. Una envolvente térmica hermética al paso del aire puede ser perfectamente transpirable al paso del vapor de agua.

La resistencia contra la difusión del vapor de agua se mide con el factor adimensional  $\mu$ , siendo este factor para aire inmóvil de 1. A continuación se muestran los valores de resistencia a la difusión de vapor de agua en estado seco de algunos materiales. Se puede obtener este valor para otros materiales en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación.

MATERIAL	$\mu$	MATERIAL	$\mu$
Hormigón	100	EPS	60
PVC	50.000	XPS	150
Espuma de PU	60	Fibra de madera	10
Madera	50-200	Lana mineral	1
Polietileno	100.000	Pared obra cerámica	5

Resistencia a la difusión de vapor de agua en estado seco de diversos materiales.

### sd = factor $\mu$ x espesor del material

En Física de Construcción, la resistencia al paso de vapor de agua se mide con el valor sd (metros).

Ejemplo:

Una pared de obra cerámica de 20 cm tiene aproximadamente (depende de la humedad relativa) un valor  $sd = 1 \text{ m}$  ( $= 0,2 \text{ m} \times 5$ ). Quiere decir, que equivale a la resistencia de vapor de agua de una capa de aire inmóvil de 1 m.

En climas frío-templados, el valor sd en la sección de la envolvente térmica tiene que ir disminuyendo desde el interior hacia el exterior, para evitar problemas de condensaciones intersticiales.

### 3.1.5 Seguridad en áreas industriales

Un elevado grado de estanqueidad al paso del aire combinado con un sistema de ventilación mecánica controlada, en edificios situados en entornos industriales con alta contaminación atmosférica, garantizará la calidad del aire interior respirado por los usuarios al ser filtrado el aire exterior por el sistema de ventilación.



Establecimiento de un volumen aislado de contaminantes externos.

# Estrategias de hermeticidad al aire

04

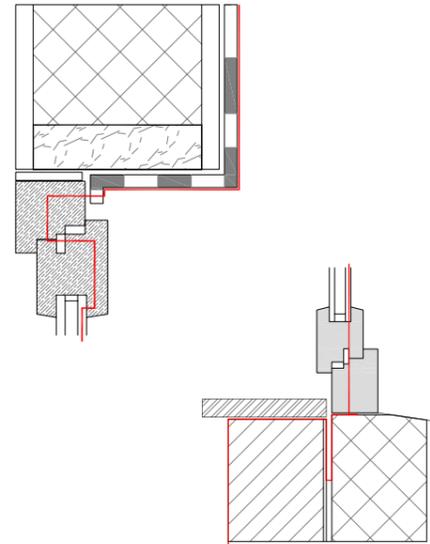
## 04. Estrategias de hermeticidad al aire

Estas estrategias abarcan toda la vida del proyecto, desde la fase de diseño, en la que se establecerá una superficie de hermeticidad en toda la envolvente del edificio, selección de materiales y soluciones constructivas, a la organización de los trabajos en la fase de ejecución, con la formación del personal de los diferentes oficios y las posteriores pruebas y ensayos de control de la calidad.

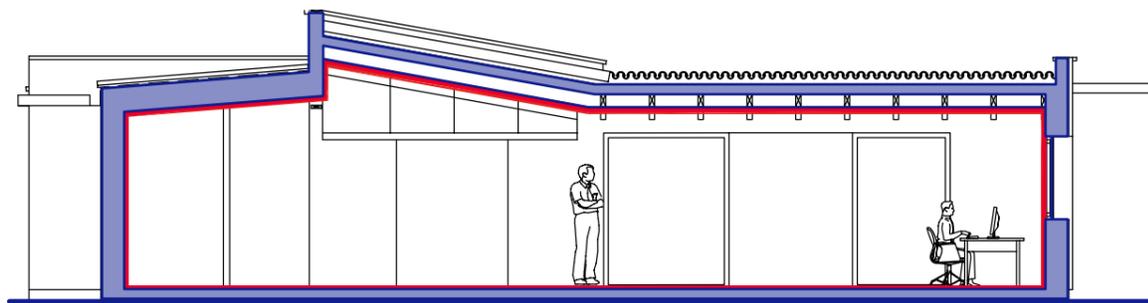
#### 4.1. Diseño

Al diseñar un edificio con bajas infiltraciones, deberá definirse una línea de estanqueidad en la sección de la envolvente térmica del mismo, es decir, la línea en la que se encuentran los materiales estancos al paso del aire así como la unión entre los mismos y que no deberá ser perforada ni atravesada por ningún elemento.

Tanto en el caso de edificios nuevos como de rehabilitaciones, si se pretende hacer un diseño de la envolvente hermética, deberá seguirse "la regla del lápiz", que consiste en proyectar la hermeticidad al paso de aire como una línea continua que envuelve todo el edificio.



Detalles de carpintería.



Alzado de un edificio diseñado siguiendo "la regla del lápiz".

#### 4.2. Localización de las fugas

Los ensayos realizados por el equipo integrante del proyecto APEIA se han desarrollado en diversas tipologías constructivas, desde edificios completos, hasta viviendas unifamiliares con fecha de construcción diferente, de manera que a cada una le ha afectado un tipo de normativa.

En cuanto al tipo de construcción, la mayor parte de los ensayos se han realizado en edificios con construcción pesada, aunque también se ha ensayado algún edificio a base de entramado de madera. De manera general, las fugas de aire suelen producirse en huecos que atraviesen la envolvente del edificio, bien a través de las instalaciones o debido a defectos constructivos.

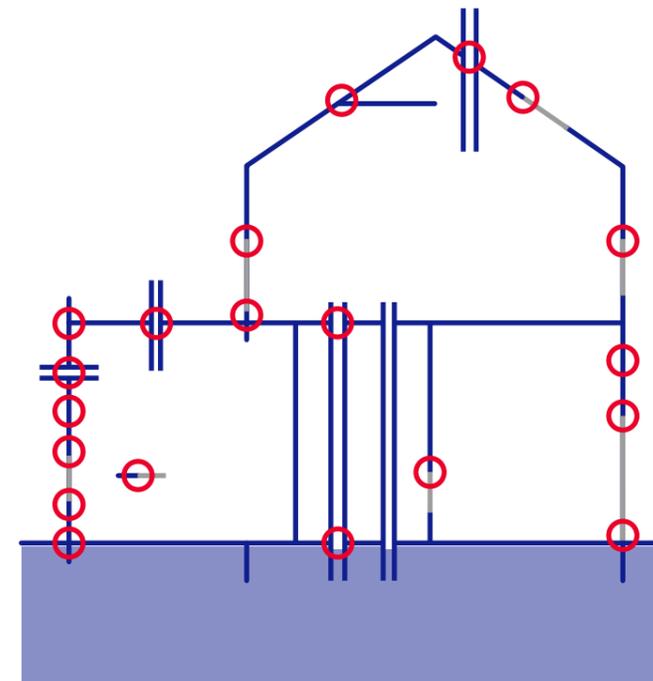
Los puntos más habituales de fuga de aire en los edificios se repiten, encontrándose principalmente en:

- Encuentros de fachada con estructura.
- Cambios de material constructivo.
- Contorno de huecos y encuentros de instalación de carpintería exterior, destacando la puerta de acceso a los edificios.
- Instalaciones eléctricas, destacando los mecanismos empotrados en paredes que forman parte de la envolvente térmica.
- Sistema de ventilación. Rejillas, aireadores y campana extractora.

Al diseñar una envolvente con un grado de hermeticidad elevado, nos encontraremos con dificultades que normalmente no aparecen en el diseño de edificios convencionales pero que se podrán resolver gracias a la experiencia que tienen algunos estándares de construcción de muy bajo consumo.

Dificultades, como mantener la hermeticidad de la salida de la campana extractora, se están resolviendo por medio del uso de compuertas normalmente cerradas en los conductos y que mantienen la hermeticidad cuando el extractor no está funcionando. Otra solución pasa por la instalación de campanas de recirculación con filtros de carbono, con lo que el problema de conexión con el espacio exterior queda anulado.

Otro problema habitual es el de mantener la hermeticidad del hueco del ascensor cuando éste se encuentra dentro de la envolvente térmica, que puede ser resuelto por medio de la instalación de un ascensor que no requiera de sala de máquinas y de un sistema de ventilación independiente para el hueco del mismo, cuya salida tenga la apertura controlada por un sistema de control de calidad del aire.



Principales puntos de origen de fugas de aire.

### 4.3. Materiales

La hermeticidad al paso del aire de los materiales de construcción se mide en  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  según la UNE-EN-12114:2000.

Como norma general, se recomienda que la hermeticidad no sea mayor a  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , pero las recomendaciones de estándares de bajo consumo tales como el Passivhaus o la norma de Canadá, recomiendan  $0,06 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  y  $0,048 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  respectivamente.

En la siguiente tabla se puede ver la hermeticidad al aire de algunos materiales ensayados para una diferencia de presión de 50 Pa.

MATERIAL	$Q_{50}\text{-mat m}^3/\text{h}/\text{m}^2$
Lana mineral	13-150
Aislamiento rígido mineral	0,003-1,1
Aislamiento de corcho	2,5
Aislamiento fibra de madera	2,5
Madera	Hasta 0,0003
Contrachapado de madera	0,004-0,02
Conglomerado	0,05-0,22
Placa de cartón yeso	0,002-0,03
Papel kraft	0,01-3
Lámina PE-0,1 mm	0,0015
Lámina anti-viento	1
Impermeabilizante bituminoso	0,008-0,02
Enfoscado de cal	0,02-0,6
Enfoscado de cemento-cal	0,002-0,05

A la hora de evaluar las juntas entre materiales, se pueden utilizar los siguientes valores como referencia:

MATERIAL	$Q_{50}\text{-mat m}^3/\text{h}/\text{m}^2$
Juntas de placas de aislamiento rígido	10-40
Amachambrado madera	15
Juntas conglomerado de madera	8-17
Juntas entre placas de cartón yeso no selladas	50
Lámina PE, juntas grapadas	4

En el caso de querer garantizar la estanqueidad al aire de la construcción, se pueden emplear materiales estancos al paso del mismo o materiales que puedan hacerse estancos, tales como los que se enumeran a continuación.

#### Materiales estancos:

- Tableros multicapa de juntas selladas con juntas especiales para hermeticidad.
- Telas freno de vapor/barrera de vapor instaladas con solapamiento o selladas con cintas de hermeticidad.
- Hormigón, cemento.
- Paramento de obra con acabado interior a base de capa continua de yeso.
- Cintas declaradas como estancas al paso del aire, con base butílica, acrílica y sin disolventes.
- Cintas precomprimidas a base de poliuretano.

#### Materiales que pueden hacerse estancos:

- Tableros OSB (Oriented Strand Board).
- Relleno de pasos de instalaciones en paramentos con mortero en obra.
- Paneles de madera, prestar especial atención a cambios en su superficie.
- Paneles de XPS (Poliestireno Extruido).
- Juntas en cartón yeso.
- Espumas de siliconas, deben ser flexibles y con garantía de durabilidad, resistencia a los rayos UV, entre otras características.

#### Existen materiales que pese a parecer estancos a priori, no lo son a largo plazo y provocarán que el edificio vaya perdiendo su estanqueidad con el tiempo, tales como:

- Cintas adhesivas no concebidas para la estanqueidad al aire, debido a que los disolventes adhesivos se acaban evaporando.
- Cemento demasiado seco o húmedo.
- Materiales aislantes en general.

#### 4.4. Ventanas

Las ventanas a instalar en edificios de bajo consumo deberían tener una hermeticidad mayor a las indicadas por el CTE-HE-2013, que establece una permeabilidad al paso del aire, en función de la zona climática, menor o igual a  $27 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  o  $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  ensayadas a 100 Pa según la Norma UNE-EN-12207-1.

De manera general, se recomienda que la hermeticidad de las ventanas para edificios de bajo consumo sea de clase 3 o mejor todavía, de clase 4.

En la siguiente tabla se muestra la equivalencia entre la clase de la ventana y la permeabilidad al aire bajo una presión determinada de viento en posición de cerrada:

CLASE	PERMEABILIDAD AL AIRE A 100 Pa (46 km/h)	PRESIÓN MÁXIMA DE ENSAYO
	$\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	Pa (km/h)
0	Sin ensayar	Sin ensayar
1	$\leq 50$	150 (56 km/h)
2	$\leq 27$	300 (80 km/h)
3	$\leq 9$	600 (113 km/h)
4	$\leq 3$	600 (113 km/h)

#### 4.5. Planificación

Son diversos los factores que se han de tener en cuenta para planificar y organizar la ejecución de las fases de un proyecto de hermeticidad al paso del aire.

En la fase de proyecto se deberán tener en cuenta las diferentes consideraciones:

- Cada elemento constructivo estará perfectamente definido por medio de la definición del plano de detalle y material de estanqueidad a emplear. Se representará con una línea roja en los planos de planta y secciones correspondientes de manera que la línea de hermeticidad envuelva los espacios acondicionados.
- Representación de los detalles constructivos correspondientes a encuentros de diferentes planos, materiales o elementos, indicando cintas, espumas u otros.
- Indicar cómo se han resuelto las penetraciones de elementos tales como mecanismos eléctricos, canalizaciones y otros en la envolvente.
- Incluir en el pliego de condiciones un apartado específico de estanqueidad al paso del aire especificando el alcance de las exigencias y la formación de los operarios.
- Formar, a los operarios de los diferentes gremios que vayan a intervenir en el proceso constructivo, en materia de permeabilidad al paso del aire.
- Tener en consideración la durabilidad de las propiedades de los diferentes materiales a emplear, tales como afección de los rayos ultravioleta o empleo de disolventes en colas, entre otros.

#### 4.5.1 Ficha gestión hermeticidad

No resulta sencillo ejecutar una obra con un alto nivel de estanqueidad. Se trata de una de las partes del proyecto de edificios de bajo consumo que más preocupa a los agentes implicados, pues en caso de no cumplir con los requisitos perseguidos, no se obtendrá la correspondiente certificación, por ejemplo un valor de  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$  si se pretende obtener un certificado Passivhaus. El gran problema es la falta de personal especializado en construcciones herméticas, pues el respeto a la continuidad de las superficies de estanqueidad debe estar interiorizado en todos los trabajadores de los

diferentes oficios que van a intervenir en una obra de construcción. Este concepto se aleja mucho de la construcción tradicional. La siguiente ficha es un ejemplo de la gestión de la hermeticidad al aire en obra para un elemento constructivo de la envolvente térmica del edificio. Aporta la información necesaria para el conocimiento de la solución que se va a ejecutar en una parte del edificio y qué oficios intervienen. Todas las uniones entre elementos constructivos deberán ser analizados desde el punto de vista de la hermeticidad y resueltos en una ficha de este tipo, para el conocimiento de todos los oficios implicados.

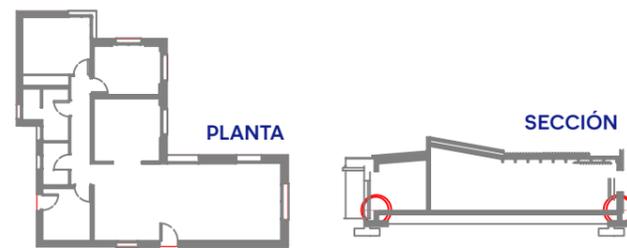
#### Aislamiento a la filtración de aire en el cerramiento exterior formado por una fachada con cámara - conexión con el murete perimetral de hormigón armado.

#### Forjado sanitario de encofrado perdido de polipropileno sobre terreno compactado y capa de nivelación.

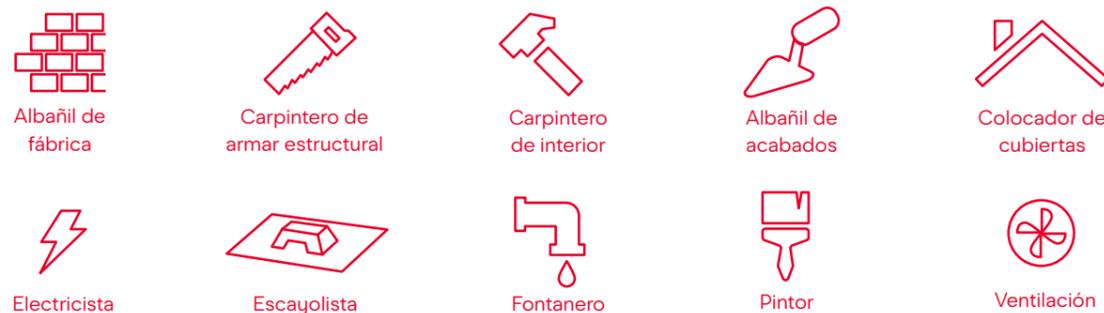
##### Materiales de impermeabilización al aire adaptados a esta unión:

- Fieltro bituminoso
- Junta elástica precomprimida
- Junta en EPDM
- Cinta polifilica autoadhesiva a dos caras
- Barrera de vapor
- Masilla de silicona

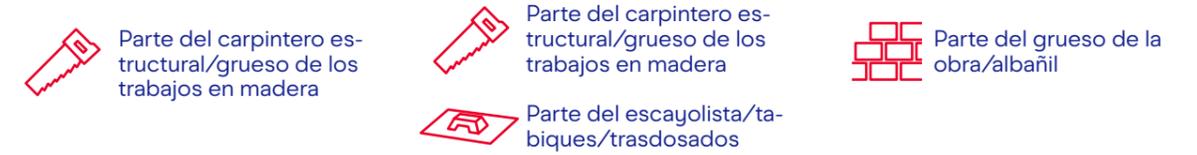
##### Localización de esta unión:



##### Indicación de los oficios que intervienen:



#### Trabajo de resistencia a la permeabilidad al aire:



**A-** Colocación de doble junta elástica precomprimida impregnada de resinas sintéticas (Clase 1/NF P 85-570) o una doble junta tórica perfilada en EPDM o de dos cordones autoadhesivos en caucho butílico.

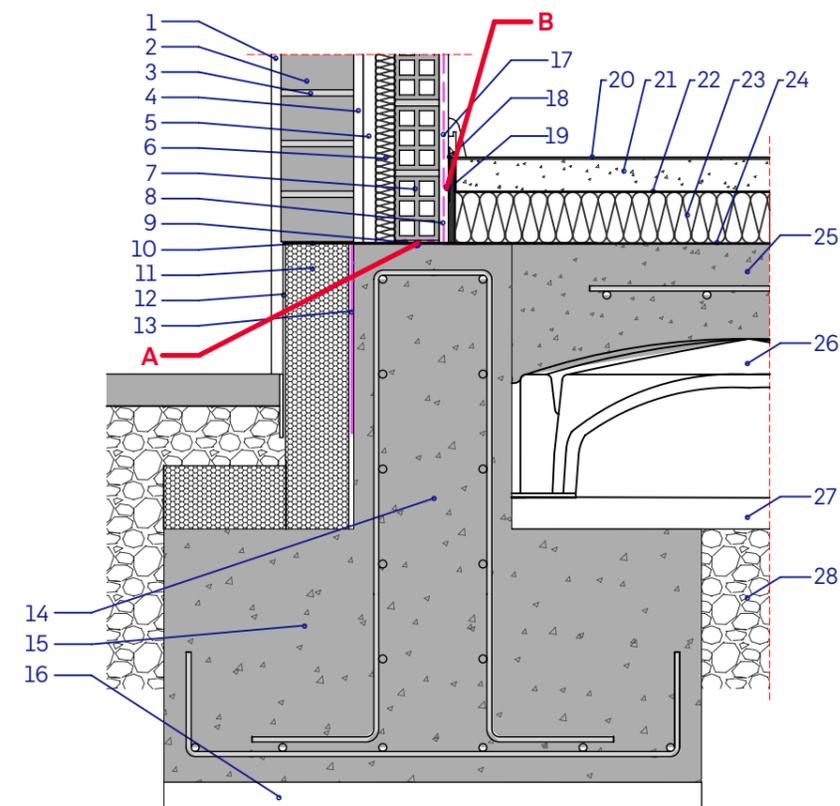
**B-** Continuidad y encolado cuidadoso de la barrera de vapor sobre la losa o bajo la base lisa con la ayuda de una banda flexible de caucho butílico, de una banda adhesiva autoadhesiva o de un cordón de cola elástica extruida.

Asegurar una perfecta planeidad de las superficies en hormigón o mampostería. Se refiere al DTU 31.2/NF P 21-204-1.

#### Fachada con cámara - Fachada y forjado sanitario

#### Riesgo de infiltración de aire:

A continuación se representa la unión entre la pared exterior de fábrica y el murete perimetral de hormigón armado.



1. Acabado exterior
2. Ladrillo cerámico perforado
3. Cemento hidrófugo
4. Mortero hidrófugo
5. Cámara de aire
6. Aislante térmico
7. Ladrillo hueco doble
8. Revestimiento interior
9. Lecho impermeable
10. Mortero hidrófugo
11. Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor
12. Impermeabilizante y drenaje
13. Impermeabilización de murete
14. Murete perimetral de hormigón armado
15. Zapata de cimentación en hormigón armado
16. Hormigón de limpieza
17. Lámina estanca / Línea de estanqueidad
18. Junta elástica perimetral
19. Aislante térmico perimetral
20. Pavimento
21. Recreido de mortero
22. Geotextil
23. Aislante de poliestireno extruido
24. Geotextil
25. Capa de compresión de hormigón armado sobre forjado sanitario
26. Forjado sanitario de encofrado perdido de polipropileno
27. Capa de nivelación
28. Terreno compactado

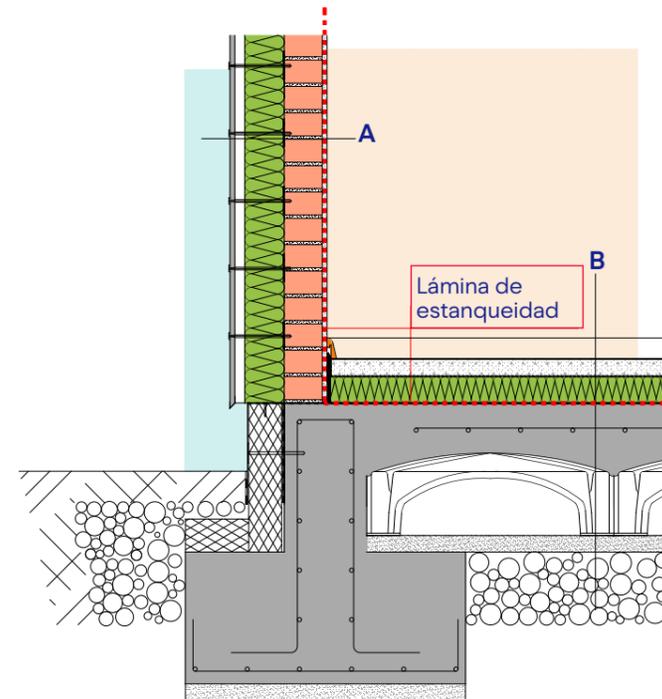
#### 4.6. Detalles constructivos

Se presentan a continuación una serie de detalles constructivos, para fachadas ventiladas y con cámara, de elementos de la envolvente térmica.

Se ha procurado aportar soluciones constructivas para las dos tipologías de envolvente térmica adaptadas al tipo de construcción tradicional, pudiendo diferir de una zona a otra.

En todos los detalles constructivos se ha utilizado la regla del lápiz para señalar la línea de estanqueidad de la solución aportada.

#### 4.6.1. Fachada y forjado sanitario



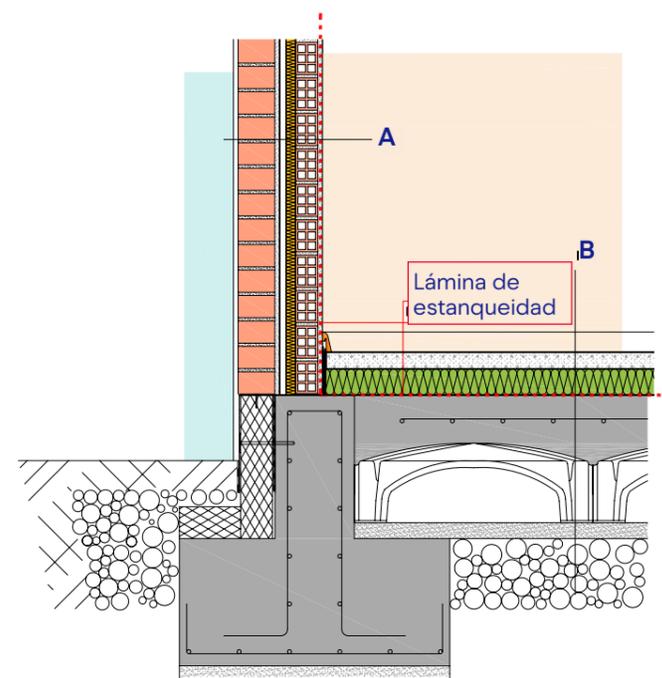
##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 80 Aislamiento
- 150 Losa de hormigón armado
- 250 Forjado sanitario con cáviti
- Capa de nivelación
- Terreno

Fachada ventilada.



##### Sección A en mm

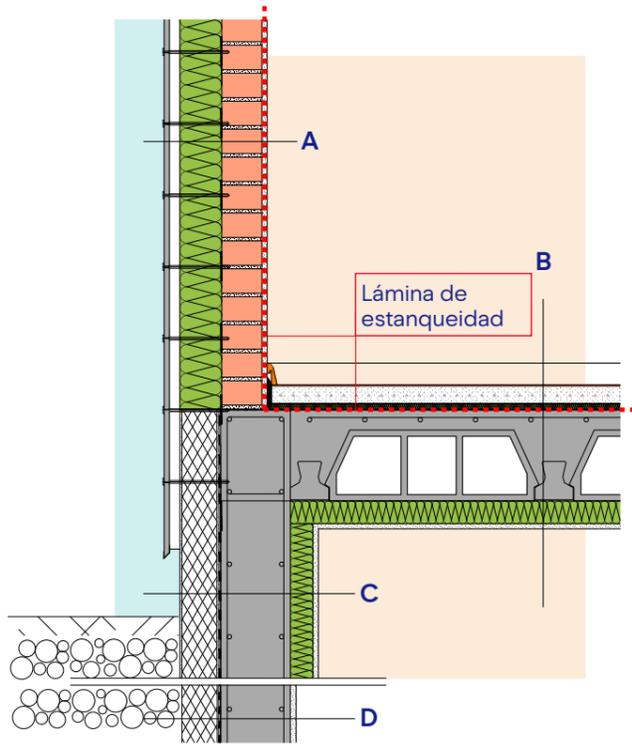
- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 80 Aislamiento
- 150 Losa de hormigón armado
- 250 Forjado sanitario con cáviti
- Capa de nivelación
- Terreno

Fachada con cámara.

#### 4.6.2. Fachada y forjado sobre sótano sin calefactar



Fachada ventilada.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 15 Aislamiento
- Forjado de hormigón
- 65 Aislamiento
- 12,5 Placa de yeso

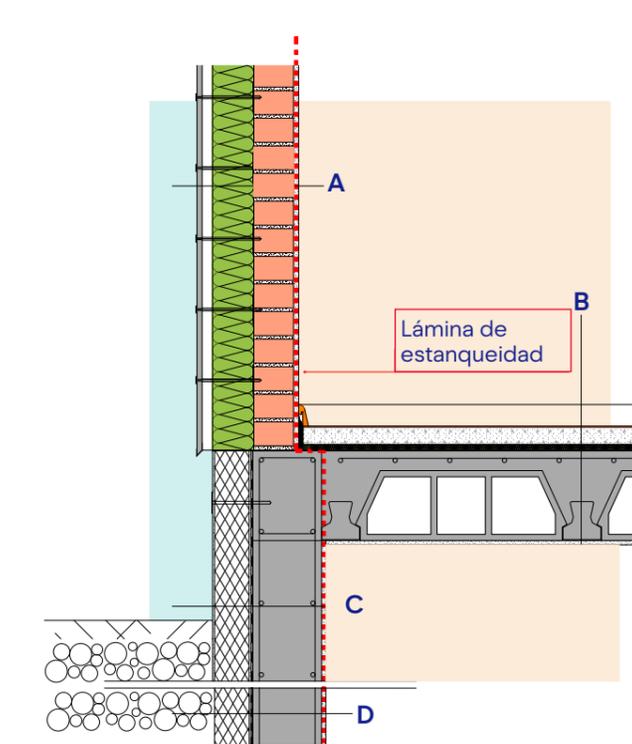
##### Sección C en mm - Aislamiento del zócalo

- 12,5 Placa de yeso
- 65 Aislamiento
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección D en mm - Aislamiento perimetral

- 15 Revestimiento interior
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor

#### 4.6.3. Fachada y forjado sobre sótano calefactado



Fachada ventilada.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

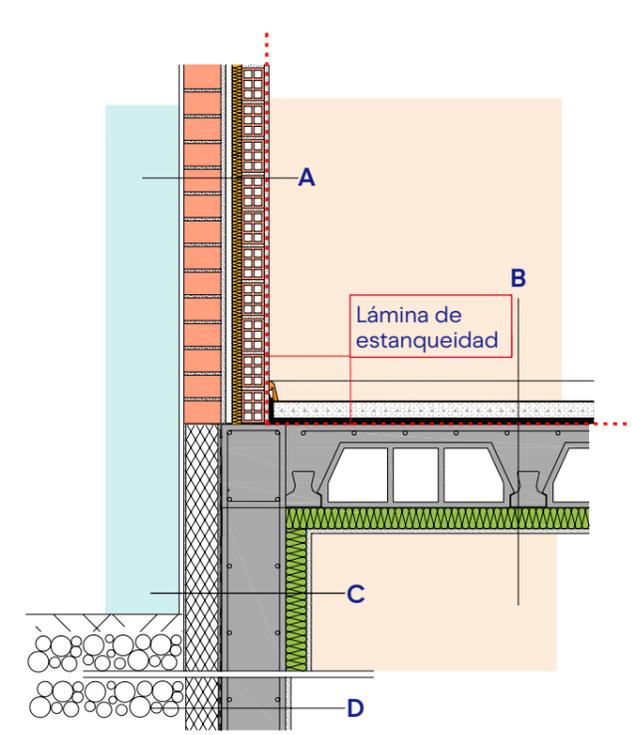
- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 15 Aislamiento
- Forjado de hormigón
- 12,5 Placa de yeso

##### Sección C en mm - Aislamiento del zócalo

- 12,5 Placa de yeso
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección D en mm - Aislamiento perimetral

- 15 Revestimiento interior
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor



Fachada con cámara.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

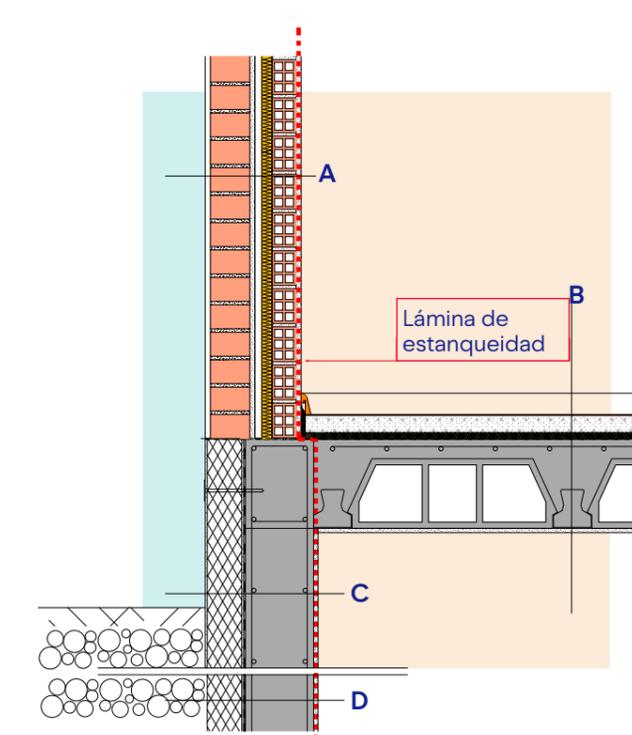
- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 15 Aislamiento
- Forjado de hormigón
- 65 Aislamiento
- 12,5 Placa de yeso

##### Sección C en mm - Aislamiento del zócalo

- 12,5 Placa de yeso
- 65 Aislamiento
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección D en mm - Aislamiento perimetral

- 15 Revestimiento interior
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor



Fachada con cámara.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Acabado
- Capa de mortero
- Lámina de polietileno
- 15 Aislamiento
- Forjado de hormigón
- 12,5 Placa de yeso

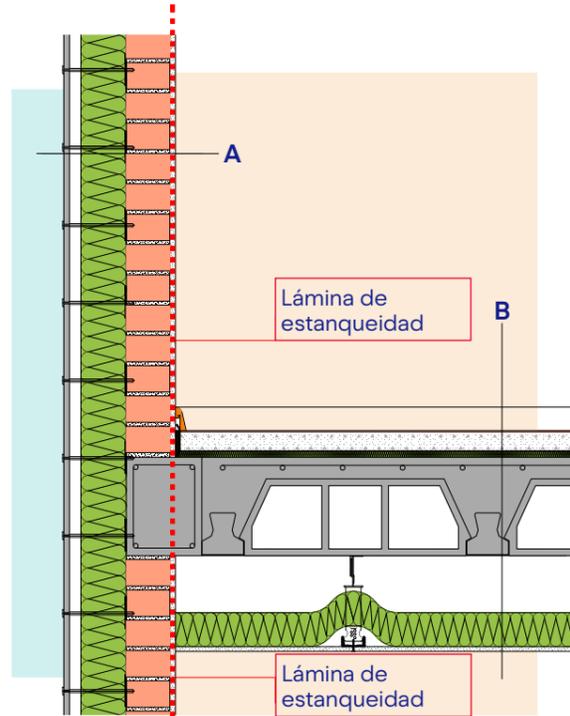
##### Sección C en mm - Aislamiento del zócalo

- 12,5 Placa de yeso
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección D en mm - Aislamiento perimetral

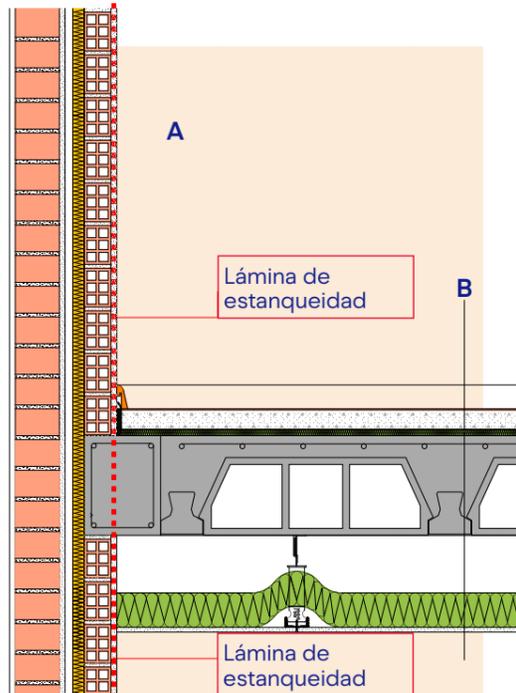
- 15 Revestimiento interior
- Muro de hormigón
- 120 Aislamiento resistente al agua con barrera de vapor

#### 4.6.4. Fachada y forjado intermedio



- Sección A en mm**
- 15 Revestimiento interior
  - 115 Ladrillo cerámico perforado
  - 120 Aislamiento
  - 30 Cámara de aire ventilada
  - 15 Revestimiento exterior
- Sección B en mm**
- Acabado
  - Capa de mortero
  - Lámina de polietileno
  - 15 Aislamiento
  - Forjado de hormigón
  - 150 Plenum
  - 90 Aislamiento
  - 12,5 Placa de yeso

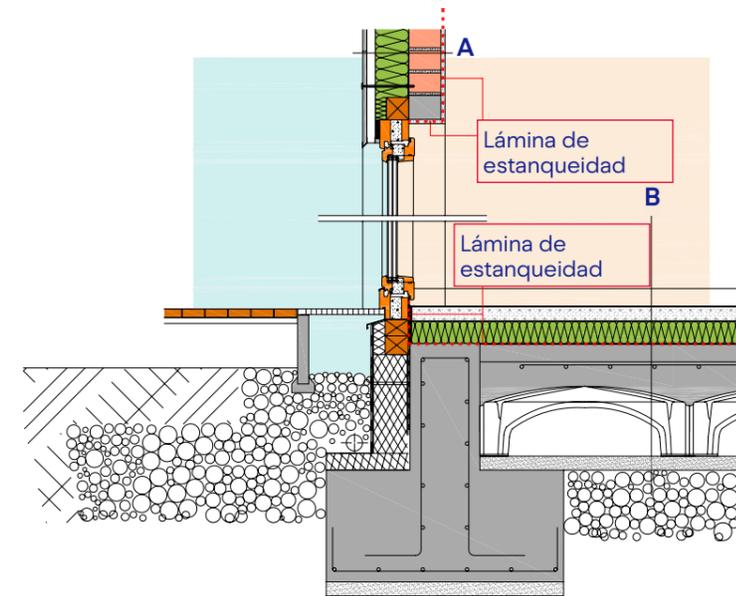
Fachada ventilada.



- Sección A en mm**
- 15 Revestimiento interior
  - 80 Ladrillo hueco doble
  - 30 Aislamiento
  - 20 Cámara de Aire
  - 15 Mortero hidrófugo
  - 115 Ladrillo cerámico perforado
  - 15 Revestimiento exterior
- Sección B en mm**
- Acabado
  - Capa de mortero
  - Lámina de polietileno
  - 15 Aislamiento
  - Forjado de hormigón
  - 150 Plenum
  - 90 Aislamiento
  - 12,5 Placa de yeso

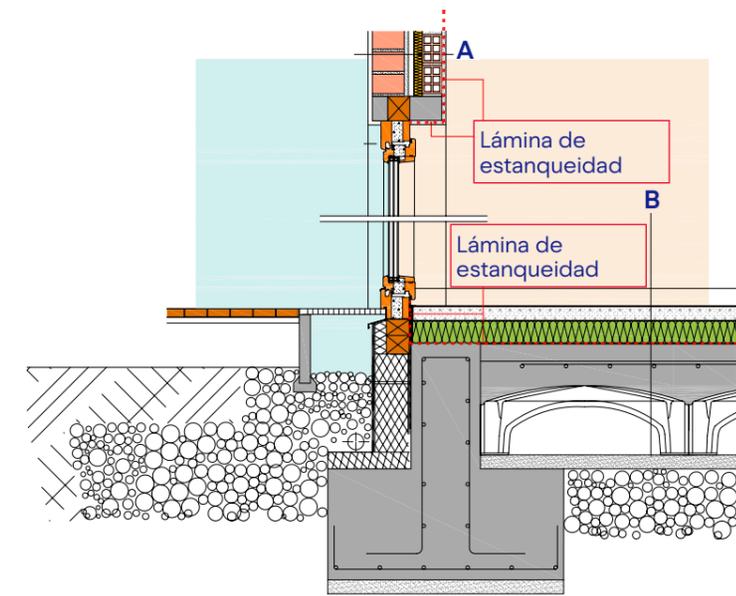
Fachada con cámara.

#### 4.6.5. Fachada con puerta



Fachada ventilada.

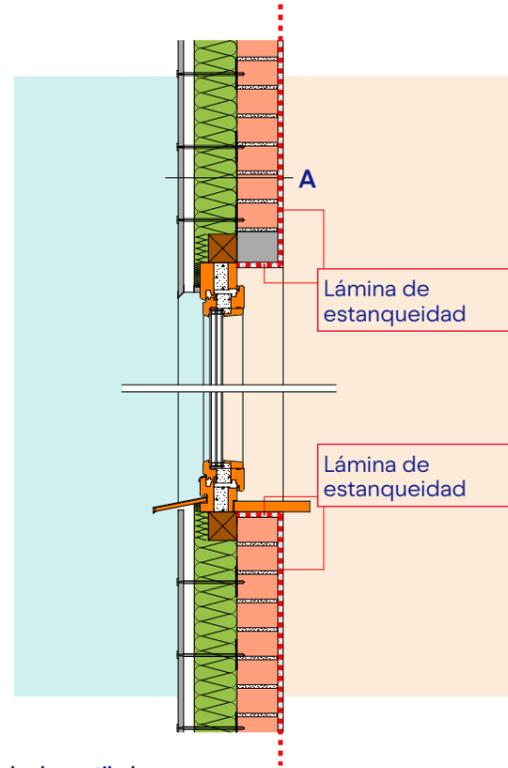
- Sección A en mm**
- 15 Revestimiento interior
  - 115 Ladrillo cerámico perforado
  - 120 Aislamiento
  - 30 Cámara de aire ventilada
  - 15 Revestimiento exterior
- Sección B en mm**
- Acabado
  - Capa de mortero
  - Lámina de polietileno
  - 15 Aislamiento
  - 80 Losa de hormigón armado
  - 150 Forjado sanitario con cáviti
  - Capa de nivelación
  - Terreno



Fachada con cámara.

- Sección A en mm**
- 15 Revestimiento interior
  - 80 Ladrillo hueco doble
  - 30 Aislamiento
  - 20 Cámara de Aire
  - 15 Mortero hidrófugo
  - 115 Ladrillo cerámico perforado
  - 15 Revestimiento exterior
- Sección B en mm**
- Acabado
  - Capa de mortero
  - Lámina de polietileno
  - 15 Aislamiento
  - 80 Losa de hormigón armado
  - 150 Forjado sanitario con cáviti
  - Capa de nivelación
  - Terreno

#### 4.6.6. Fachada con ventana



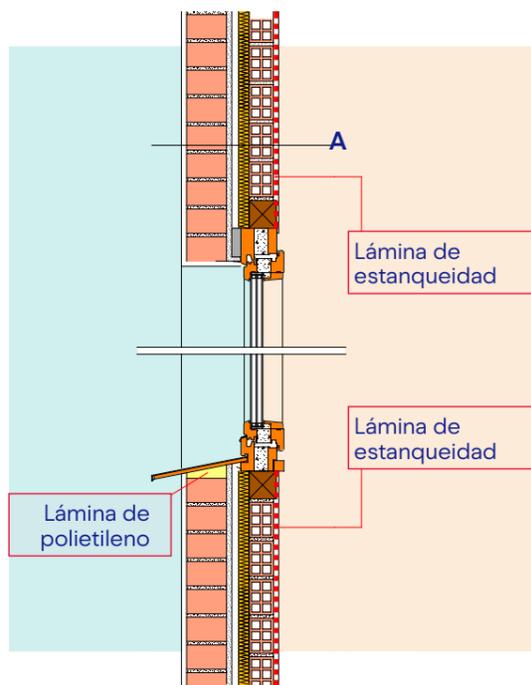
##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

Lámina de estanqueidad

Lámina de estanqueidad

Fachada ventilada.



##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

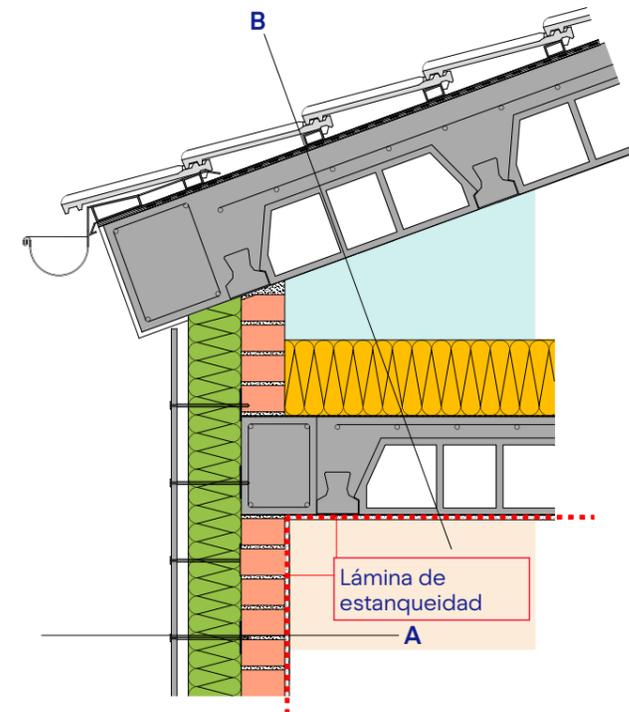
Lámina de estanqueidad

Lámina de estanqueidad

Lámina de polietileno

Fachada con cámara.

#### 4.6.7. Fachada y cubierta inclinada sobre local no habitable



##### Sección A en mm

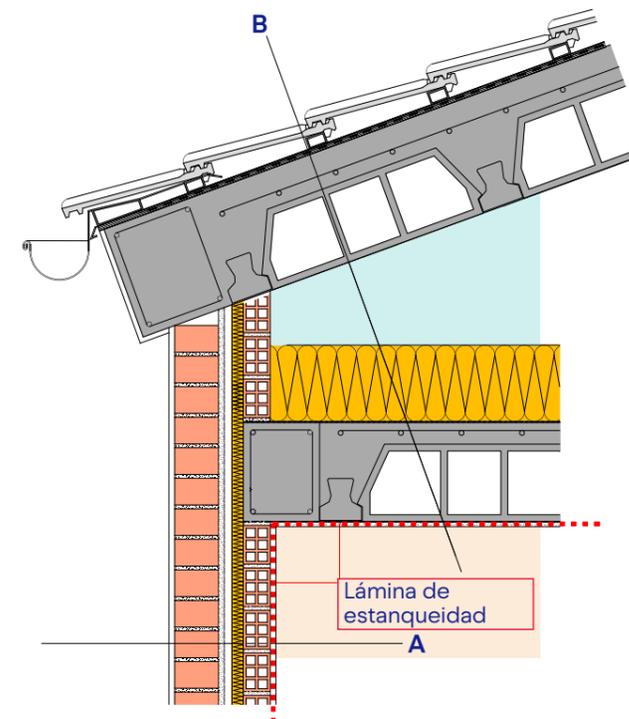
- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Tejas
- Rastreles
- Lámina impermeable
- Forjado de hormigón
- 200 Manta de lana mineral
- Lámina de polietileno
- Forjado de hormigón
- 12,5 Placa de yeso

Lámina de estanqueidad

Fachada ventilada.



##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

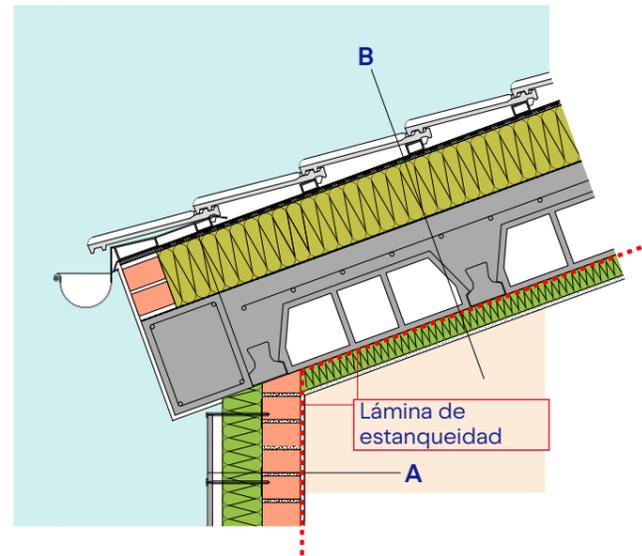
##### Sección B en mm

- Tejas
- Rastreles
- Lámina impermeable
- Forjado de hormigón
- 200 Manta de lana mineral
- Lámina de polietileno
- Forjado de hormigón
- 12,5 Placa de yeso

Lámina de estanqueidad

Fachada con cámara.

#### 4.6.8. Fachada y cubierta sobre local acondicionado



Fachada ventilada.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

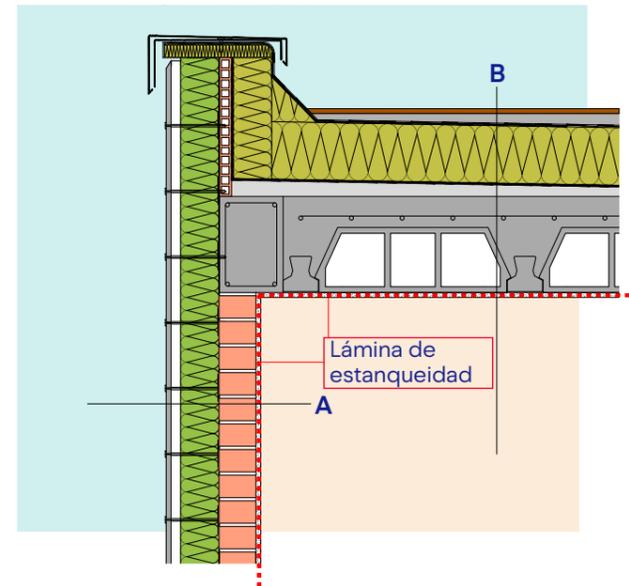
- Tejas
- Rastreles
- Lámina impermeable
- 180 Aislamiento de vidrio celular fijado con anclajes
- Forjado de hormigón
- 65 Aislamiento
- 12,5 Placa de yeso

Lámina de estanqueidad

A

B

#### 4.6.9. Fachada y cubierta plana



Fachada ventilada.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 120 Aislamiento
- 30 Cámara de aire ventilada
- 15 Revestimiento exterior

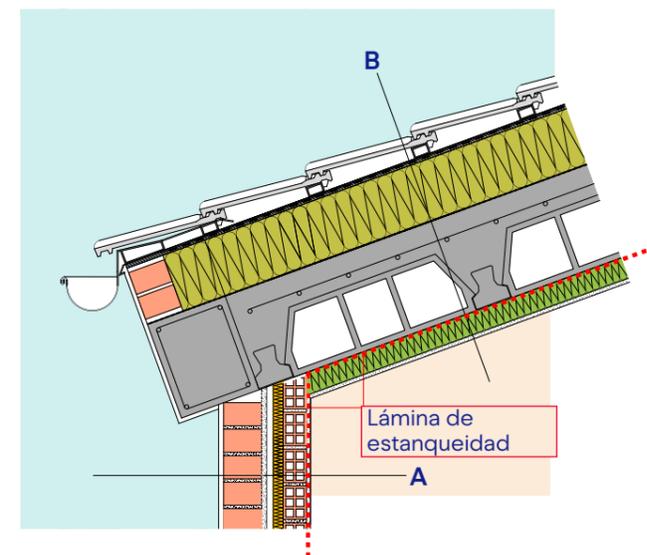
##### Sección B en mm

- Acabado
- 20-50 Impermeabilización
- Protección contra el agua
- Capa de separación
- 180 Aislamiento de vidrio celular
- Capa de separación
- 20-50 Capa de hormigón para formación de pendientes
- Forjado de hormigón
- 15 Revestimiento interior

Lámina de estanqueidad

A

B



Fachada con cámara.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

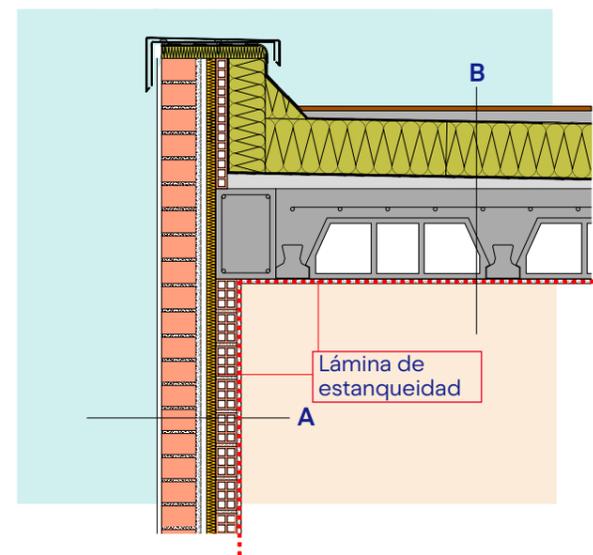
##### Sección B en mm

- Tejas
- Rastreles
- Lámina impermeable
- 180 Aislamiento de vidrio celular fijado con anclajes
- Forjado de hormigón
- 65 Aislamiento
- 12,5 Placa de yeso

Lámina de estanqueidad

A

B



Fachada con cámara.

##### Sección A en mm

- 15 Revestimiento interior
- 80 Ladrillo hueco doble
- 30 Aislamiento
- 20 Cámara de Aire
- 15 Mortero hidrófugo
- 115 Ladrillo cerámico perforado
- 15 Revestimiento exterior

##### Sección B en mm

- Acabado
- 20-50 Impermeabilización
- Protección contra el agua
- Capa de separación
- 180 Aislamiento de vidrio celular
- Capa de separación
- 20-50 Capa de hormigón para formación de pendientes
- Forjado de hormigón
- 15 Revestimiento interior

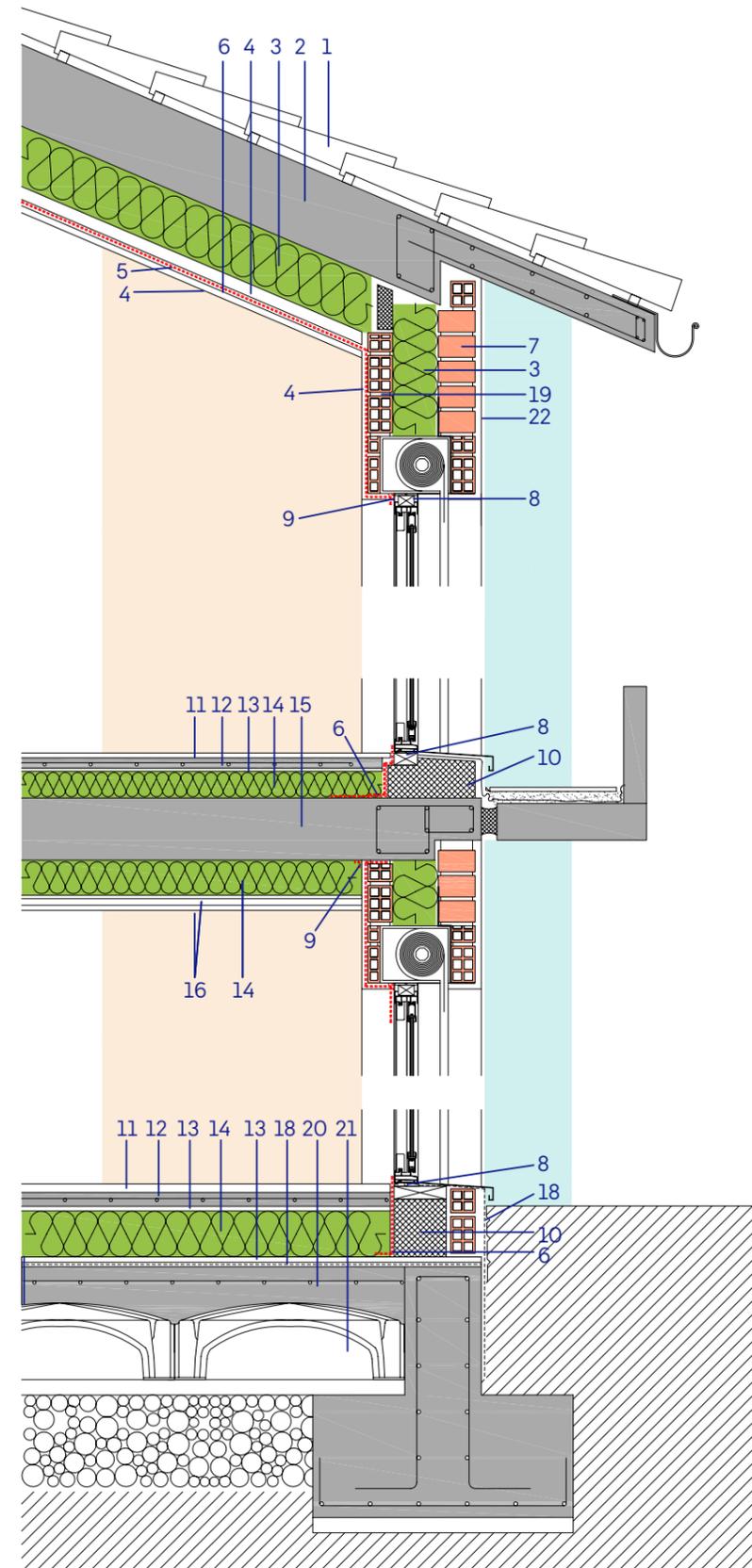
Lámina de estanqueidad

A

B

#### 4.6.10. Sección completa tipo nZEB

1. Teja curva
2. Forjado inclinado
3. Lana de roca
4. Yeso
5. Cinta politílica adhesiva (2 caras)
6. Lámina estanca (línea de estanqueidad)
7. Ladrillo cerámico semimacizo
8. Junta precomprimida
9. Cinta
10. Vidrio celular
11. Pavimento
12. Mortero armado
13. Geotextil
14. XPS (poliestireno extruido)
15. Forjado horizontal
16. Falso techo
17. Losa de hormigón
18. Impermeabilizante
19. Ladrillo hueco doble
20. Forjado sanitario
21. Cáviti
22. Acabado exterior



# Caracterización de las infiltraciones

05

## 05. Caracterización de las infiltraciones

El proceso más efectivo para llevar a cabo la caracterización de las infiltraciones de un edificio, o la permeabilidad al aire de su envolvente o componentes, consiste en el método de presurización mediante ventilador o “Blower Door Test” (Ensayo de Puerta Soplante), que además de permitir la identificación del origen de las fugas de aire nos permite cuantificarlas.

### El alcance de este ensayo pasa por los siguientes resultados:

·Medición de la permeabilidad al aire de un edificio, o parte componente del mismo que sea conforme con la especificación de un diseño para la hermeticidad al aire.

·Comparación de la permeabilidad relativa al aire de varios edificios similares o de partes componentes de los mismos.

·Identificación de los orígenes de las fugas de aire.

·Determinación de la reducción de fugas de aire, como resultado de las medidas individuales y actualizadas, aplicadas de manera incrementada, en un edificio existente, o en una parte de éste.

La obtención de la tasa de infiltración de aire de un edificio no se obtiene directamente por medio del ensayo de presurización, sino que a partir de los datos obtenidos se emplean métodos de cálculo para obtenerla. Este método se aplica para realizar mediciones del flujo de aire a través del edificio desde el exterior al interior y viceversa. Cualquiera que pretenda utilizar un equipo Blower Door para realizar este tipo de ensayo deberá seguir las indicaciones de las normas, además de poseer cierto grado de conocimiento sobre los principios de flujo del aire y mediciones de presión. Las condiciones ideales, para la realización de los ensayos de presurización, tendrán lugar cuando existan diferencias pequeñas de temperatura entre el interior de la edificación y el exterior, además de bajas velocidades de viento. Existen unos límites de utilización que, para los ensayos realizados en campo, se hace necesario verificar según lo que se establece en la Norma UNE-EN-13829. De cualquier manera, siempre se deberá evitar realizar el ensayo en días de viento con gran velocidad y diferencias grandes de temperatura entre el interior y el exterior. En próximos epígrafes se indican estos límites. La caracterización de infiltraciones con el ensayo Blower Door está diseñada para evaluar

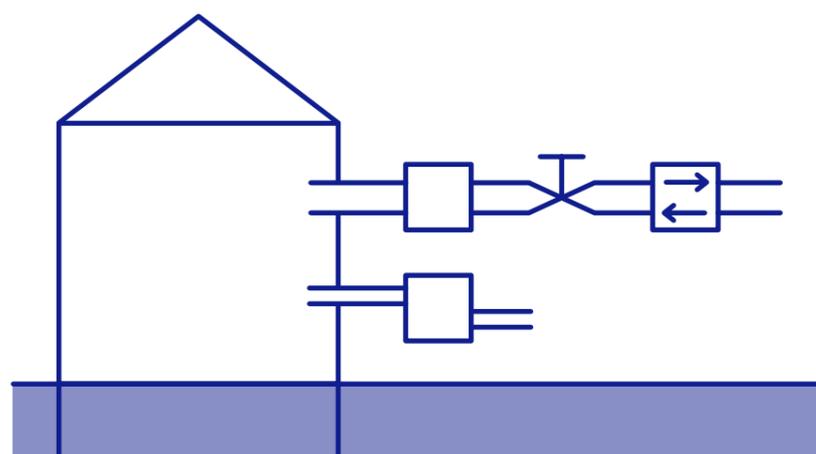
edificaciones unizona, por lo que, en el caso de tener edificaciones con diversas zonas, éstas deberán ser tratadas como una única zona a efectos de realización del ensayo. Se hace notar que este ensayo no está diseñado para la caracterización de elementos individuales, aunque sí que se pueden sectorizar zonas para realizar ensayos previos a la finalización de la envolvente del edificio y así detectar posibles desviaciones.

### 5.1. Sistemas de presurización

Existen diversos sistemas que permiten la presurización de la envolvente de los edificios, a continuación se describen los más comunes.

#### 5.1.1 Sistema de conducto y ventilador

Este sistema está formado por un ventilador, un conducto y un medidor de caudal de aire. Este sistema se conecta con el edificio tal como se muestra en la figura. La dimensión del conducto y la boca del ventilador deben ser conectadas de tal manera que la velocidad del flujo lineal en el conducto de aire vaya disminuyendo según el rango de la medición que efectúa el medidor de caudal de aire.



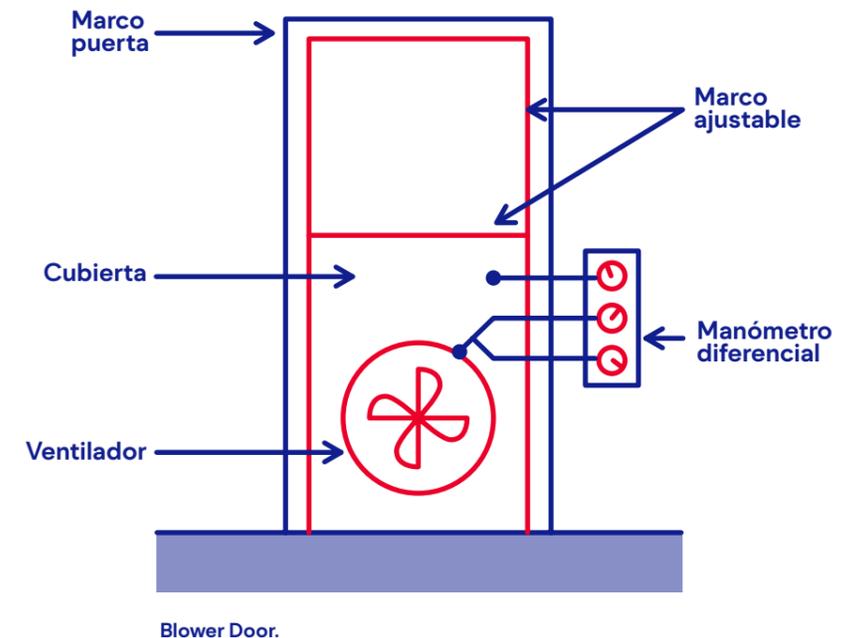
Esquema de implementación del equipo para el ensayo de todo el edificio. (Norma UNE-EN-13829).

#### 5.1.2. Puerta de soplado o Blower Door

Este sistema es el más empleado, en el que el equipo se ensambla a la puerta de acceso del edificio u otra puerta. Es un sistema aceptado en la mayoría de los países para la realización de las mediciones de permeabilidad de la envolvente de los edificios.

El montaje incluye una puerta ajustable a las dimensiones de la puerta, un ventilador y un manómetro diferencial.

El ventilador está dotado de un variador de velocidad para ajustarse al rango de las tasas de caudal de aire requeridas para alcanzar una diferencia de presión determinada.



Blower Door.

#### 5.1.3 Sistemas de ventiladores para acondicionamiento

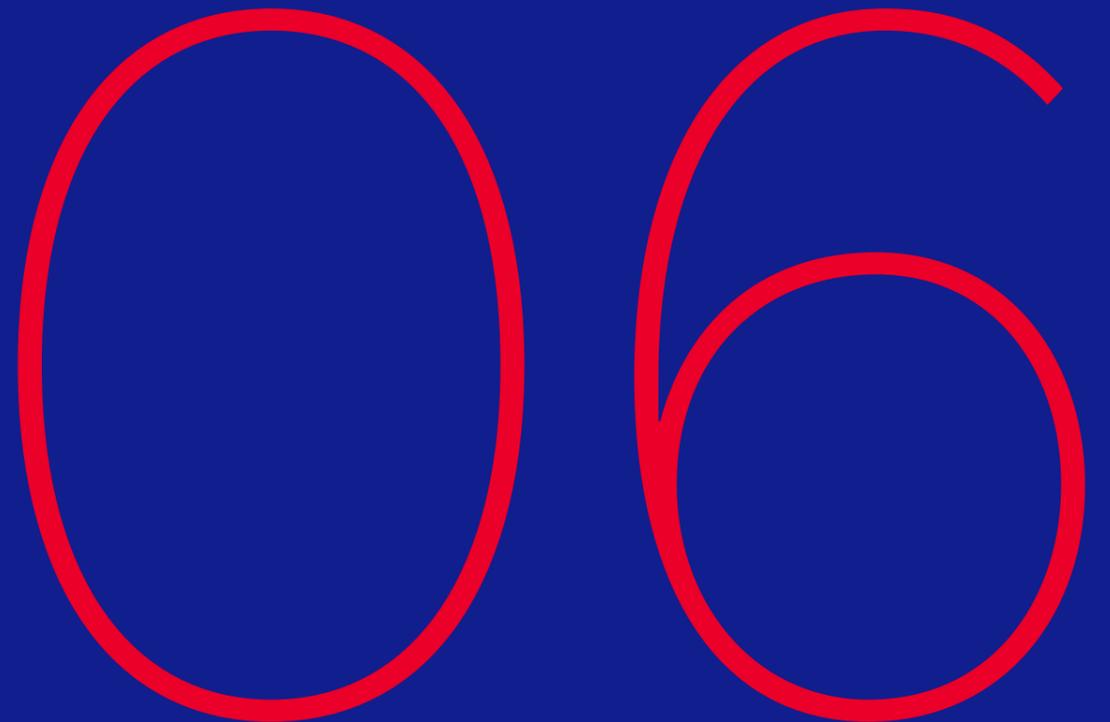
Para determinar la permeabilidad de aire en grandes edificios es posible utilizar los propios ventiladores del sistema de aire primario y realizar con ellos los procesos de presurización o despresurización del mismo.

En caso de emplear este procedimiento, se recomienda realizar una inspección previa del emplazamiento para establecer el número de ventiladores de aportación o extracción de acuerdo con el caudal de aire requerido para el ensayo.

Se comprobará la posibilidad de que los ventiladores puedan funcionar con el 100% de aire exterior o el 100% de aire de extracción y la existencia de medios para controlar las tasas del flujo de aire suministrado o ex-

traído, ajustando las aberturas de los reguladores a las velocidades del ventilador. Se deberá inspeccionar la red de conductos y seleccionar la ubicación de los equipos de medición. Se requiere un cuidado especial donde los reguladores y velocidades del ventilador son normalmente controlados automáticamente (por ejemplo, por el sistema de control de energía del edificio) para asegurar que pueden funcionar independientemente, tal como se requiere para el ensayo. Algunas rejillas interiores o aberturas, correspondientes a la calefacción, ventilación y sistemas de aire acondicionado, deben ser también selladas para realizar el ensayo.

Blower Door



## 06. Blower Door

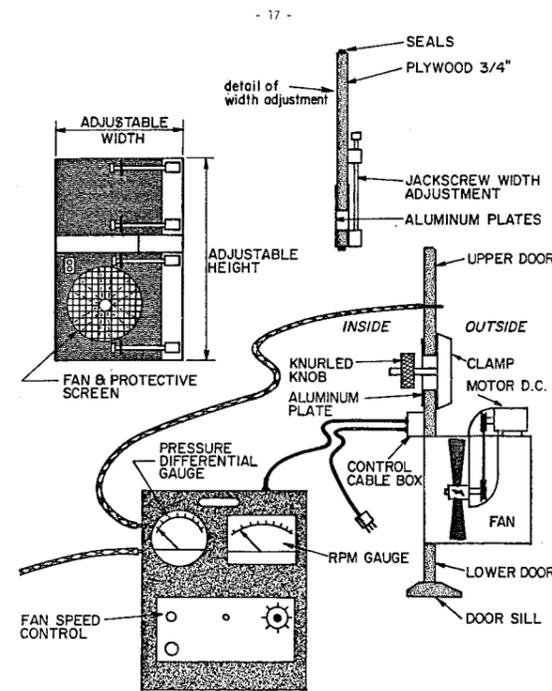
Sea cual sea el procedimiento empleado de los descritos anteriormente, se deberá disponer de diversos equipos para la realización del ensayo.

La Blower Door requerirá de una calibración periódica del sistema de medición usado en este método de ensayo de acuerdo con las especificaciones del fabricante o con los sistemas de seguridad de calidad normalizada. Los casos de estudios presentados en esta publicación, han sido ensayados con equipos Blower Door de Retrotec y Minneapolis.

## 6.1 Historia

Durante la década de 1960, los expertos en energía no se percataban del grado de incidencia que tenían las fugas de aire en las pérdidas de calor en los edificios. Durante la década de 1970, algunos investigadores en Saskatchewan, Suecia y New Jersey, Estados Unidos comenzaron a estudiar las fugas de aire en los edificios, pero a estos investigadores se les hacía complicado comprender cómo funcionaba la hermeticidad de los edificios. En 1977, Gautam Dutt, investigador de la Universidad de Princeton intentaba, sin éxito, cuantificar las pérdidas de energía por fugas de aire de un grupo de casas en Twin Rivers, New Jersey, pues éstas perdían de tres a siete veces más energía que la prevista en su diseño. Finalmente, tras muchas inspecciones a las viviendas, Dutt detectó tras los aislamientos elementos constructivos con defectos de sellado, lo que dio en llamar "bypass térmico". La tecnología necesaria para la realización de los ensayos de hermeticidad al paso del aire fue empleada por primera vez en Suecia en el año 1977. Se trataba de un equipo para instalar en ventanas, no como hoy en día, que están concebidos para su montaje en huecos de puertas. Más o menos al mismo tiempo, en Estados Unidos se estaba desarrollando una versión de este equipo para su instalación en puertas. Se trataba de un proyecto con el que tres profesores de Princeton, llamados "Princeton House Doctors" (David Harje, Ken Gadsby, Frank Sinden y Dutt) trataban de corregir las fugas de aire en las viviendas que estaba estudiando Dutt. Estos investigadores han sido los precursores en la demostración de que las infiltraciones suponen una gran parte de las pérdidas energéticas de los edificios, que no se estaban contabilizando hasta ese momento.

Las fugas pudieron empezar a ser resueltas por el uso de la Blower Door permitiendo su detección y posterior corrección, lo que pasa a llamarse en aquel momento como "house doctoring", que podría traducirse como curar la casa, aunque hoy en día lo conocemos como auditoría energética. La Blower Door aparece disponible comercialmente en Estados Unidos en 1980 bajo el nombre Gadsco, la comercializa Harmax y se venden las primeras unidades en 1981. A pesar de que la Blower Door constituye una herramienta muy útil para identificar las vías de fuga de aire y la cuantificación de pérdidas energéticas, que de otro modo eran inexplicables, sus resultados no ofrecen datos en tiempo real en condiciones de trabajo normales, sino bajo unas características concretas correspondientes a una diferencia de presión de 50 Pa.



Representación esquemática de la Blower Door, incluyendo el control y conexiones de tubos. (The Blower Door. Center for Energy and Environmental Studies. Princeton University. 1981).

## 6.2 Equipos

Todos los equipos comerciales Blower Door tienen una composición similar, aunque difieren sus características en función de las condiciones del edificio o del tipo ensayo a realizar, pudiendo ser:

- Equipos para ensayos de viviendas unifamiliares o pequeños edificios.
- Equipo para ensayo de Passivhaus, se trata de equipos con ventilador más pequeño.
- Equipos "multifan", para el ensayo de grandes edificios.
- Equipos para ensayos de tiempo de retención de gases de extinción de incendio.

De todas maneras, aunque se pueden adquirir diferentes equipos en función de la aplicación, todos disponen de los mismos elementos para poder realizar un test de presurización.



Equipos de una Blower Door. Fuente: Retrotec.

### 6.2.1 Ventilador

Es el equipo que induce un rango específico de diferencias de presión, positivas o negativas, a través de la envolvente del edificio o parte del mismo. El sistema debe suministrar un caudal constante de aire para cada diferencia de presión, durante el periodo requerido, con objeto de obtener lecturas de la tasa del flujo de aire.

En edificios grandes, se pueden utilizar los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

En el caso del equipo Blower Door este equipo es un ventilador helicoidal tubular. El ventilador de la Blower Door viene provisto de un variador de velocidad para ajustar la velocidad del ventilador a la diferencia de presión y caudal en cada escalón del ensayo. Los ventiladores vienen provistos de diversos diafragmas para poder variar la sección de paso de los mismos en función de los requerimientos de los edificios o del ensayo.



Ventilador helicoidal tubular de una Blower Door. Fuente: Retrotec.

### 6.2.2. Manómetro diferencial

Se trata de un equipo que combina un manómetro diferencial y un sistema de medición de la tasa de caudal de aire.

El manómetro diferencial deberá tener la capacidad de medir diferencias de presión, con una precisión de  $\pm 2$  Pa en el rango de 0 Pa hasta 60 Pa. Esto es debido a que el ensayo se realizará a una presión de 50 Pa. Es recomendable que dicho rango sea incluso mayor, llegando a unos 100 Pa para facilitar la detección de fugas de aire.

La Blower Door dispone de multímetros multifunción que incluyen la medición diferencial de la presión, temperatura y caudal.



Multímetro de una Blower Door. Fuente: Retrotec.

### 6.2.3. Conexión umbilical

La conexión umbilical conecta el manómetro diferencial al variador de velocidad del ventilador, para la regulación de caudal. Se trata de un sistema de sondas y cables "todo en uno".



Umbilical de una Blower Door. Fuente: Retrotec.

### 6.2.4. Estructura-puerta

La estructura que compone la puerta es a base de perfiles de aluminio desmontables y ajustables a la mayor parte de puertas existentes en edificios.



Estructura de aluminio de Blower Door. Fuente: Retrotec.

Estado de la  
reglamentación

07

## 07. Estado de la reglamentación

La estanqueidad al paso del aire de los edificios es proporcional a la resistencia que la envolvente de estos ofrece a las fugas de aire y, por lo tanto a la pérdida de energía. Algunos países tales como Dinamarca y Reino Unido, que han establecido un requerimiento mínimo, han incluido en sus reglamentos o códigos de construcción exigencias al respecto de la hermeticidad al paso del aire de la envolvente térmica. Otros países, como Bélgica o Alemania, han optado por establecer un indicador de fuga máxima. La magnitud de referencia utilizada por cada país puede diferir de uno a otro debido a las diferentes tradiciones y tipologías constructivas.

La Norma UNE EN 13829 describe el método de medición de la permeabilidad al aire de edificios a través de la presurización con ventilador. Debido a los diferentes métodos de cálculo de las superficies y volúmenes de cada reglamentación o estándar, los resultados no son totalmente comparables.

En prácticamente todos los estándares se realiza el ensayo para 50 Pa de diferencia de presión, pero existen excepciones, tales como Francia en la que los resultados son para una diferencia de presión de 4 Pa,

o en la RT 2000 canadiense en la que el resultado se muestra para 10 Pa. Estas bajas diferencias de presión se aproximan más a las condiciones reales de trabajo de la envolvente de los edificios, pero por otro lado se hace más complicada la detección de fugas.

A continuación se muestran algunas referencias del estado actual de alguna normativa o estándar de países europeos:

### Italia:

Italia no tiene exigencias de permeabilidad a nivel nacional, pero algunas regiones sí las tienen. En la provincia de Bolzano se publicó una norma obligatoria para hacer ensayos blower door, a partir de marzo de 2010, en el caso de edificios de viviendas nuevos. En otras regiones es un requerimiento para edificios con alta calificación energética, como por ejemplo para la obtención de una calificación A+ en la provincia de Trento. Los valores recomendados de  $n_{50}$  son de  $4 \text{ h}^{-1}$  para vivienda unifamiliares y dobles y de  $2 \text{ h}^{-1}$  para edificios de viviendas. En el caso de perseguir una certificación CasaClima,  $n_{50}$  será menor a  $0,6 \text{ h}^{-1}$  para la certificación Oro, pudiendo obtener certificados menores con mayores tasas de infiltración.

### Dinamarca:

El caudal de aire intercambiado con el exterior no debe superar los  $1,5 \text{ l/s m}^2$  de superficie útil acondicionada cuando se someta a una presión de 50 Pa según la norma EN 13829. En el caso de edificios de bajo consumo de energía no se superarán los  $1 \text{ l/s m}^2$ . Para edificios nZEB, no se excederán los  $0,5 \text{ l/s m}^2$ . El resultado del ensayo será la media entre el resultado del test a sobrepresión y a depresión.

### Alemania:

La permeabilidad al aire de la envolvente del edificio deberá estar de acuerdo con la norma DIN 4108-7 (EnEV) y la tasa de renovación de aire  $n_{50}$  no superará  $3 \text{ h}^{-1}$  en viviendas con ventilación natural y  $1,5 \text{ h}^{-1}$  en viviendas que dispongan de sistemas de ventilación mecánica. Además el estándar Passivhaus establece una limitación de  $0,6 \text{ h}^{-1}$  como resultado de la media de los ensayos de presurización y despresurización de la vivienda.

### Francia:

El reglamento térmico de Francia exige la realización de ensayos de permeabilidad para todas las viviendas nuevas, siendo el requerimiento para viviendas unifamiliares de  $0,6 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$  y para edificios de viviendas de  $1 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$ , realizando el test bajo las indicaciones del Standard NF EN 13829, medido para una diferencia de presión de 4 Pa y con el indicador de caudal  $Q_{4Pa}$ .

### Región de Bruselas:

Actualmente no dispone de reglamentación al respecto, pero se estima que en 2018 la exigencia para viviendas unifamiliares sea de  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ .

### Suecia:

Según la norma BFS 2011, el resultado del ensayo de estanqueidad de la envolvente térmica del edificio realizado según la norma SS-EN-13289, no debe superar  $0,6 \text{ l/s m}^2$  a 50 Pa.

### Reino Unido:

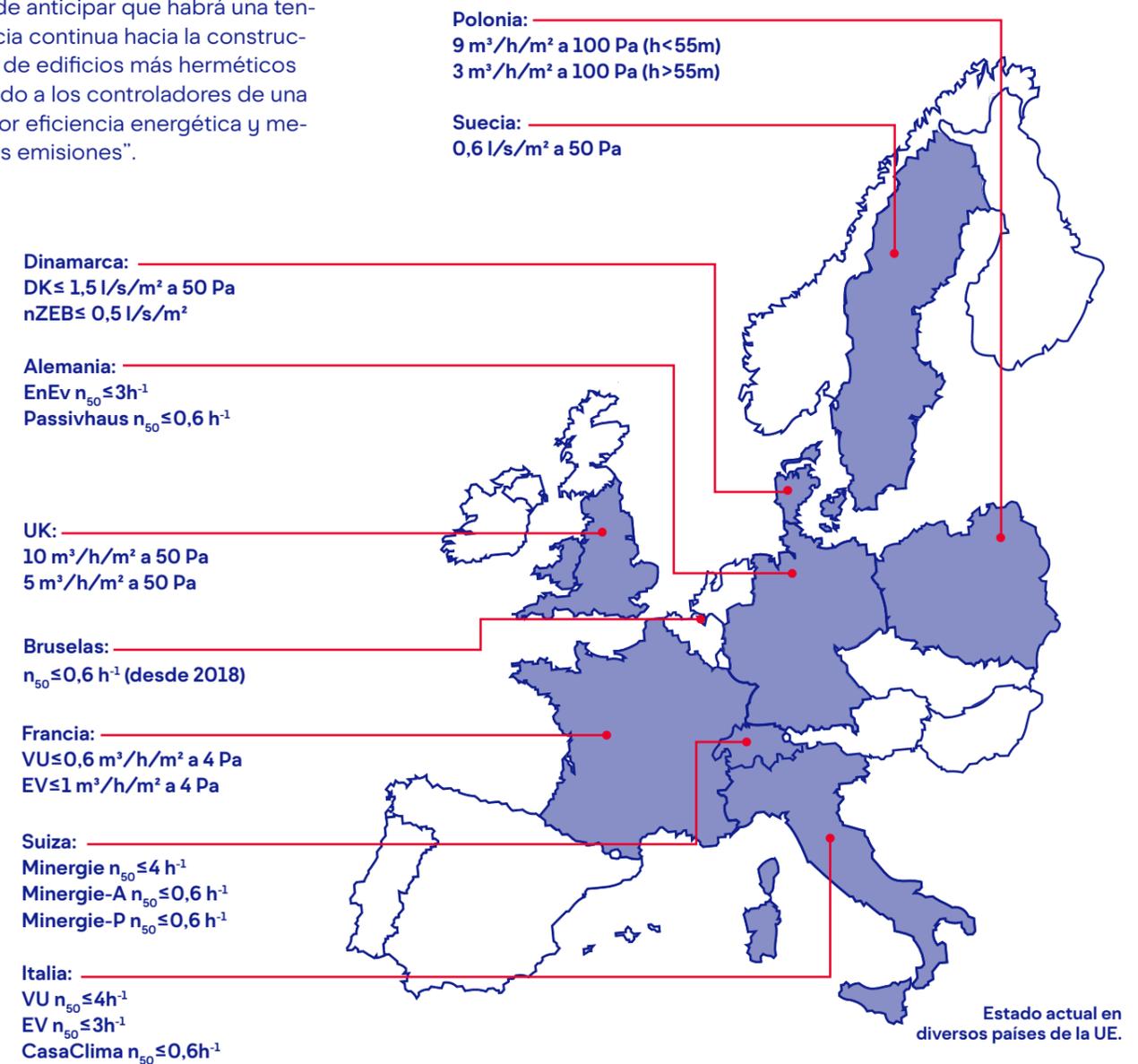
La vivienda cumple con las exigencias en el caso en el que la permeabilidad al aire medida no supere el límite de  $10 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$  para una diferencia de presión de 50 Pa. En Inglaterra y Gales las especificaciones nacionales que establece el documento L1A indica una hermeticidad de  $5 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$  y se afirma que "a través de un buen diseño y ejecución, los edificios domésticos y no domésticos pueden alcanzar una permeabilidad al aire de 2 a  $4 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$  a 50 Pa "y, además se puede anticipar que habrá una tendencia continua hacia la construcción de edificios más herméticos debido a los controladores de una mayor eficiencia energética y menores emisiones".

### Polonia:

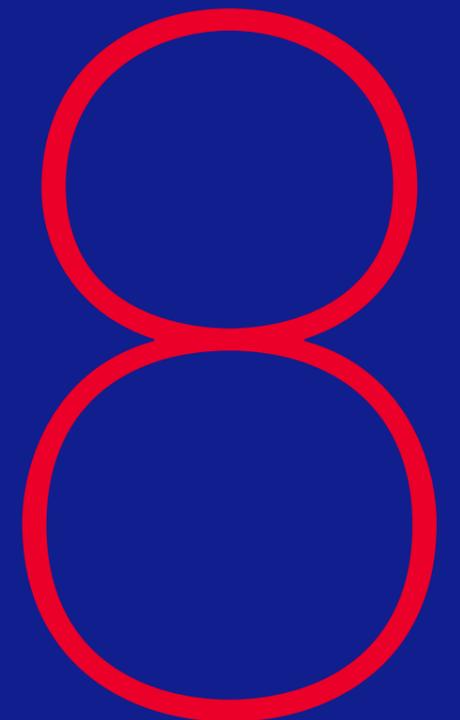
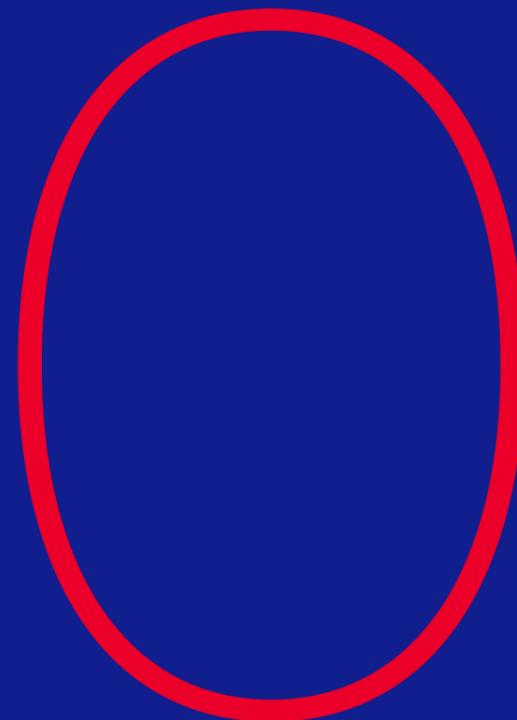
Desde 2010 se establece una permeabilidad máxima para los huecos en función de la altitud a la que se encuentre la edificación, y se recomienda realizar ensayos de estanqueidad de los edificios al finalizar la fase de construcción, recomendando un valor de  $n_{50} = 3 \text{ l/h}$  para edificios con ventilación natural y de  $1,5 \text{ l/h}$  en edificios con ventilación mecánica o aire acondicionado.

### Suiza:

El estándar Minergie establece el ensayo como obligatorio para la obtención del reconocimiento Minergie-A y Minergie-P con un valor de  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Para la obtención del certificado Minergie el ensayo es opcional y el valor de  $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ .



Indicadores



## 08. Indicadores

Una vez se ha realizado el ensayo, se obtendrán diversas magnitudes, unas medidas y otras calculadas, bien por el software o por el técnico que ha realizado la prueba.

Para poder comparar la estanqueidad de diferentes edificios, se hace necesario el utilizar un indicador normalizado. Como se ha visto en apartados anteriores, diferentes países emplean distintos indicadores, aunque lo más común es que estos sean obtenidos para una diferencia de presión de 50 Pa, menos en el caso de Francia que lo hace a 4Pa.

Las magnitudes de salida que nos proporciona el software de la Blower Door pueden diferir en función del estándar o norma bajo el que se realice el ensayo, pero de manera general y siguiendo el procedimiento indicado en la Norma UNE EN 13829, obtendremos las siguientes magnitudes:

## V<sub>50</sub>

Relación de aire filtrado, con una presión de 50 Pa en m<sup>3</sup>/h; por sí mismo este dato no nos aporta una referencia clara al nivel de permeabilidad al aire del edificio. Para que sea comparable a otros resultados es preciso relacionarlo con datos propios de cada edificio como volumen, superficie de envolvente térmica y superficie en planta.

## n<sub>50</sub>

Relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa en h<sup>-1</sup>; se trata de una magnitud calculada y es la que emplearemos como punto de partida para los cálculos de pérdidas de energía en los casos de estudio. Su cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V}$$

- Siendo V el volumen en m<sup>3</sup> del espacio interno de una construcción, es decir, la superficie útil por la altura libre.

## q<sub>50</sub>

Permeabilidad al aire con una presión de 50 Pa en m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>, se trata de un caudal por superficie de envolvente térmica y se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E}$$

- Siendo A<sub>E</sub> la superficie de envolvente, es decir, superficie de suelo, techo y paredes que delimita el volumen interior objeto del ensayo.

## W<sub>50</sub>

Relación de aire filtrado específico con una presión de 50 Pa en m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> y se calcula según la siguiente ecuación:

$$W_{50} = \frac{V_{50}}{A_F}$$

- Donde A<sub>F</sub> es la superficie útil de suelo.

En los casos en estudio se mostrarán estos indicadores para diversas tipologías de edificios, partiendo de los resultados del ensayo de Blower Door de cada uno y calculando los indicadores anteriores.

## ELA

Área equivalente de fuga. Es la superficie de un orificio en el que se concentran todas las fugas del edificio, en m<sup>2</sup>.

$$ELA = \frac{V_{50}}{\sqrt{\frac{2Pr}{\rho}}}$$

Donde:

- V<sub>50</sub> es el caudal a través de la envolvente para una diferencia de presión de 50 Pa en m<sup>3</sup>/s.
- Pr es la presión de referencia en Pa.
- ρ es la densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>.

## n

Tasa de renovación de aire natural en h<sup>-1</sup>; se puede calcular de diversas formas en función de la norma de referencia que se utilice, en esta publicación se calcula según lo establecido por la Norma UNE-EN-ISO 13789, siendo el valor de n igual al de n<sub>50</sub> entre 20.

## NL

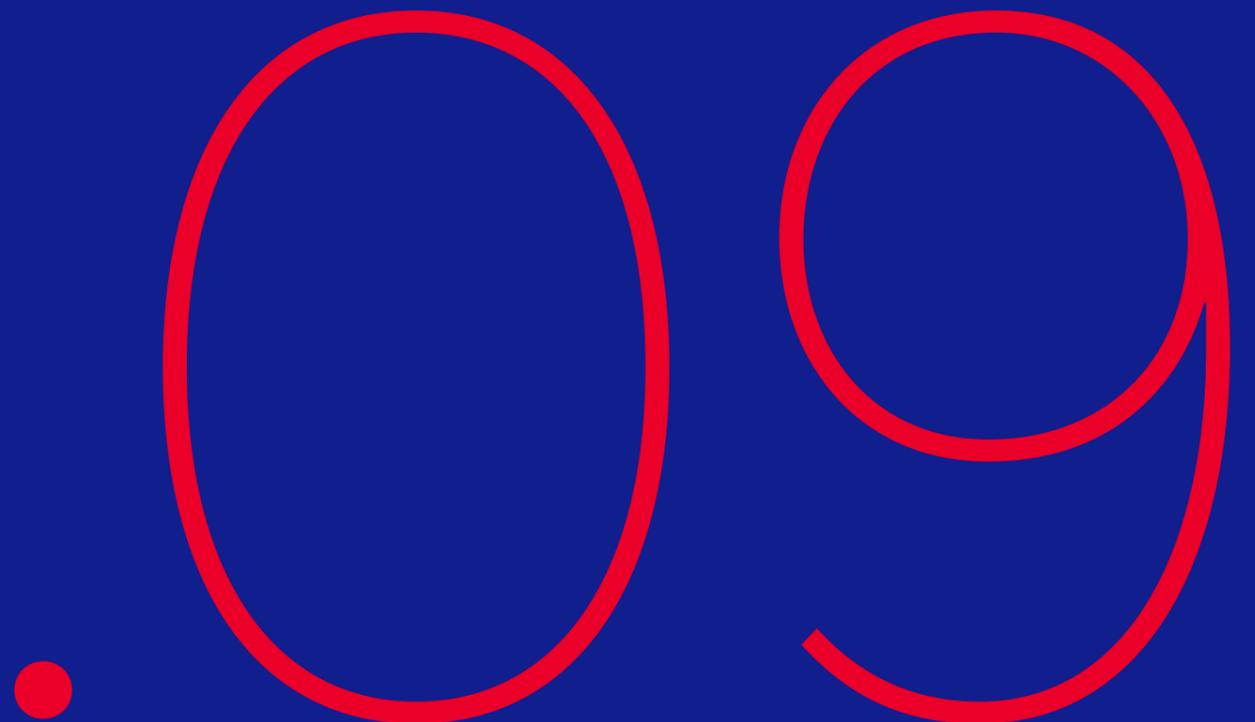
Fugas normalizadas. Se trata de otra forma de calcular las fugas en función de la superficie del edificio, se trata de un valor adimensional que se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$NL = \frac{ELA}{A_F} \times \left( \frac{H}{2.5} \right)^{0.3}$$

Donde:

- ELA es el área equivalente de fuga en m<sup>2</sup>.
- A<sub>F</sub> es la superficie de suelo en m<sup>2</sup>.
- H es la altura del edificio en m.

# Procedimiento de medición



## 09. Procedimiento de medición

La precisión de este procedimiento de medición durante la realización del ensayo Blower Door es muy dependiente de la instrumentación y de los aparatos utilizados, así como de las condiciones ambientales bajo las que se realiza el ensayo.

Además, en función del estándar a emplear, se realizarán las medidas del volumen del recinto a ensayar siguiendo las directrices indicadas, pues en todos los estándares son exactamente las mismas.

Así la ATTMA (Air Tightness Testing and Measurement Association), no sigue los mismos criterios que Passivhaus u otras. En función de la finalidad del ensayo o tipo de certificación, se deberá comprobar el sistema de cálculo de superficies y volúmenes a introducir en el software del equipo.

## 9.1. Dimensiones del edificio

Sea cual sea el objetivo que se persiga con la realización de un test de estanqueidad, se hace necesario calcular el volumen de referencia de la construcción para introducirlo en el software del equipamiento y poder obtener resultados concretos para cada recinto ensayado.

En función del tipo de certificación que se persiga se calculará el volumen de diferente manera.

En el caso de realizar un ensayo para la obtención de una certificación Passivhaus, se persigue el indicador  $n_{50}$ , que se determina mediante el caudal volumétrico en  $m^3/h$  ( $Q_{50}$  para ATTMA) requerido para mantener una diferencia de presión de 50 Pa ( $V_{50}$ ) dividido por el volumen interior climatizado de la envolvente ( $Vn_{50}$ ).

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{Vn_{50}}$$

Cuando se pretenda realizar un ensayo de estanqueidad según la Norma UNE 13829, el volumen  $Vn_{50}$  será el volumen correspondiente a los espacios acondicionados del edificio, es decir, es la superficie útil de los espacios acondicionados por su altura libre correspondiente.

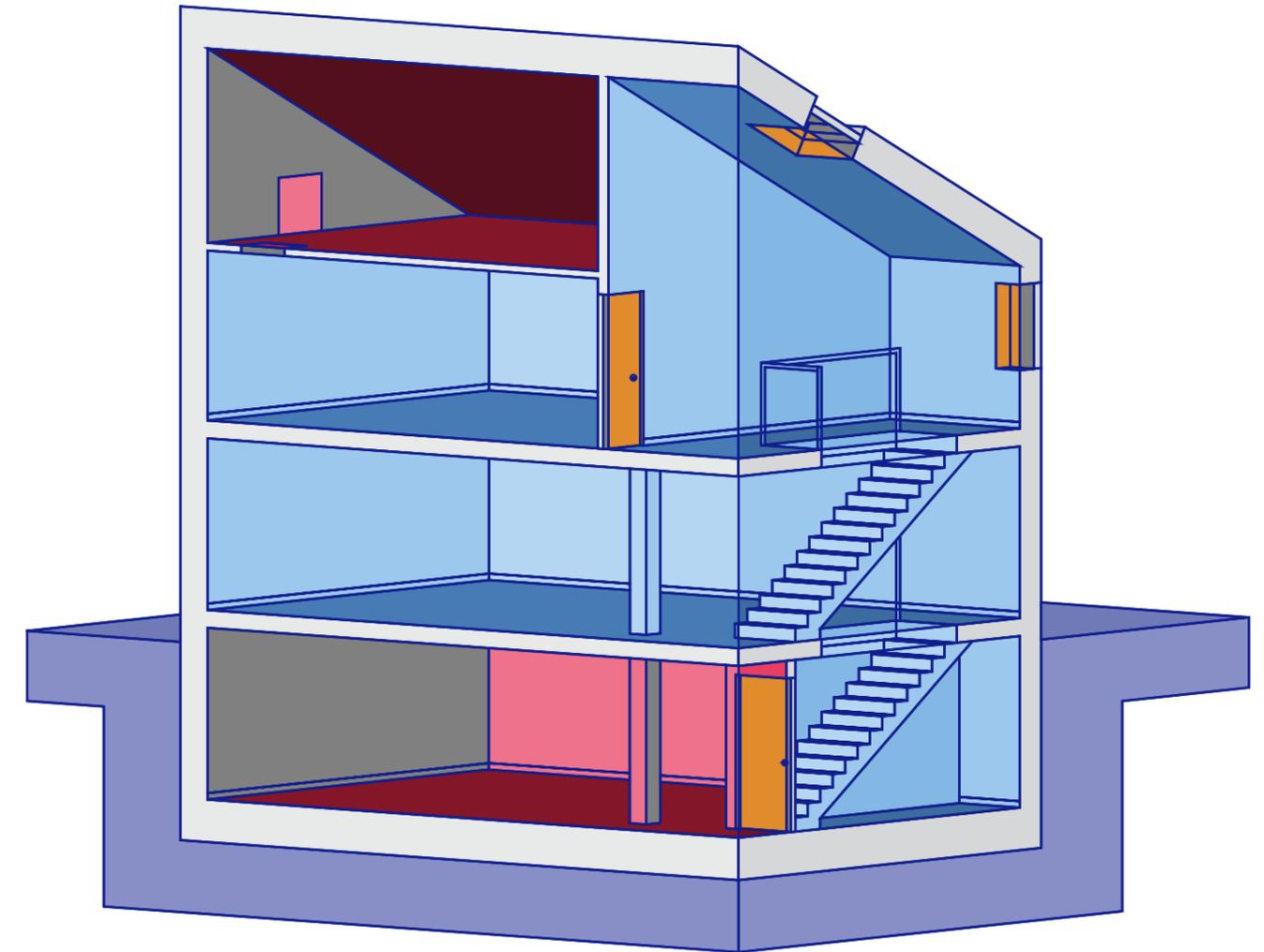
En Reino Unido (ATTMA), el cálculo de este volumen se realiza de forma distinta, pues tiene en cuenta el volumen hasta la barrera de hermeticidad que, en función de donde se haya ejecutado, podría encontrarse en el interior de los paramentos de la envolvente.

De manera general, se deben aplicar coeficientes reductores a espacios como huecos de escalera, recintos bajo cubierta inclinada, entre otros, que pueden encontrar en las directrices de cada estándar.

El área AE de la envolvente del edificio o parte del mismo, que ha de ser medida, es el área total de todos los suelos, paredes y techos que bordean al volumen interior objeto del ensayo. Esto incluye paredes y suelos por debajo de la cota cero.

El conjunto de estas dimensiones internas, debe de ser usado para calcular el área. No se deberá restar al área, la unión de paredes internas, suelos y techos con paredes, suelos y techos exteriores.

Si se pretende calcular el área de envolvente de una fila de adosados, por ejemplo, se incluirán las áreas ocupadas por medianeras. El área de la envolvente de un apartamento, en un conjunto de un edificio de viviendas incluirá los suelos, paredes y techos que comunican con los apartamentos adyacentes. El área neta del suelo es el área total del suelo de todo el recinto sujeto al ensayo.



Esquema de medición del volumen útil y de la superficie útil de la envolvente.

## 9.2. Recintos a ensayar

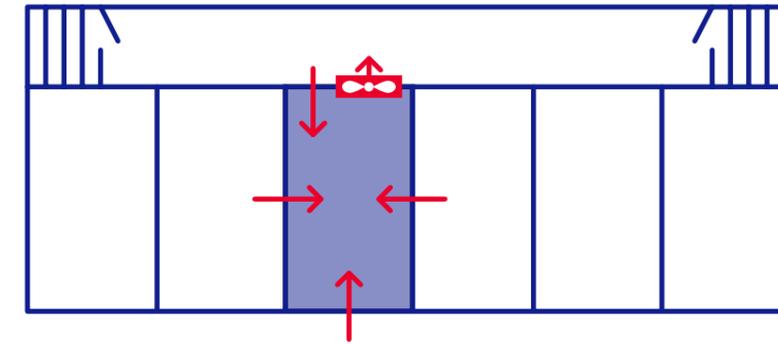
La extensión del edificio o parte del mismo objeto de la medición deberá definirse tal como se muestra a continuación:

- Normalmente la parte del edificio medida incluye todas las dependencias acondicionadas térmicamente.
- En casos especiales, la extensión de la parte del edificio a ensayar, puede ser definida de acuerdo con el cliente, en función de las necesidades del mismo.
- Cuando se pretenda realizar una medición siguiendo un estándar que no especifica cómo realizar las mediciones, el ensayo se limitará a las zonas acondicionadas.

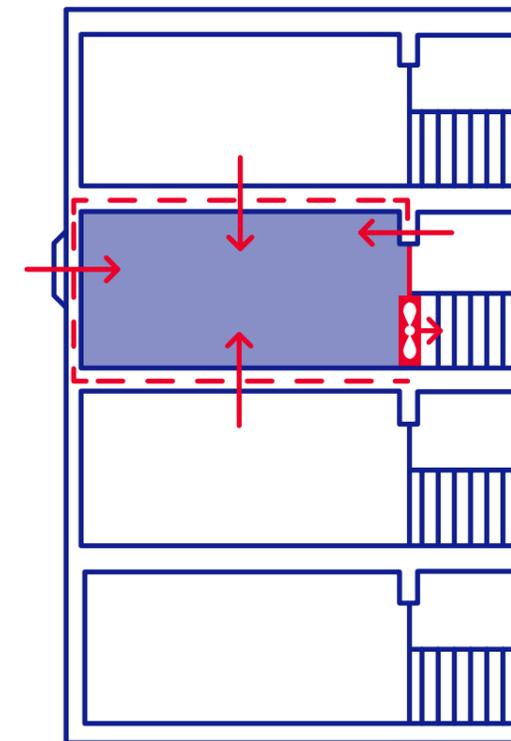
Ensayo de una zona aislada en el interior de un edificio.

- Se pueden ensayar zonas de edificios por separado, tales como pisos individuales, viviendas adosadas por separado o habitaciones. De cualquier forma, en la interpretación de los resultados se debe considerar que el aire filtrado medido de esta manera, debe incluir el flujo de filtrado a través de las partes adyacentes del edificio.

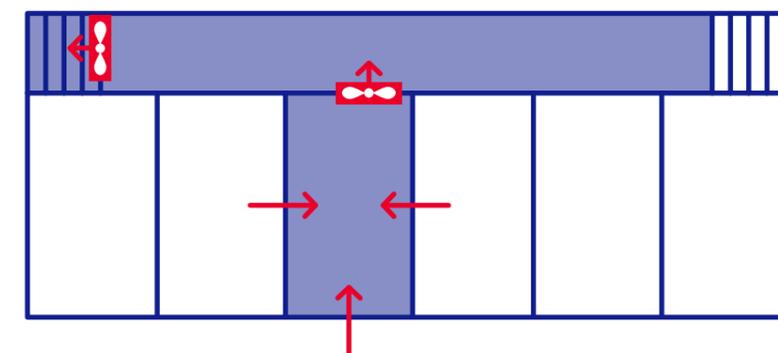
Es posible que un edificio de apartamentos comparta los requisitos de hermeticidad al aire, pero uno o más apartamentos individuales no tienen por qué hacerlo. Se recomienda la medición de las presiones inducidas en espacios contiguos, tales como la planta baja cubierta o los sótanos o apartamentos adyacentes.



Ensayo de un apartamento dentro de un bloque de viviendas.



Ensayo de un apartamento dentro de un bloque de viviendas.



Ensayo de un piso incluyendo zonas comunes.

Fase de  
medición

10

## 10. Fase de medición

El ensayo de estanqueidad se tiene que realizar, como no puede ser de otra manera, cuando el edificio dispone de todos los paramentos ejecutados y, en caso de disponer de una capa de estanqueidad, cuando ésta ya se ha realizado. Se recomienda realizar dos ensayos para garantizar que el edificio en fase de construcción disponga del grado de permeabilidad al aire deseado. Uno antes de ejecutar los acabados de la obra, para detectar los vicios ocultos que puedan existir y otro al finalizar la misma para comprobar que el nivel de hermeticidad se encuentra por debajo del límite establecido en el proyecto. El primer test, de detección de defectos constructivos, permitirá tomar las medidas correctoras necesarias para que en el segundo test se obtenga el valor de tasa de renovación de aire perseguido.

### 10.1. Condiciones meteorológicas

Ya se ha indicado que, de manera general, se debería evitar la realización del ensayo si la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior es muy elevada y a partir de cierta velocidad del viento. A continuación se muestran los límites de realización.

- Si el producto de la diferencia de temperatura del aire del interior/exterior  $\Delta T$ , en K, multiplicado por la altura de la envolvente del edificio, en m, da un resultado mayor que 500 mK no es probable que se obtenga una diferencia de flujo que sea satisfactoria.
- Si la velocidad del viento meteorológico excede de 6 m/s o alcanza 3 en la escala de Beaufort, no es probable que se obtenga una diferencia de presión de flujo cero que sea satisfactoria.

NÚMERO DE BEAUFORT	NOMBRE	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
0	CALMA	Menos de 0,45
1	AIRE LIGERO	De 0,45 a 1,34
2	BRISA LIGERA	De 1,8 a 3,1
3	BRISA SUAVE	De 3,6 a 5,4
4	BRISA MODERADA	De 5,8 a 8
5	BRISA FRESCA	De 8,5 a 10,7
6	BRISA FUERTE	De 11,2 a 13,9
7	VENDAVAL MODERADO	De 14,3 a 17
8	VENDAVAL FUERTE	De 17,4 a 20,6

Escala Beaufort.

### 10.2. Preparación del ensayo

En función del tipo de ensayo que se pretenda realizar, la preparación del edificio será distinta, así podemos pensar en dos tipos de ensayo en función del propósito:

- Ensayo de un edificio en uso (método 1). Se pretende ensayar un edificio en las condiciones más parecidas posibles a las de uso habitual, por lo que se mantendrán las posibles aberturas que existan durante el régimen estacional, bien sea de calefacción o refrigeración.
- Ensayo de la envolvente del edificio (método 2). En este caso lo que se pretende es comprobar la calidad de la envolvente del edificio, por lo que cualquier abertura intencionada realizada en la envolvente del edificio, debe de ser cerrada o sellada, tales como rejillas, aireadores, chimeneas, entre otras. En relación a los componentes del edificio, se deberán cerrar todas las aberturas intencionadas del edificio al exterior o de las partes del mismo que deban ser ensayadas, esto es, ventanas, puertas, cortafuegos y otras.



Blower Door instalada.

Se debe preparar el edificio completo o parte del mismo como si se tratase de una única zona para proceder a su presurización. Todas las puertas de interconexión (excepto las correspondientes a cuartos de vestuarios y lavabos, que deberán permanecer cerradas) en la parte del edificio que debe de ser ensayada deben encontrarse abiertas, de tal manera que se mantenga una presión uniforme con un rango menor del 10% de la diferencia de presión del interior/exterior medida.

Se realizarán observaciones generales del acondicionamiento de la construcción. Se tomarán notas de las ventanas, puertas, cerramientos opacos, techo y suelo, posición de las aberturas ajustables y cualquier sellado aplicado a aberturas intencionadas, de forma que dispongamos de información para analizar los posibles resultados.

En el caso de que el sistema de calefacción sea por aire, la admisión de aire exterior del mismo ha de ser desconectada.

Se deben limpiar de cenizas y restos de productos de combustión las chimeneas de leña y se desconectarán del sistema de ventilación forzada en el caso de disponer de este tipo de sistema.

Se sellarán las unidades terminales del sistema de ventilación o aire acondicionado. Otras aberturas de ventilación (por ejemplo aberturas para ventilación natural) deben ser cerradas para los propósitos del método 1) y selladas para el método 2).

Se pondrán los medios para evitar daños debidos a los gases de escape procedentes de los sistemas de calefacción y así evitar que en el ensayo en depresión se puedan aspirar hacia la zona ensayada los gases de combustión de equipos térmicos de otros edificios o de viviendas adyacentes.

La instalación del equipo de movimiento del aire para el ensayo se realizará en una ventana, puerta o abertura de ventilación ase-

gurándose que las uniones entre el equipo y el edificio se encuentren bien selladas para evitar cualquier fuga.

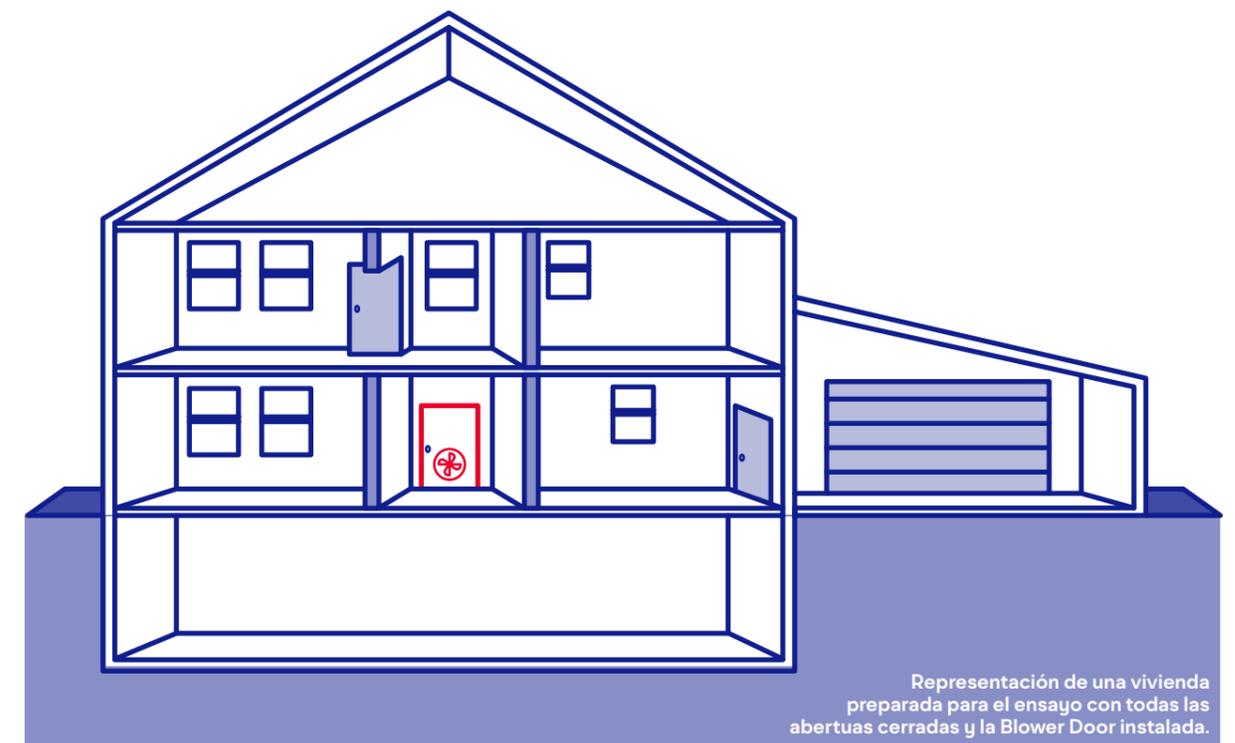
Se hace notar que en un edificio cerrado, es posible que el paso del aire por las puertas, ventanas o sistemas de ventilación utilizados durante el ensayo, pueda producir las mayores fugas. Se deberá tener cuidado en ese caso, con respecto a la selección de la posición del equipo de movimiento de aire y/o la interpretación de los resultados del ensayo.

Con el manómetro diferencial se mide la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio, siendo un punto habitual de medida el situado en el nivel de la planta más baja de la envolvente del edificio que se ensaya, por lo que el tubo de toma de presión externa se tenderá a unos metros de la puerta en la que se instale el equipo.

En edificios altos, es recomendable medir también la diferencia de presión en el nivel de la planta superior de la envolvente del edificio que se estudia. Es muy recomendable instalar la Blower Door, siempre que sea posible, en una puerta de acceso a terraza.

Se debe prestar especial atención a la comprobación de que en el interior y el exterior, las caídas de presión no son influenciadas por el equipo de movimiento de aire. La toma exterior de presión, deberá estar protegida de los efectos de la presión dinámica, por ejemplo, fijando una tubería en forma de T o conectándola a una caja perforada. Especialmente en condiciones de viento, se considera una buena práctica el situar la toma exterior de presión, a una cierta distancia del edificio, pero nunca cerca de otros obstáculos remotos.

Los tubos de presión, no deberán estar alineados verticalmente. Se debe evitar que la tubería esté expuesta a grandes diferencias de temperatura, como puede ser el caso de exponerla a la radiación solar.



### 10.3. Procedimiento

En primer lugar se deberá controlar la envolvente total del edificio, empleando la mayor diferencia de presión que se va a utilizar durante el ensayo, para localizar grandes filtraciones y fallos en las aberturas temporalmente selladas. Si tales filtraciones son detectadas, se deberán tomar notas e incluso realizar fotografías.

En el caso de detección de fallo o deficiencia de cualquier sellado temporal, por ejemplo, componentes del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, deben ser reparados de inmediato. Controlar que las canalizaciones de instalaciones que atraviesen la envolvente, tales como sistemas de tuberías, se encuentran llenos o sellados.

Comprobar que las condiciones de temperaturas interior y exterior no superan el límite explicado en epígrafes precedentes y registrar dichas temperaturas.

Existen tablas de corrección en caso de sobrepasar los límites de medición establecidos para la fuerza del viento.

Sobre los manómetros, se deberá cortocircuitar el mecanismo de medida de presión y controlar o ajustar la lectura a cero. O dicho de otra forma, se tapaná el ventilador para comenzar la lectura con diferencia de presión cero.

Una vez conectado el manómetro diferencial y cubierta temporalmente la abertura del ventilador, observar y registrar la media de los valores positivos para el flujo cero, con una diferencia de presión  $\Delta p_{01+}$ , para un período de por lo menos 30 segundos. Observar y registrar la media de los valores negativos con flujo cero y una diferencia de presión  $\Delta p_{01-}$  para un periodo de por lo menos 30 segundos. Si cualquiera de estos valores medios con flujo cero tiene una diferencia de presión mayor a 5 Pa, no realizar el ensayo. Observar y registrar la media de todos los valores con flujo cero y diferencia de presión  $\Delta p_{01}$ , durante un periodo de al menos 30 segundos.

Se debe repetir este mismo proceso al final del ensayo (para obtener  $\Delta p_{02+}$ ,  $\Delta p_{02-}$  y  $\Delta p_{02}$ ). Si cualquiera de las lecturas positivas o negativas de las diferencias de presión con flujo cero (lecturas realizadas después del ensayo) es mayor de 5 Pa el ensayo se declarará no válido. Al producirse este fallo para encontrar las condiciones requeridas, deberá reflejarse el mismo en el informe del ensayo.

### 10.4. Secuencia de la diferencia de presión

Esta secuencia debe comenzar descubriendo y arrancando el ventilador. El ensayo se lleva a cabo tomando mediciones de la tasa del flujo de aire y las diferencias de presión del interior/exterior sobre el rango de las diferencias de presión aplicada con incrementos no mayores de 10 Pa. La diferencia de presión mínima debe de ser de 10 Pa o cinco veces la diferencia de presión con flujo cero (mayor que la media positiva y negativa) que siempre es mayor. La diferencia de presión más alta que ha sido ensayada dependerá de las dimensiones del edificio, de acuerdo con a) y b).

#### a) Viviendas individuales y otros edificios pequeños

La diferencia de presión más alta debe de ser por lo menos de 50 Pa, pero se recomienda que las lecturas sean tomadas en diferencias de presión de hasta  $\pm 100$  Pa, para una mayor precisión en los resultados.

#### b) Edificios de gran tamaño

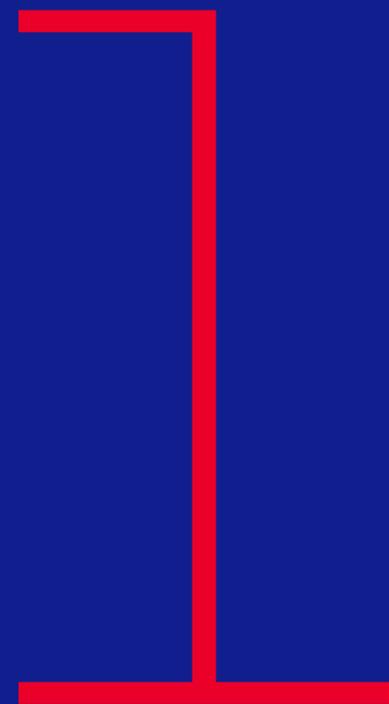
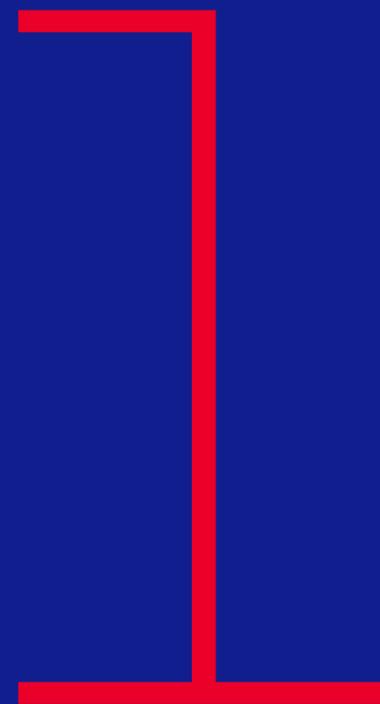
Se entiende por edificios grandes aquéllos en que su volumen calculado excede los 4.000 m<sup>3</sup>.

Debido a las grandes dimensiones de algunos edificios, no es viable la realización del ensayo con equipos móviles para alcanzar la diferencia de presión de 50 Pa. En estas situaciones es frecuente emplear, para incrementar la capacidad total, los sistemas de movimiento de aire propios del edificio. Al realizar un test, la opción más recomendable es la de realizar dos conjuntos de medición, uno de presurización y otro de despresurización. También es válida la realización de uno de los dos conjuntos, siendo el número mínimo de presiones inducidas a alcanzar de 7. En los ensayos realizados se han procurado alcanzar estas 7 presiones inducidas aunque en alguno de ellos se han alcanzado sólo 5.

Es más preciso tomar los datos con unas diferencias de presión altas que con las más bajas. Por lo tanto, se deberá tener especial cuidado cuando las mediciones son tomadas con diferencias de presión bajas.

Se comprobará que la condición de la envolvente del edificio, no ha cambiado durante cada ensayo, por ejemplo que el sellado de aberturas no se ha roto, o las puertas, ventanas o reguladores, no han sido forzados y abiertos por la presión inducida.

Equipos  
auxiliares



# 11. Equipos auxiliares

El ensayo Blower Door, nos proporciona toda la información necesaria para la realización de un informe técnico de acuerdo con las principales normas o estándares, pues nos ofrece los valores de caudal de aire necesario para mantener la presión diferencial de 50 Pa así como la tasa de cambio de aire  $n_{50}$ . Pero en ocasiones se requiere de algún sistema que combinado con el ensayo Blower Door nos permita observar las fugas de aire que se están provocando por medio del test. Existen principalmente dos vías para poder visualizar las fugas de aire en combinación con el ensayo, estas pasan por el empleo de una cámara termográfica o por la utilización de un generador de humo, que nos desvelarán el recorrido del aire durante el ensayo.

### Generadores de humo

Los generadores de humo son una herramienta muy útil para la detección de las fugas a través de la envolvente del edificio. Estos nebulizadores crean potentes nubes de niebla que encuentran su camino incluso a través del aislamiento, por lo que resulta más sencillo visualizar las vías de fuga que en ocasiones serían complejas de encontrar.

En el caso de combinarlo con un ensayo Blower Door a depresión, el humo puede ser generado en el exterior para detectar su entrada en caso de existencia de fugas. Al generar el humo en el interior y existir fugas, lo que se detectará es la expulsión del humo desde el origen de la fuga.



Aplicación de un generador de humo.



Generador de humo de Look Solutions.

### Cámara termográfica

Las cámaras termográficas por infrarrojos complementan el ensayo con la Blower Door. Son capaces de detectar y medir la radiación, a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies en estudio o de los elementos por los que fuga aire.

La diferencia de temperatura con el aire exterior se detecta fácilmente con una cámara termográfica, pero

si además ponemos el recinto en depresión con la Blower Door, el resultado de la termografía será mucho mejor.

En las siguientes imágenes se muestra la misma abertura de ventilación de un aseo en uno de los casos de estudio, antes y durante la realización del ensayo. La entrada de aire forzado del exterior, al realizar el ensayo a depresión es evidente.



Termografía a presión normal y termografía combinada con presurización.



Camara termográfica FLIR.

Redacción  
del informe  
técnico

12

## 12. Redacción del informe técnico

El informe correspondiente al ensayo de estanqueidad de un edificio o parte del mismo deberá contener todos los detalles necesarios para indicar el objeto del ensayo, edificio completo o permeabilidad al aire de la envolvente, según se vio en apartados anteriores.

Además se hará referencia a la norma o estándar de aplicación al ensayo, siendo normalmente la norma UNE-EN 13829, o cualquier desviación sobre ella.

Asimismo se describirán las partes del edificio sometidas a ensayo y datos del inmueble, superficie útil del mismo y volumen interior.

### Documentación de cálculo para posibilitar su verificación.

- Estado de todas las aberturas de la envolvente el edificio, adheridos, sellados, abiertos, etc.
- En caso de existir, descripción detallada de aberturas selladas temporalmente.
- Tipo de calefacción, ventilación y sistema de aire acondicionado.
- Descripción del equipo y procedimiento empleado para realizar el ensayo.

### Datos del ensayo:

- Diferencias de presión con flujo cero  $\Delta p_{0,1+}$ ,  $\Delta p_{0,1-}$ ,  $\Delta p_{0,2+}$ ,  $\Delta p_{0,2-}$ ,  $\Delta p_{0,1}$  y  $\Delta p_{0,2}$  para el ensayo de presurización y despresurización.
- Temperaturas en el interior y el exterior.
- Velocidad del viento y presión barométrica, si es parte del cálculo.
- Tabla de diferencias de presión inducida y tasas del flujo del aire correspondientes.
- Gráfico del aire filtrado.
- Coeficiente  $C_{env}$ , de flujo de aire, exponente  $n$  del flujo de aire y el coeficiente  $C_{env}$ , de flujo de aire, exponente  $n$  del flujo de aire y el coeficiente  $C_L$  correspondiente al aire filtrado para ensayos de presurización, despresurización.
- Tasa de cambio de aire,  $n_{50}$  a 50 Pa, para presurización/despresurización y valor medio.
- Cantidad derivada de acuerdo con la regulación nacional.
- Fecha del ensayo.

## Informe de permeabilidad al aire

Según la Norma Europea EN13829 – Unión Europea

### 1. RESUMEN DEL ENSAYO DE DESPRESURIZACIÓN

#### Datos del edificio y del Test

Nombre del archivo:	<b>ULaboral</b>
Cliente:	<b>IES Universidade Laboral</b>
Dirección:	<b>Salvador Allende S/N</b>
Realizado por:	<b>JLVO</b>
Fecha:	<b>2015-06-22</b>
Volumen del edificio:	<b>415 m<sup>3</sup></b>
Altura total del edificio:	<b>15 m</b>
Superficie útil:	<b>355 m<sup>2</sup></b>
Superficie de envolvente:	<b>450 m<sup>2</sup></b>
Exposición al viento:	<b>Edificio parcialmente protegido</b>
Precisión de las mediciones:	<b>5%</b>
Sistema HVAC/Ventilación:	<b>Caldera-radiadores/Natural</b>

#### Resultados

Caudal a 50 Pa, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>874,5</b>
Renovaciones de aire a 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>2,105</b>
Permeabilidad al aire a 50 Pa, $q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	<b>1,943</b>
Fugas específicas a 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	<b>2,463</b>

#### Datos de pruebas combinadas

	Resultados	Intervalo de confianza de 95%		Incertidumbre
<b>Caudal a 50 Pa, <math>V_{50}</math> [m<sup>3</sup>/h]</b>	874,5	867,0	882,0	+/-0,9%
<b>Renovaciones de aire a 50 Pa, <math>n_{50}</math> [/h]</b>	2,105	2,000	2,215	+/-5,1%
<b>Permeabilidad al aire a 50 Pa, <math>q_{50}</math> [m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>]</b>	1,943	1,845	2,042	+/-5,1%
<b>Fugas específicas a 50 Pa, <math>w_{50}</math> [m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>]</b>	2,463	2,338	2,588	+/-5,1%

## 2. DATOS DEL TEST

### Conjunto de datos despresurización

Fecha y hora: 2015-06-22.

Hora de comienzo: 18:27.

Hora de finalización: 18:37.

### Condiciones ambientales

Velocidad del viento: 0 Calmo.

Situación del operario: En el interior.

Temperatura inicial: Interior: 24,3° C Exterior: 22,6° C.

Temperatura final: Interior: 20,0° C Exterior: 20,0° C.

Presión barométrica 101,3 kPa.

### Datos del test

8 registros de presiones parciales durante 15 segundos cada uno.

7 presiones inducidas durante 10 segundos cada una.

### Resultados del ensayo de despresurización

Correlación, r [%]	99,97	Media	95% confianza	
			Baja	Alta
Pendiente, n		0,58950	0,57319	0,60581
Coefficiente de fugas, $C_{env}$ [m <sup>3</sup> /h/Pa <sup>n</sup> ]		87,286	82,18	92,71
Coefficiente de fugas, $C_L$ [m <sup>3</sup> /h/Pa <sup>n</sup> ]		87,127	82,03	92,54

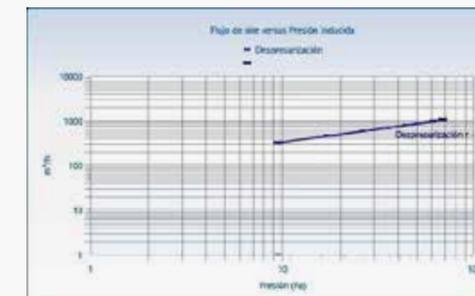
	Media	95% confianza		Incertidumbre
Caudal a 50 Pa, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	874,38	867,0	881,8	+/-0,8%
Renovaciones de aire a 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	2,107	2,000	2,214	+/-5,1%
Permeabilidad a 50 Pa, $q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	1,9431	1,845	2,042	+/-5,1%
Fugas específicas a 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	2,4630	2,3381	2,5879	+/-5,1%

### Media de presiones estáticas

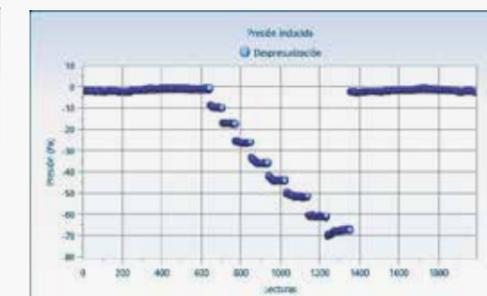
Inicial [Pa]	$\Delta P01$ -1,37	$\Delta P01-$ -1,37	$\Delta P01+$ 0,00
Final [Pa]	$\Delta P02$ -1,70	$\Delta P02-$ -1,70	$\Delta P02+$ 0,00

Línea base inicial [Pa]	-1,92	-1,97	-1,97	-1,23	-0,72	-0,72	-1,06
Línea base final [Pa]	-2,25	-2,02	-1,65	-1,23	-1,07	-1,64	-2,06

### Gráficos despresurización



Presión inducida vs. Caudal



Presiones inducidas

## 3. EQUIPOS

Para realizar el test se han empleado los siguientes equipos:

	Ventilador	Nº de serie	Manómetros	Nº de serie
#1	Retrotec 1000	Nº de serie	DM32	Nº de serie

Casos de  
estudio

13

## 13. Casos de estudio

Se han realizado dentro del proyecto APEIA, 15 ensayos de edificios o partes de los mismos.

El esquema de trabajo para cada uno de los casos de estudio ha sido el mismo, consistiendo en la medición de cada uno de los edificios o espacios a ensayar, superficie útil, volumen y superficie de envolvente de cada recinto.

A continuación se han realizado los ensayos Blower Door, para localizar las fugas de aire en primer lugar, bajo una diferencia de presión de alrededor de 80 Pa y según el protocolo de la UNE-EN 13829 a continuación.

Posteriormente se han calculado diversos indicadores para la valoración de las fugas de aire.

Los resultados obtenidos en los diferentes casos de estudio se presentan siguiendo el esquema que se expone a continuación:

### 13.1. Descripción del caso de estudio

Descripción del espacio a ensayar, condiciones para la realización del ensayo y descripción de los resultados.

Valoración del caso en estudio, indicando las deficiencias detectadas y la valoración de la hermeticidad del mismo de acuerdo a la clasificación de la ISO 13790.



### Datos generales

Datos necesarios para el desarrollo del ensayo, cálculo de superficie útil, superficie de envolvente, volumen. Asimismo se incluye un plano de planta del recinto a ensayar.

### Resultados ensayo

Resultados obtenidos con el software del equipo y a partir de los que se realizarán los cálculos energéticos. En este apartado se muestra para cada caso de estudio

$V_{50}$ ,  $n_{50}$ ,  $q_{50}$  y  $w_{50}$ .

### Presión inducida vs caudal

Gráfico, aportado por el software del equipo Blower Door, de la relación entre la presión inducida por el ventilador y el caudal, durante la realización del ensayo.

### Presiones diferenciales

Rango de presiones a las que ha sido realizado el ensayo. Este gráfico lo aporta el software de la Blower Door.

### Resultados calculados

Se calculan diferentes indicadores para cuantificar las infiltraciones de cada caso de estudio y hacer más clara su dimensión.

- $ELA_{50}$  es la superficie equivalente de fuga para una diferencia de presión de 50 Pa.
- $n$  es la tasa de renovación de aire por hora para una diferencia de presión natural, obtenida según el criterio establecido por la Norma EN13789, que indica que el caudal de renovación natural será el obtenido como  $n_{50}/20$ .
- $ELA_4$  es la superficie de fuga equivalente para una diferencia de presión de 4 Pa. Se trata de una diferencia de presión más próxima a la natural.
- Diámetro hace referencia al de una circunferencia cuya superficie sea  $ELA_4$ .

### Energía

Se ha calculado la energía que suponen las infiltraciones de estos casos de estudio, situándolos en A Coruña a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{\text{vinf}} = V \times n \times C_p \times G_t$$

Siendo:

- $Q_{\text{vinf}}$ : Pérdidas de energía por infiltración de aire en kWh/a
- $V$ : Volumen de aire en  $m^3$
- $n$ : tasa de renovación de aire  $h^{-1}$
- $C_p$ : Capacidad específica del aire  $0,33 \text{ Wh}/m^3K$
- $G_t$ : Grados día en invierno en A Coruña  $50 \text{ kWh/a}$

Los resultados obtenidos se mostrarán en una tabla, en la que además de la energía se muestra el coste energético que supondría esta demanda de energía con un equipo a gas natural, estimando el coste del mismo en  $0,057 \text{ €/kWh}$ .

### Escenario actual

Se traslada cada edificio objeto de ensayo a un escenario de edificio nuevo, bajo las prescripciones del CTE-HE1-2013 y se calcula la demanda límite para calefacción en  $kWh/m^2a$ . Se hace notar que todos los edificios se sitúan en la zona climática C1 a efectos de cálculo.

A partir de la demanda límite obtenida para cada edificio, se calcula el peso (%) que tendrían en la misma las pérdidas energéticas debidas a las infiltraciones de aire reales obtenidas en los ensayos.

### Caso de estudio vs nZEB

En este apartado se muestra una comparación cualitativa de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo ejecutado con una tasa de renovación de aire  $n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$ , tal como se haría siguiendo un estándar nZEB.

## 13.2. Casos de estudio

### Caso de estudio E001

Se trata de un piso bajo cubierta en un edificio de viviendas construido según la NBE-CT-79 y situado en una zona expuesta al viento.

El ensayo se ha realizado en la puerta de acceso a la terraza, la cual es corredera, con grandes infiltraciones.

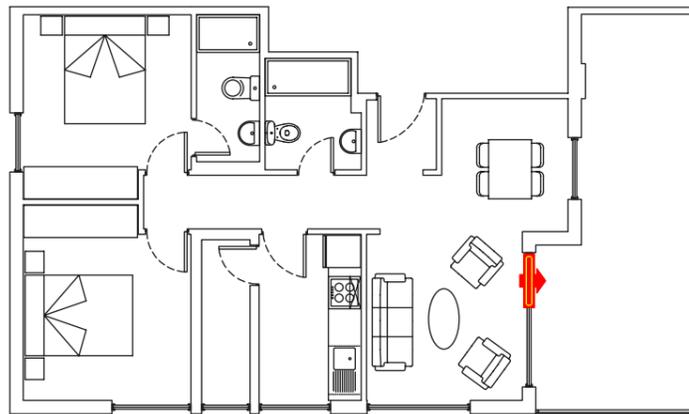
Esta vivienda dispone de un grado de hermeticidad muy bajo, debido a la existencia de infiltraciones en las cajas de persianas, orificios de ventilación de los baños y la puerta corredera. Se recomienda la mejora de la estanqueidad de esta vivienda, que pasaría por el cambio de la puerta de acceso a la terraza y el sellado de las cajas de persiana.

Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

#### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E001	Piso	Perillo	NBE-CT79

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
60,00	148,00	2,60	150,00

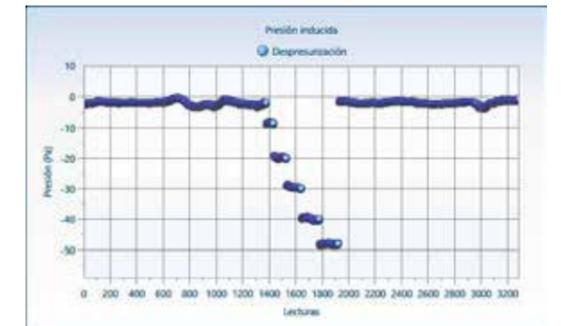
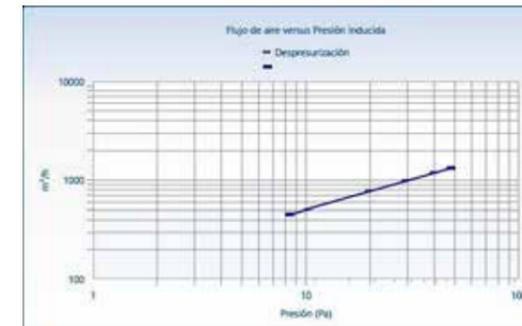


#### Resultados ensayo

Se obtiene una tasa de renovación de aire excesiva, debido en gran parte a la holgura del equipo Blower Door con la carpintería metálica.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
2.436,40	16,24	16,46	40,61

#### Gráficos del ensayo



#### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
741,37	0,81	2.621,15	57,77

#### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.009,70	33,50	114,55

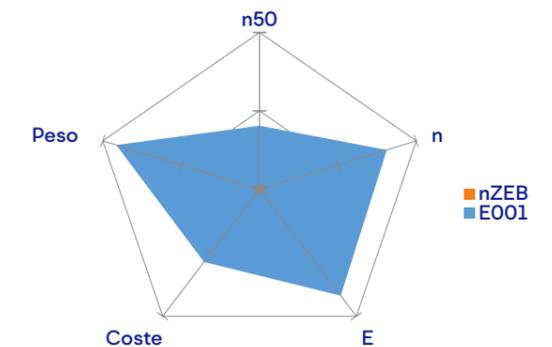
#### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
36,67	91,35

#### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E002

Esta vivienda unifamiliar situada en Oleiros dispone de sótano, planta baja y dos plantas sobre rasante. Se ha obtenido un nivel de hermeticidad alto.

Tan solo se detectan infiltraciones en los sistemas de ventilación de los cuartos húmedos, incluyendo la campana extractora.

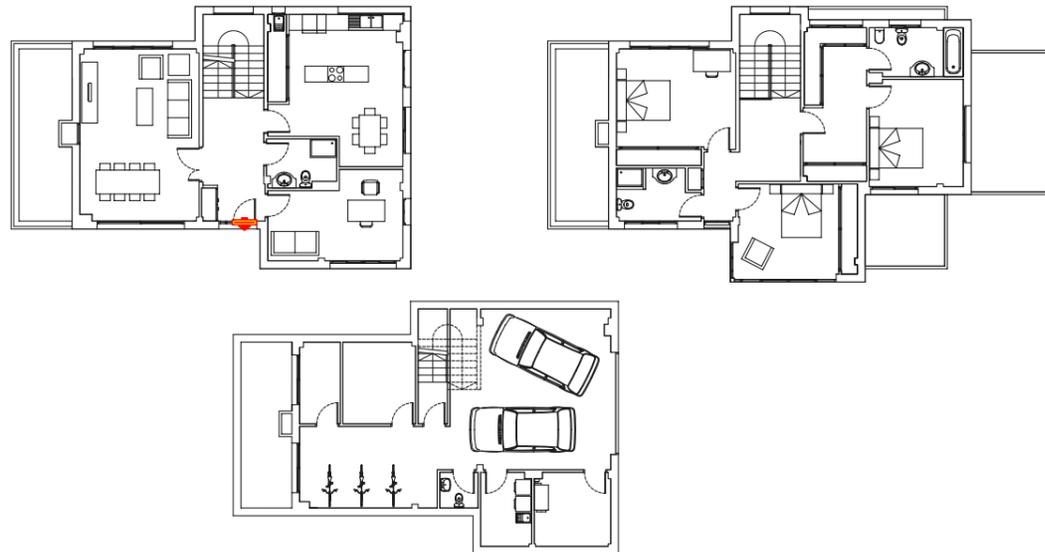
No hay recomendaciones de mejora.

Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E002	VU	Oleiros	CTE

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
281,00	665,00	2,50	902,00

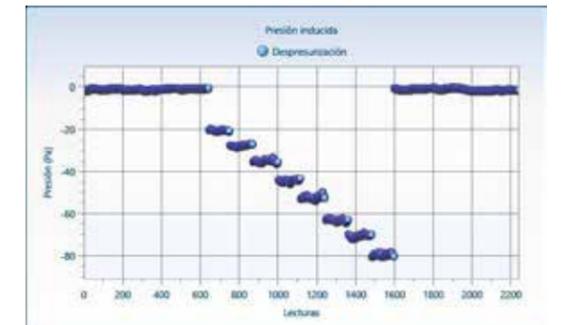
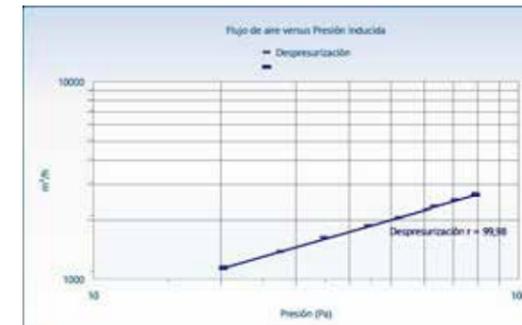


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
2.015,00	2,24	3,03	7,17

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
613,14	0,11	2.167,79	52,54

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
1.663,18	5,92	94,80

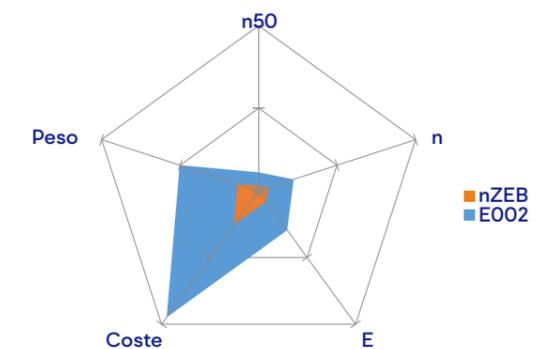
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
23,56	25,12

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



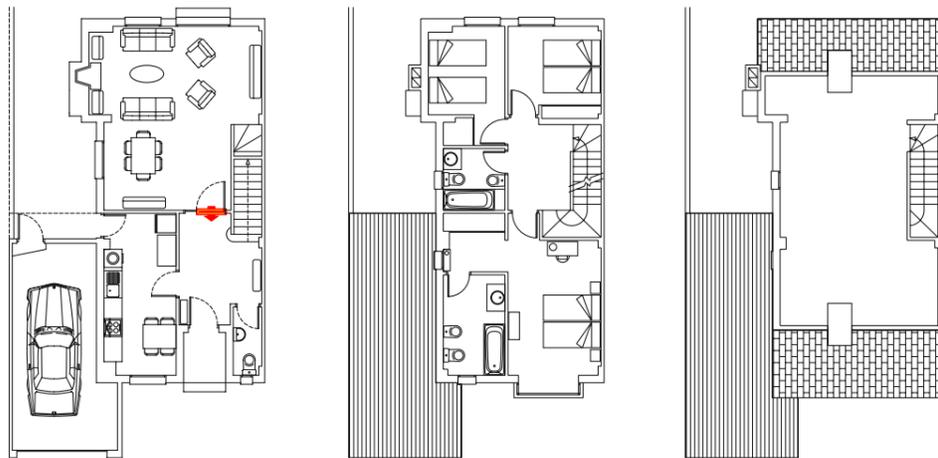
## Caso de estudio E003

Vivienda unifamiliar en Lamastelle, de planta baja, primera y una planta bajo cubierta. Se ha obtenido un nivel de hermeticidad alto.  
 Esta vivienda unifamiliar tiene un buen grado de estanqueidad en comparación con otras de la misma tipología y ejecutadas bajo la misma normativa, NBE-CT-79.  
 Las fugas detectadas en esta vivienda se encuentran en las aberturas de ventilación, que se encuentran permanentemente abiertas y en alguna ventana.  
 Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E003	VU	Lamastelle	NBE-CT-79

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
159,42	230,00	2,50	381,05

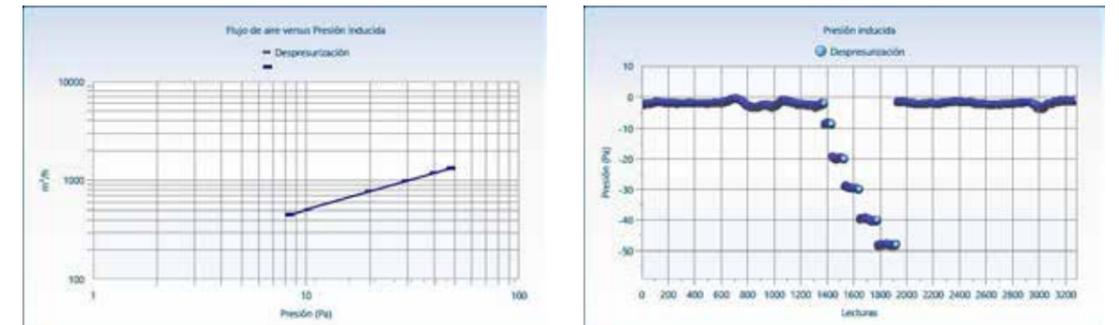


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
1.375,00	3,90	5,97	9,01

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
418,40	0,19	1.479,26	43,40

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
1.224,46	8,03	69,79

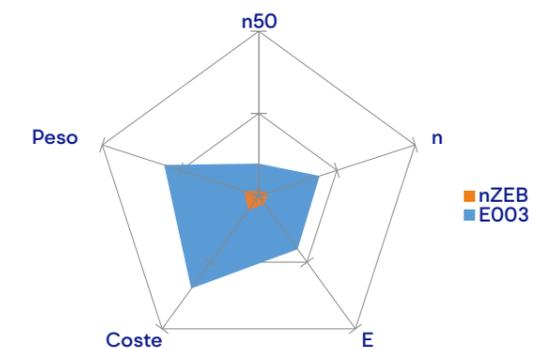
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
26,56	30,25

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E004

Vivienda unifamiliar de nueva construcción, de dos plantas y de materiales pesados. Se encuentra en una zona expuesta.

Las principales fugas detectadas en el ensayo de despresurización se encuentran en los pasos de instalaciones por las fachadas, por junquillos de ventanas, en los mecanismos eléctricos, puertas de acceso y cristalerías exteriores.

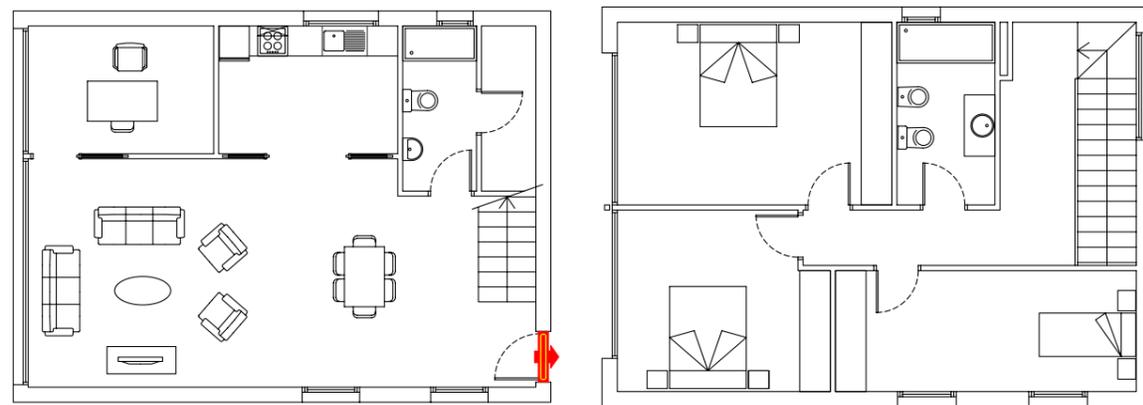
La tasa de renovación de aire obtenida en el ensayo es alto, por lo que no se hace ninguna recomendación de mejora.

Ensayo realizado por Albert Escofet de Apliter.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E004	VU	Gavá	CTE

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
129,00	246,90	2,60	360,50

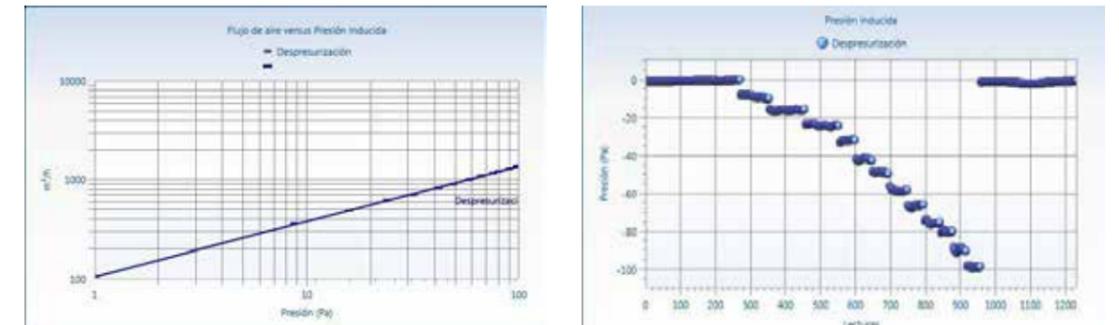


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
930,09	2,58	3,77	7,21

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
283,02	0,13	1.000,62	35,69

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
767,32	5,95	43,74

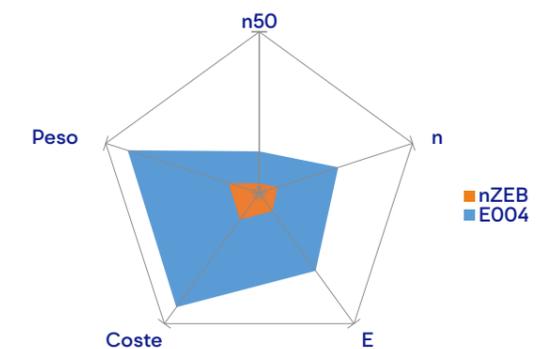
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
27,75	21,43

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E005

Se trata de una vivienda bioclimática demostrativa situada en una zona muy expuesta al viento.

La construcción es a base de entramado de madera y de una única planta.

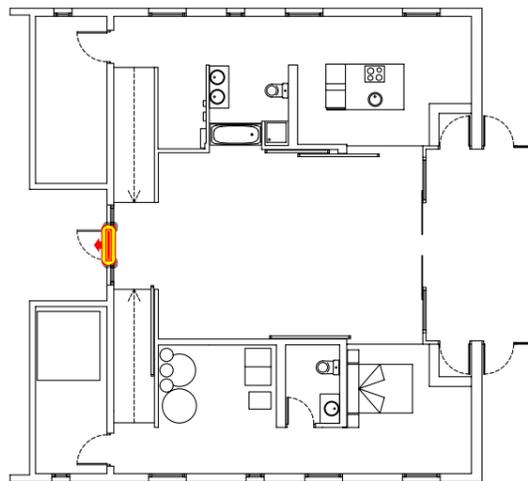
A pesar de tratarse de un tipo de construcción no hermético y en una zona expuesta, su nivel de hermeticidad es medio.

Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E005	VU	Sotavento	Bioclimático

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
240,00	460,00	3,00	960,00

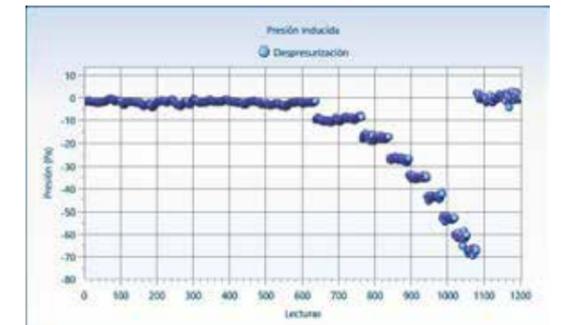
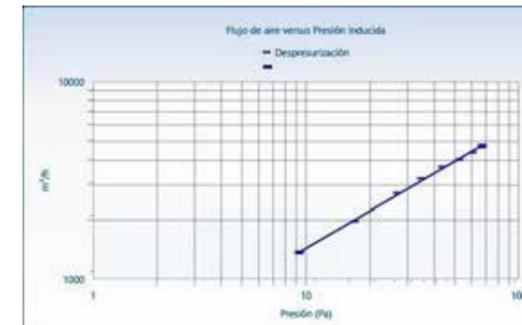


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad medio.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
3.960,00	4,13	8,61	16,49

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
1.204,99	0,21	4.260,28	73,65

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
3.267,00	13,61	186,22

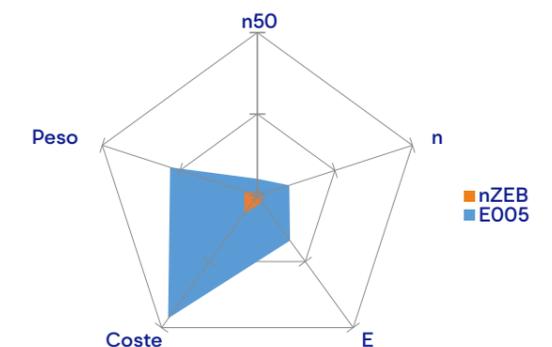
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
24,17	56,33

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



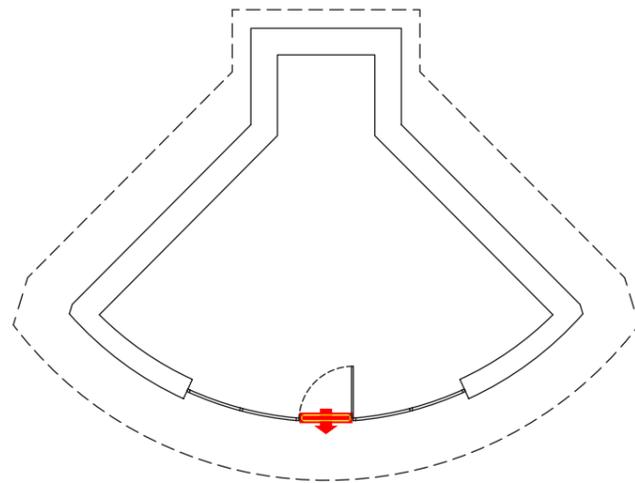
## Caso de estudio E006

A Vieira es un módulo bioclimático con estructura de madera y paramentos a base de paja y adobe. Se trata de una construcción de una única planta. El grado de hermeticidad de esta construcción es bajo. Parece que estaría bien dotarla de un grado de hermeticidad más alto cuando se instale el pozo canadiense que está previsto. Ensayo realizado por el equipo del Proyecto Apeia.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E006	VU	A Vieira	Bioclimático

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
27,70	147,50	5,00	96,90

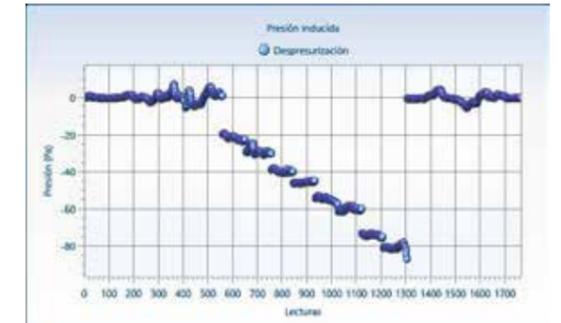
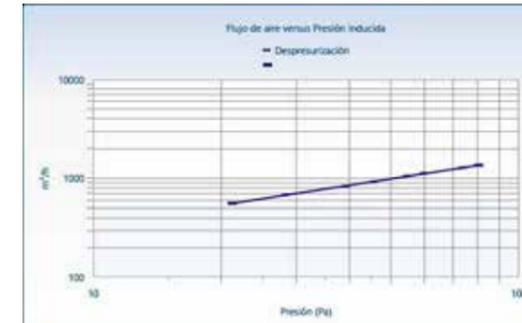


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad bajo.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
991,50	10,25	5,68	35,86

## Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
301,70	0,51	1.066,68	36,85

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
819,41	29,58	46,71

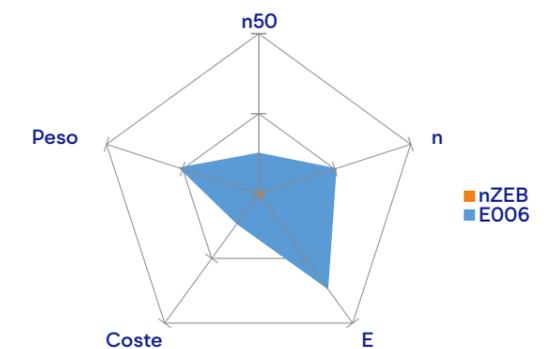
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
56,10	52,73

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E007

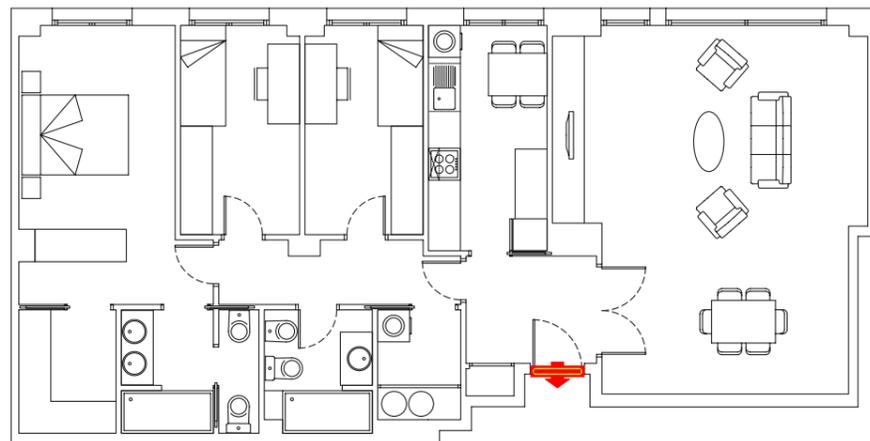
Piso en un bloque de viviendas con un cerramiento exterior y tres adiabáticos. Se ha obtenido un grado de hermeticidad medio, detectando infiltraciones en el contorno de la puerta de acceso, mecanismos eléctricos, algunas ventanas y sobre todo en las puertas correderas de acceso al balcón.

Ensayo realizado por Albert Escofet de Apliter.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E007	Piso	Hospitalet	CTE

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
106,00	133,00	2,60	278,00

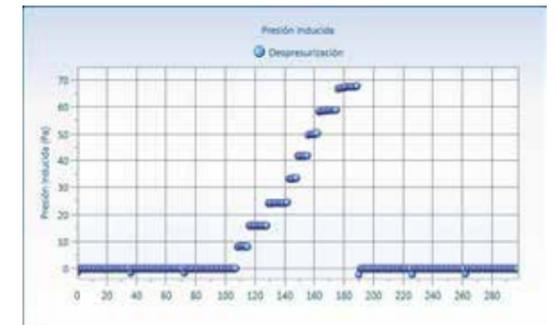
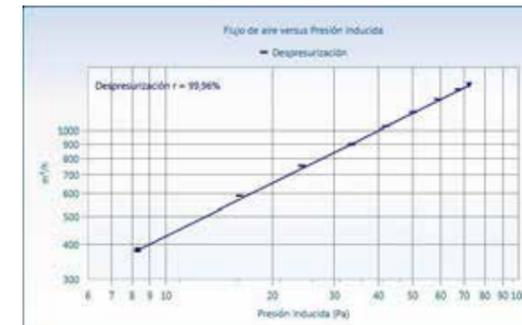


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad medio.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	l/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
1.155,00	4,16	8,69	10,90

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	l/h	cm <sup>2</sup>	cm
351,46	0,21	1.242,58	39,78

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
954,10	9,00	54,38

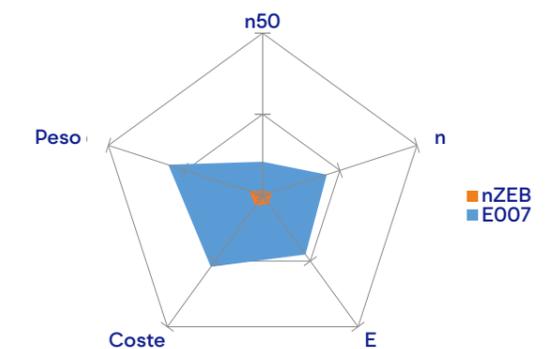
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
29,43	30,58

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



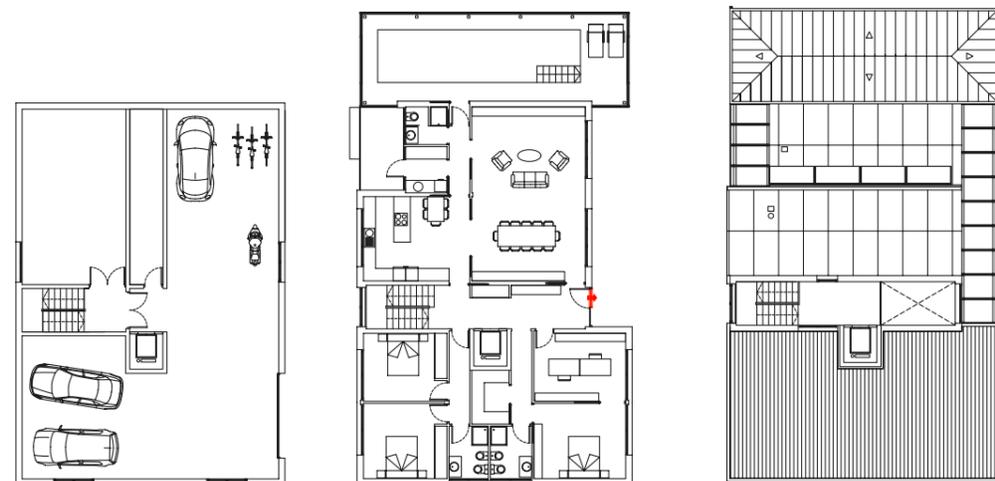
## Caso de estudio E008

Esta vivienda unifamiliar tiene unos acabados de gran calidad, pero en la misma se ha obtenido un grado de hermeticidad medio, debido a la existencia de grandes infiltraciones en las puertas de acceso, tanto en la planta principal como en el sótano. Se han detectado también infiltraciones en mecanismos eléctricos, sistema de ventilación de cuartos húmedos y en el contorno de alguna ventana. Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E008	VU	Canide	CTE

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
201,00	425,00	6,50	602,00

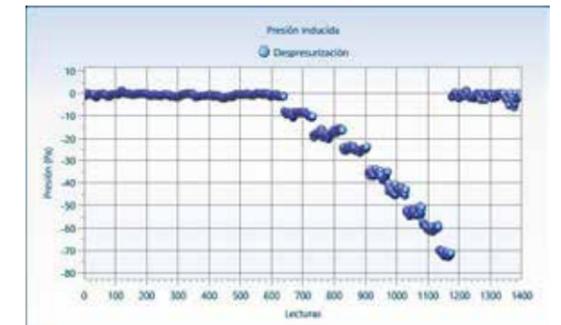
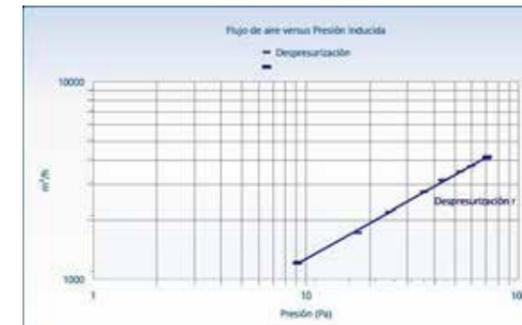


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad medio.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
3.370,00	5,59	7,93	16,77

## Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
1.025,46	0,28	3.625	67,94

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.776,27	13,81	158,25

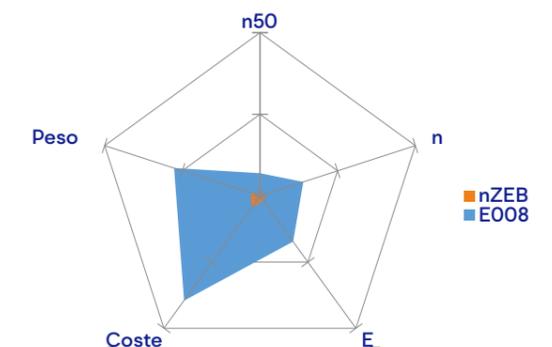
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
24,98	55,30

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E009

Dúplex de nueva construcción con un grado de hermeticidad alto, da un buen resultado de tasa de renovación de aire. Sólo se detectan fugas a través de los sistemas de ventilación de los cuartos húmedos y en la campana extractora de la cocina. Ensayo realizado por el equipo del Proyecto Apeia.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E009	Duplex	Montealto	CTE

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
355,00	450,00	2,50	887,50

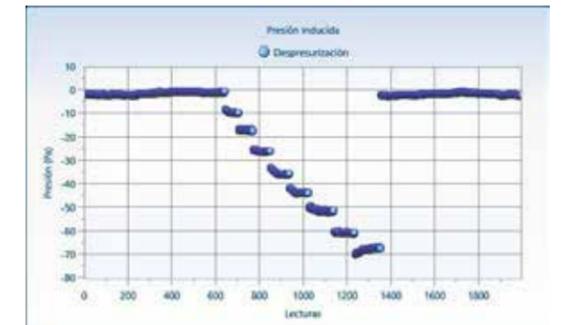
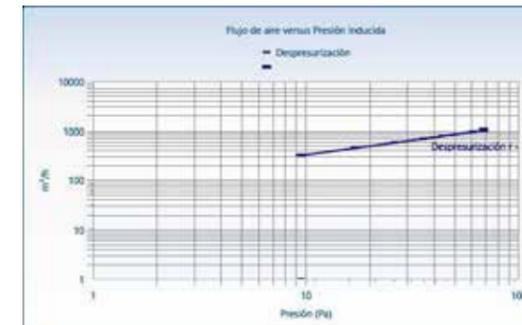


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
874,50	2,11	1,94	2,46

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
266	0,11	940,81	34,61

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
1.541,25	4,34	87,85

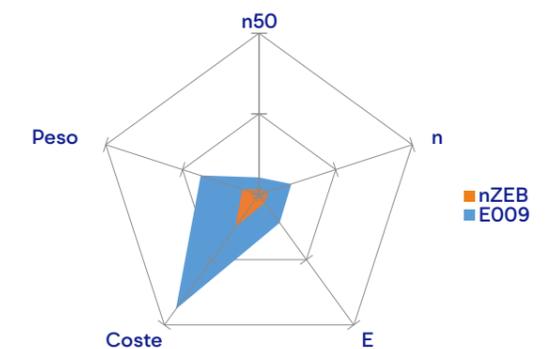
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
22,82	19,03

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



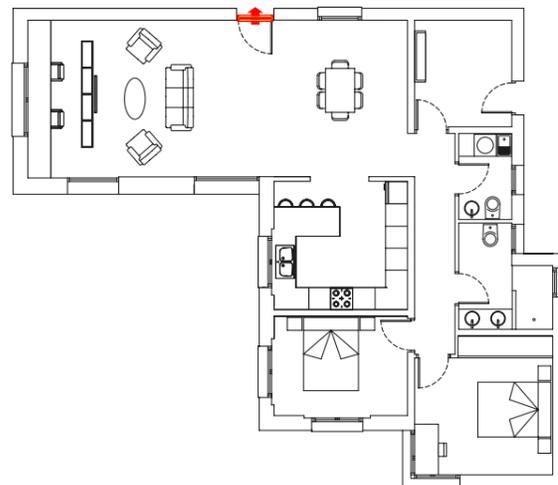
## Caso de estudio E010

La Vivienda Unifamiliar Pineda es a base de entramado de madera y con el estándar Passivhaus. El ensayo de estanqueidad ha sido realizado a sobrepresión y a depresión, obteniendo un resultado mucho mejor al exigido por el estándar. Ensayo realizado por Micheel Wassouf de Energiehaus.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E010	VU	Pineda	Passivhaus

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
106,00	289,40	3,00	296,00

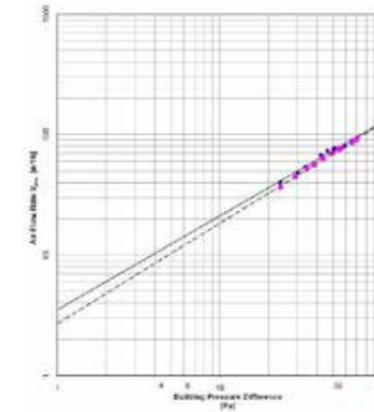


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad muy alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
72,00	0,24	0,25	0,68

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
21,91	0,01	77,46	9,93

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
58,61	0,55	3,34

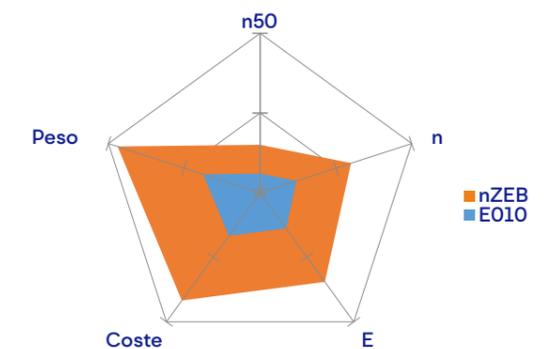
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
29,43	1,88

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



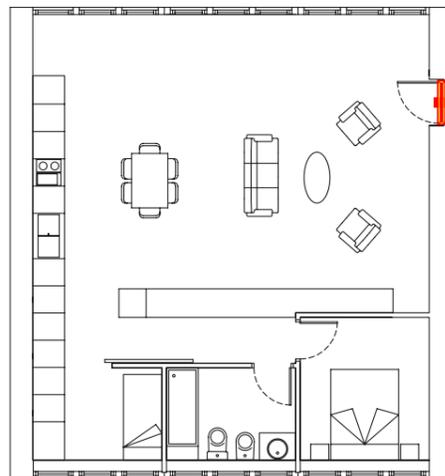
## Caso de estudio E011

La Vivienda Unifamiliar Farhaus es a base de entramado de madera y con el estándar Passivhaus. El ensayo de estanqueidad ha sido realizado a sobrepresión y a depresión, obteniendo un resultado ajustado al estándar.  
Ensayo realizado por Micheel Wassouf de Energiehaus.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E011	VU	Farhaus	Passivhaus

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
135,00	360,00	3,00	399,00

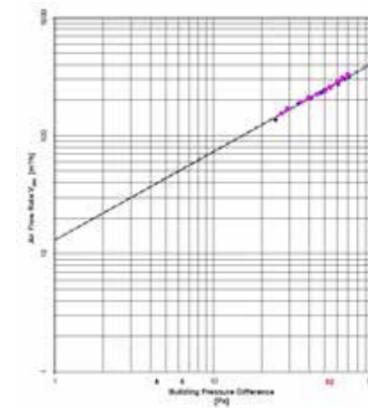


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad muy alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
242,00	0,61	0,67	1,80

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
73,64	0,03	260,35	18,21

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
200,80	1,49	11,45

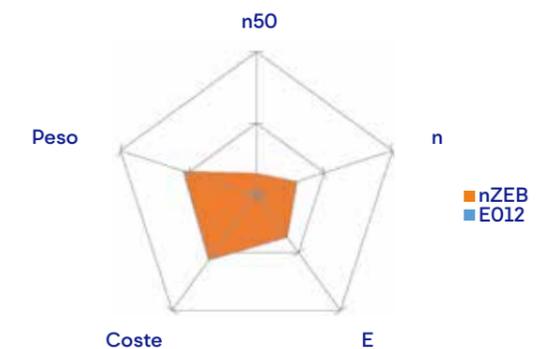
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
27,41	5,43

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



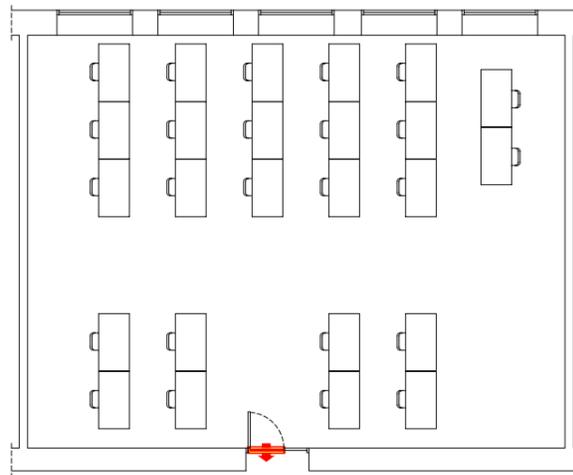
## Caso de estudio E012

El Aula 6.10 forma parte de los espacios de un pabellón de aulas en el IES Universidade La-boral. Se ha obtenido un nivel de estanqueidad alto. Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E012	VU	Aula 6_10	Anterior

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
132,70	439,00	3,85	892,00

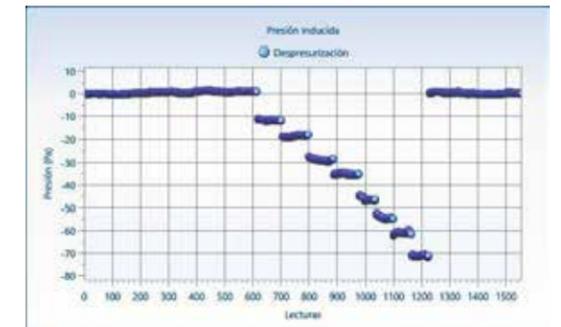
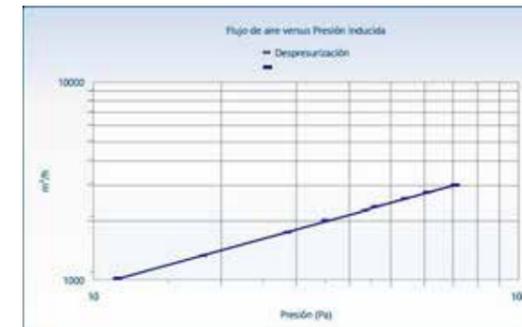


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad medio.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
2.460,00	2,76	5,60	18,53

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
748,55	0,14	2.646,54	58,05

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.027,40	15,28	115,56

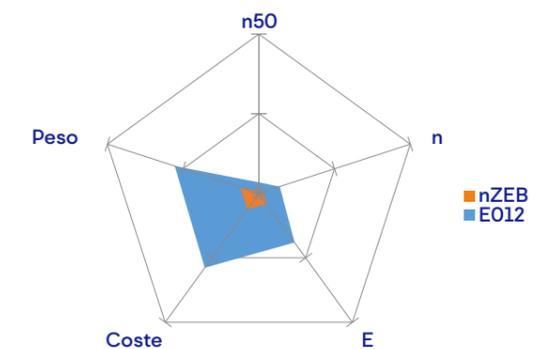
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
27,54	55,48

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



## Caso de estudio E013

Piso en bloque de viviendas, con un cerramiento exterior y tres adiabáticos. Se detectan infiltraciones en encuentros de medianeras con forjado superior, en cajas de persiana, mecanismos eléctricos, luminarias empotradas en falso techo y en puertas correderas de acceso a balconeras. Se ha obtenido un grado de estanqueidad bajo. Ensayo realizado por Albert Escofet de Apliter.

### Datos generales

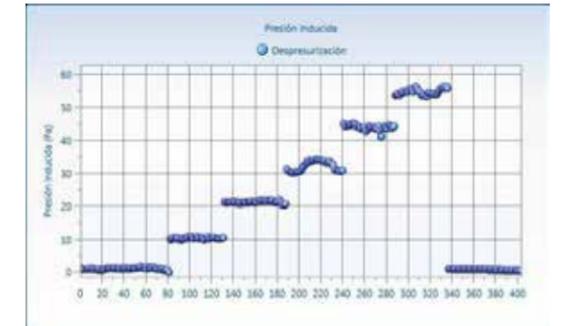
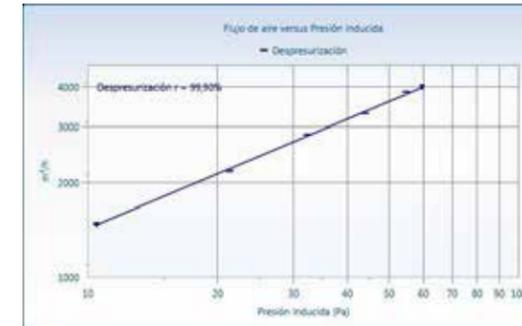
CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E013	Piso	BCN	NBE-CT-79
SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
85,00	250,00	2,50	280,00

### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad bajo.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
3.650,00	12,88	14,43	42,14

## Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
1.110,66	0,64	3.926,77	70,71

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.975,28	35,00	169,59

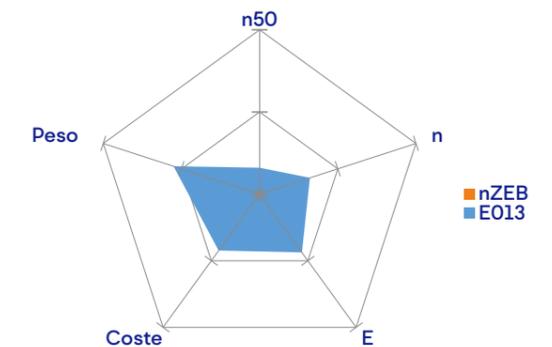
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
31,76	110,20

### Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



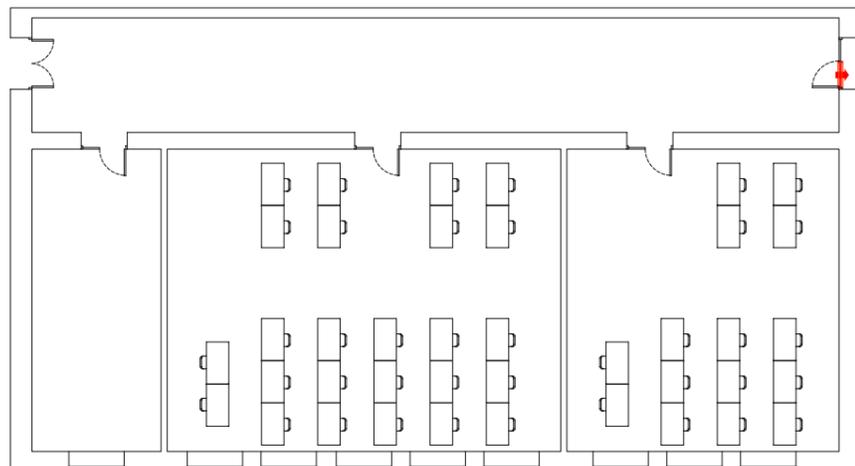
## Caso de estudio E014

Pabellón 6 de aulas en el IES Universidade Laboral. Nivel de estanqueidad alto. Ensayo realizado por el equipo del Proyecto APEIA.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E014	VU	Pabellón 6	Anterior

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
340,00	1.013,50	3,85	1.841,00

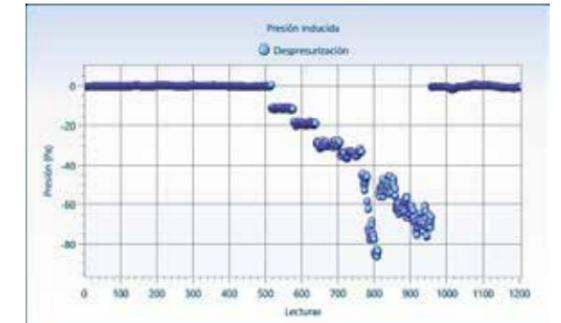
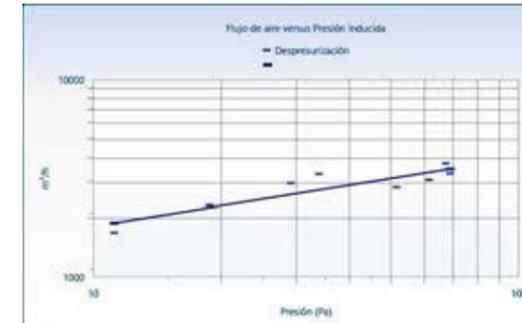


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad alto.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
3.175,00	1,73	3,13	9,34

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
966,12	0,09	3.415,76	65,95

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.619,97	7,71	149,34

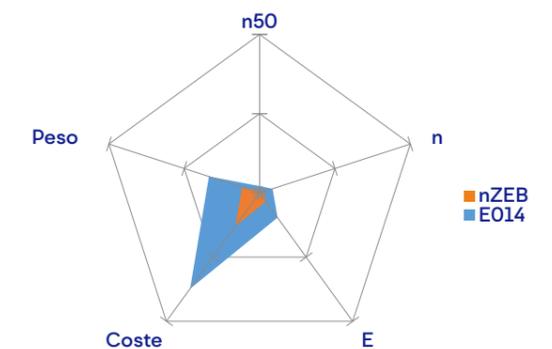
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
22,94	33,59

### 14.6. Caso de estudio vs nZEB

Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



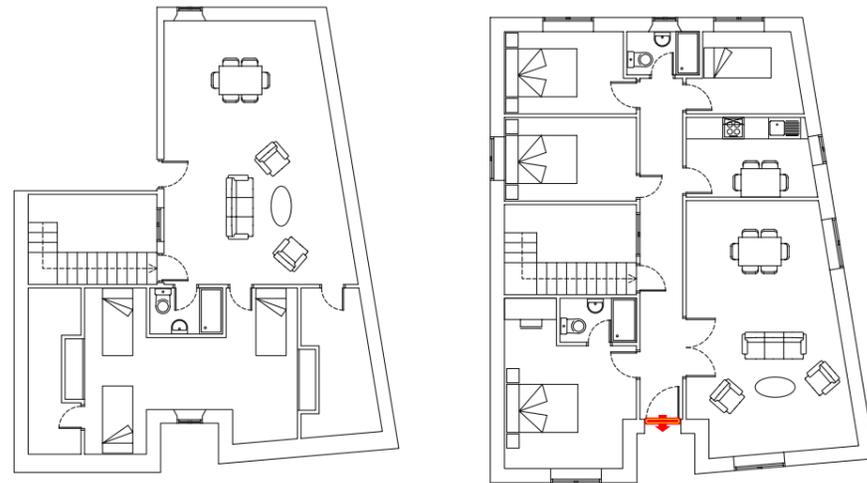
## Caso de estudio E015

Se trata de una vivienda unifamiliar aislada, rehabilitada y altamente expuesta. Dispone de planta baja más planta primera.  
Se detectan infiltraciones en los pasos de las correas de las persianas y sus cajas, puertas exteriores sin burletes y con mal ajuste, chimeneas y ventanas mal ajustadas.  
Ensayo realizado por Albert Escofet de Apliter.

### Datos generales

CÓDIGO	TIPO	VIVIENDAS	NORMATIVA
E015	Piso	Hacinas	Rehabilitación

SUPERFICIE	S ENVOLVENTE	ALTURA	VOLUMEN
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
114,10	353,80	3,00	288,70

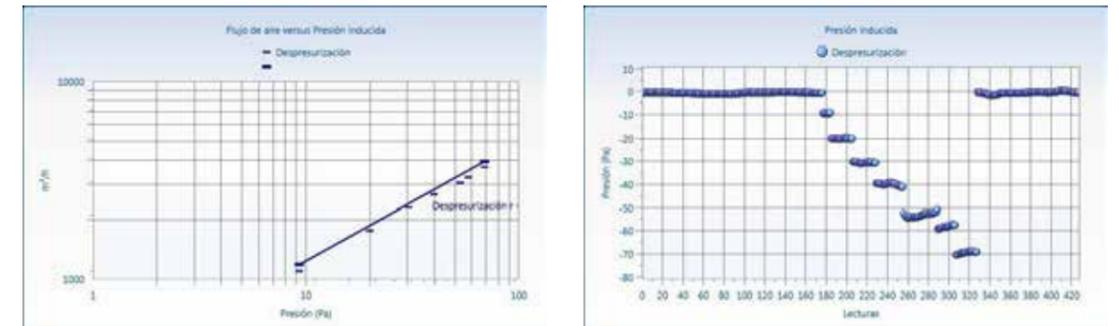


### Resultados ensayo

Se obtiene un grado de hermeticidad bajo.

V <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	w <sub>50</sub>
m <sup>3</sup> /h	1/h	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
3.090,00	10,70	8,73	27,08

### Gráficos del ensayo



### Resultados calculados

Tasa de renovación de aire en condiciones normales e indicadores geométricos de superficie equivalente y diámetro teórico del orificio circular equivalente.

ELA <sub>50</sub>	n	ELA <sub>4</sub>	DIÁMETRO
cm <sup>2</sup>	1/h	cm <sup>2</sup>	cm
940,26	0,54	3.324,31	65,06

### Energía

Demanda energética debida a las infiltraciones de aire y estimación de su coste bruto para 0,057 €/kWh.

ENERGÍA	ENERGÍA	COSTE GAS
kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	€
2.548,50	22,34	145,26

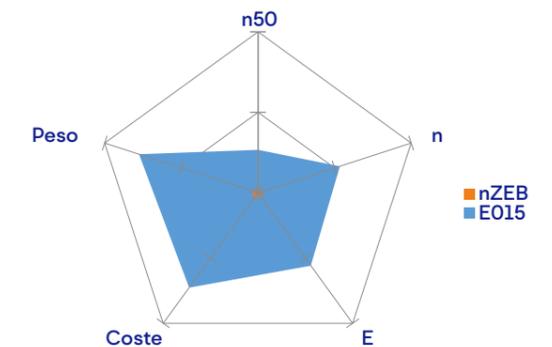
### Escenario actual

Demanda límite de calefacción para este caso de estudio en un escenario actual, HE-2013, y peso sobre ésta de energía, de las necesidades para cubrir las pérdidas por infiltración detectadas.

Dlim CTE	PESO
kWh/m <sup>2</sup> a	%
28,76	77,65

### Caso de estudio vs nZEB

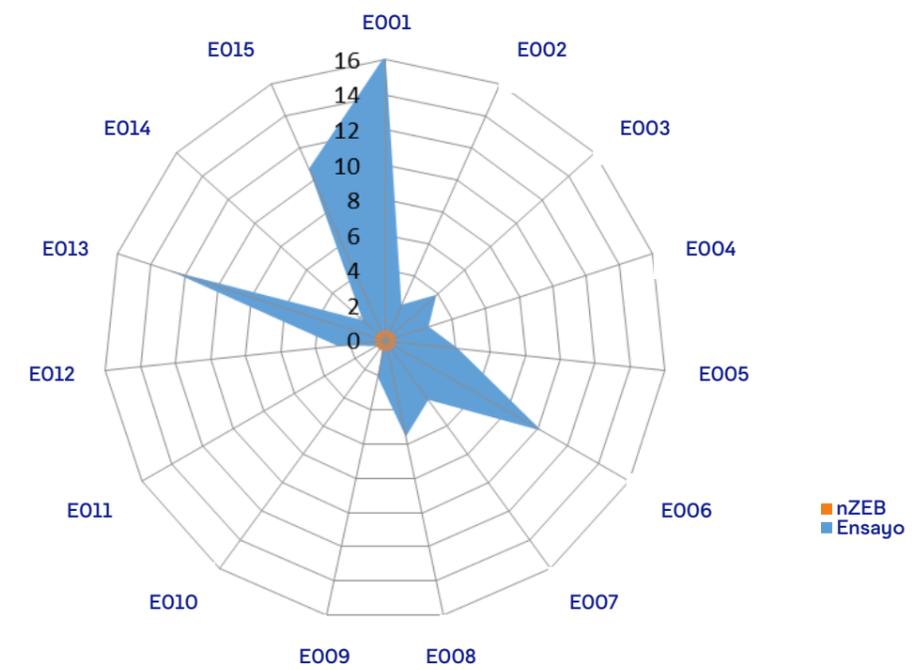
Estimación cualitativa y gráfica de diversos indicadores del caso en estudio y el mismo construido con una tasa de renovación de aire de 0,6 h<sup>-1</sup>.



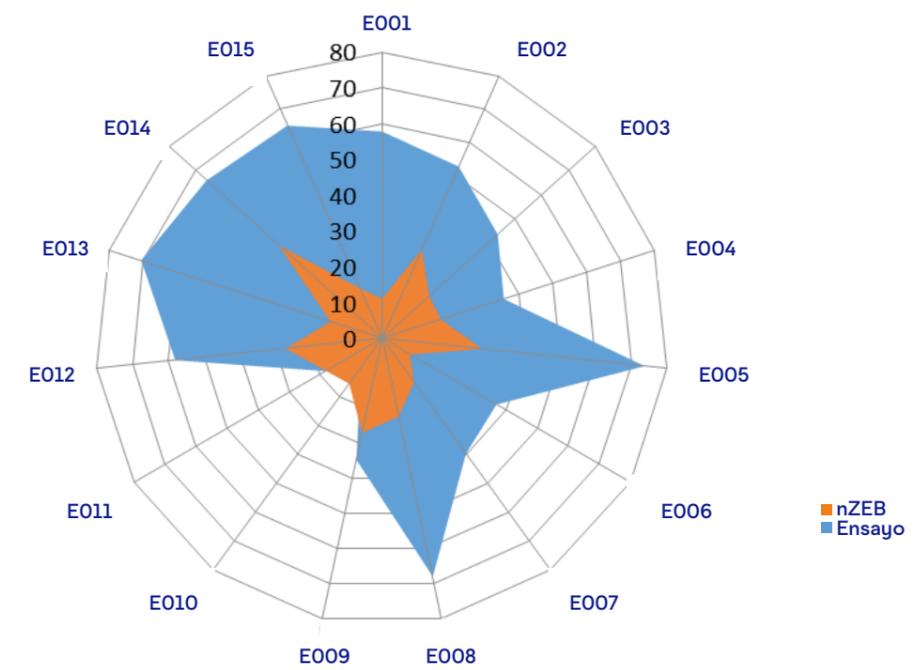
### 13.3. Análisis global

A continuación se muestra el análisis de diversos indicadores para los casos de estudio y el mismo caso con una tasa de renovación al paso del aire de  $n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$ .

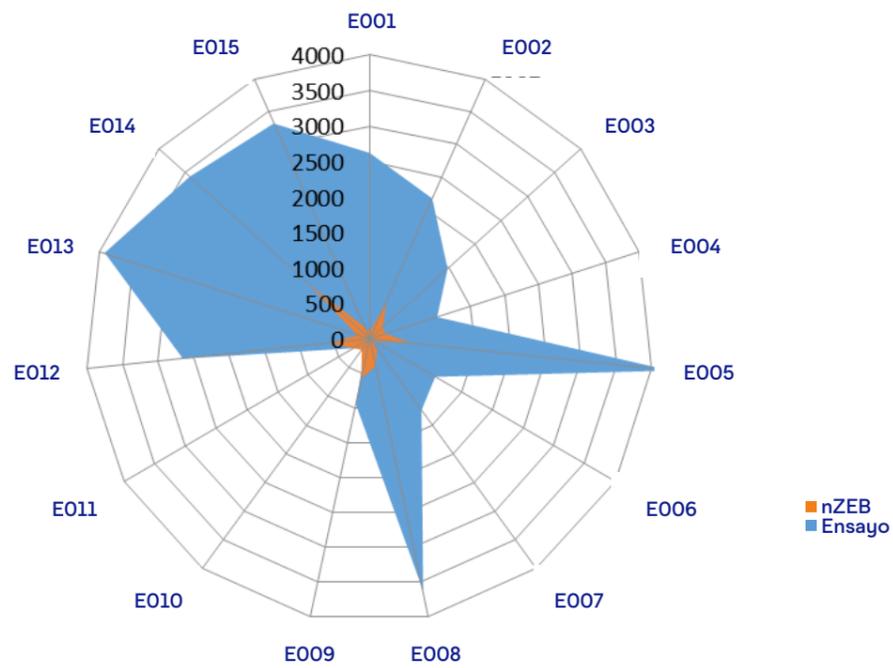
#### $n_{50}$ - Tasa de renovación de aire



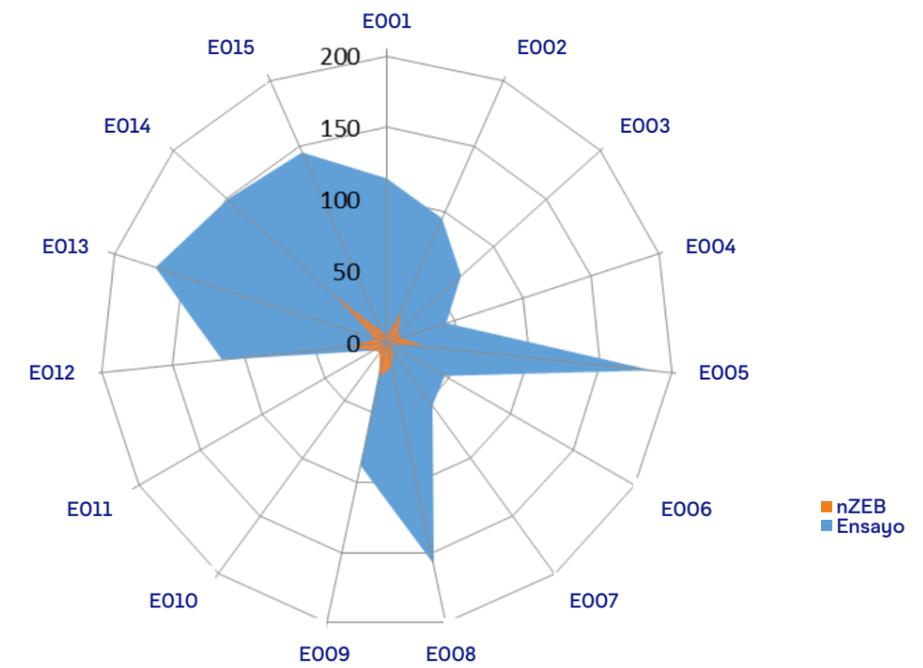
#### $\emptyset$ Circunferencia equivalente de fuga



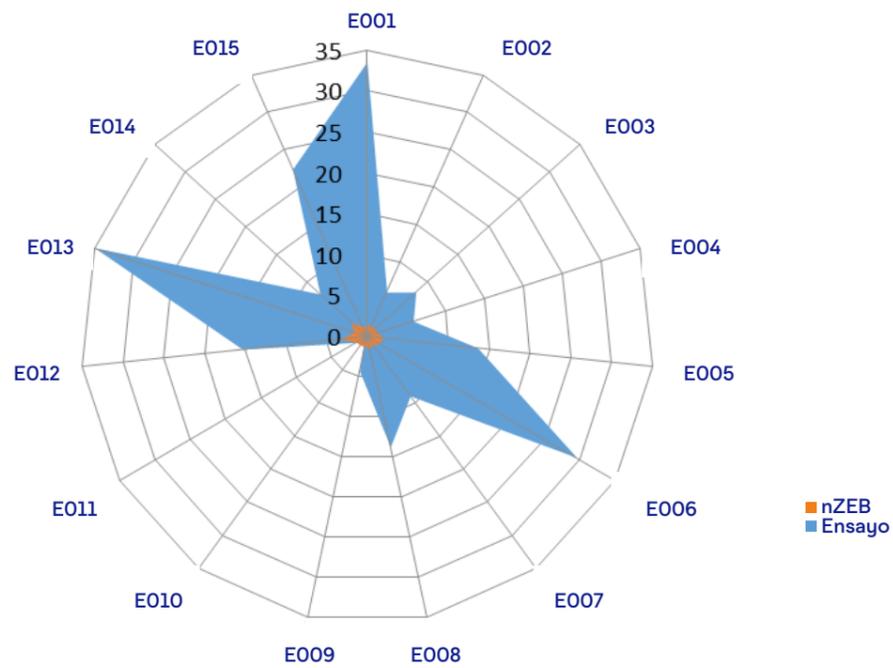
Equivalent Leakage Area (4Pa)



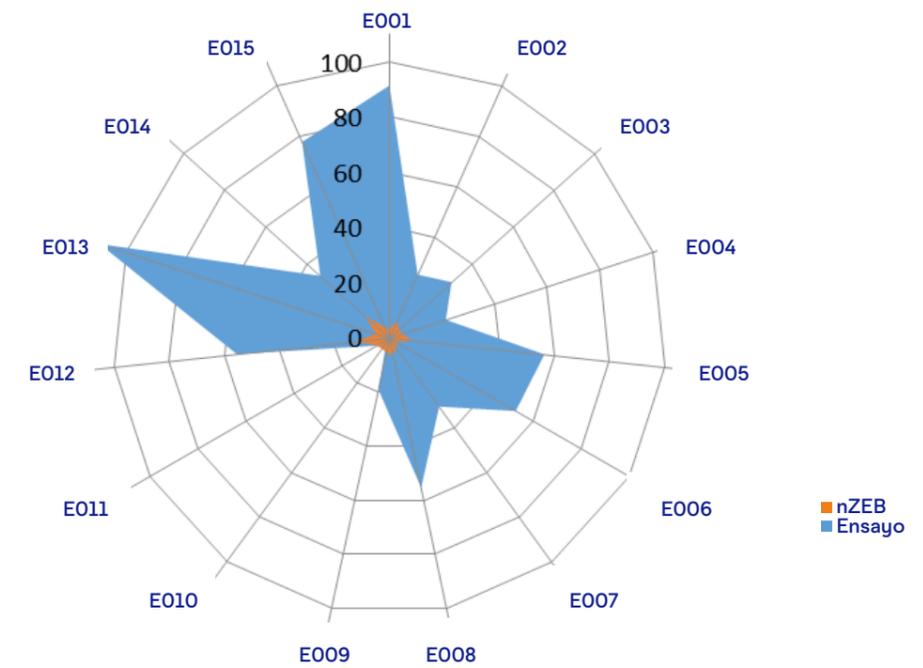
Coste con GN (€/a)



Energía kWh/m² a



% sobre D<sub>lim</sub> CTE HE1 2013



Conclusión  
del estudio

14

## 14. Conclusión del estudio

Las infiltraciones de aire deben ser tenidas en cuenta como causa de pérdida de energía en los edificios y por lo tanto limitadas por la normativa para poder alcanzar objetivos de nZEB.

Tras realizar el proceso de investigación acerca del ensayo Blower Test, se hace notar que se trata de un ensayo que se viene realizando desde hace más de 30 años, por lo que sorprende el desconocimiento acerca del mismo que existe entre técnicos en sectores como la construcción y los sistemas energéticos de nuestro país, aunque en los últimos años se está popularizando debido a las tendencias del mercado en el ámbito de la eficiencia energética en los edificios y a su exigencia para certificaciones energéticas tales como Passivhaus.

Una vez analizados los casos de estudio de esta publicación, se hace notar que el peso que tendrían las pérdidas debidas a infiltraciones de aire de los edificios ensayados, es mucho mayor al que cabría esperar para un edificio bajo la demanda establecida por la HE1, toda vez que esta norma no marca límite a las infiltraciones reales del edificio construido, aunque lo marque para algunos de sus componentes.

Estos casos de estudio dejan ver que las infiltraciones de aire en los edificios existentes y ejecutados bajo una construcción convencional, suelen tener fugas de aire, en algunos casos mayores, pero que en todo caso requieren ser minoradas para evitar una excesiva pérdida de energía debida a este concepto.

Parece pues, que para poder alcanzar los objetivos establecidos por la Directiva 2010/31/UE en relación a la construcción de edificios de consumo casi nulo, se hace necesario tener en cuenta la hermeticidad de los nuevos edificios, estableciendo un valor

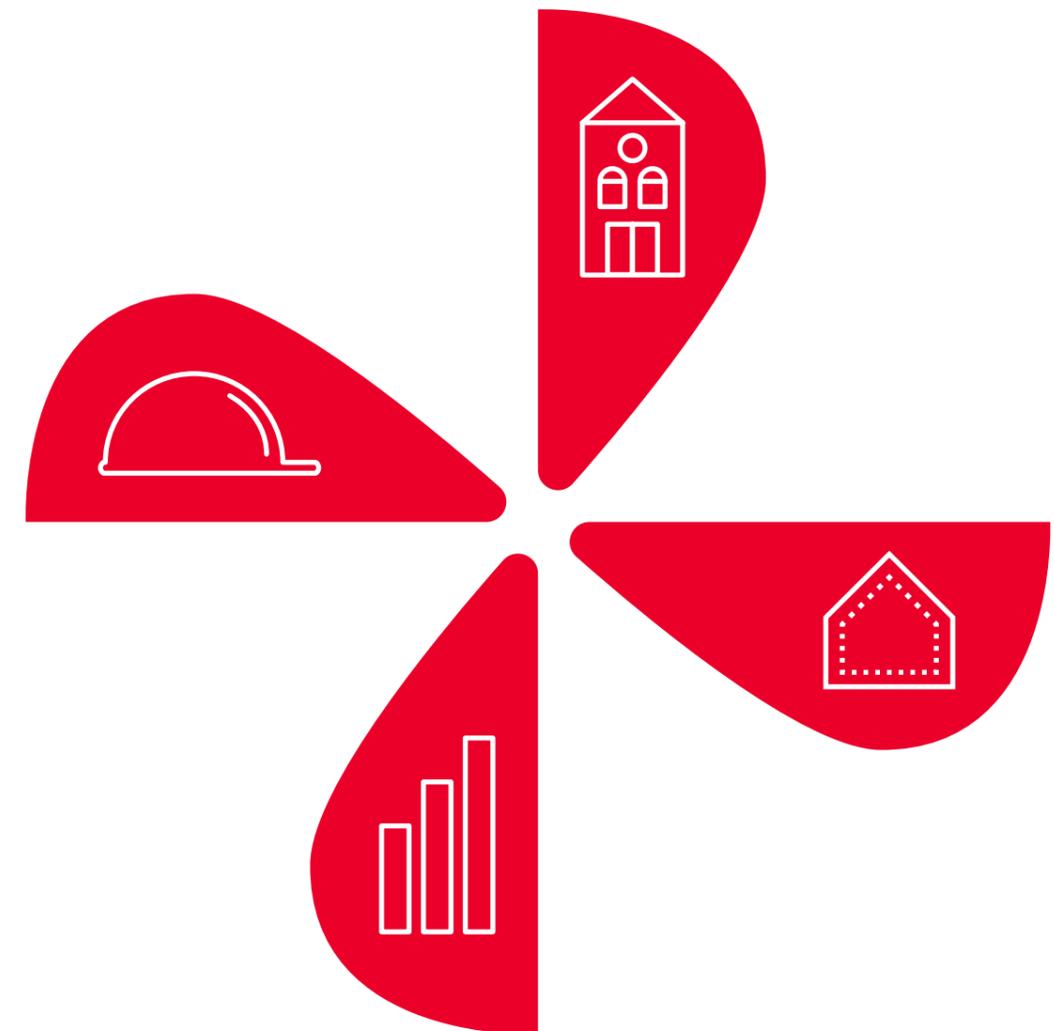
límite a la tasa de renovación de aire de los mismos.

Durante los ensayos realizados, se han encontrado diversos edificios que sin ser Passivhaus, tienen un nivel de hermeticidad alto, entre 2 y 3 h<sup>-1</sup>, por lo que éste podría ser el intervalo en el que se encuentre un valor futuro y obligatorio para todos los edificios, debiendo ser más exigente si el edificio ha de ser nZEB.

Al pretender construir edificios más estancos, se hará necesaria una formación especializada para los diferentes oficios que intervengan en el proceso de construcción, que habrá de ser incluida en los planes de estudio de las escuelas técnicas y de oficios. Los sistemas de ventilación mecánica controlada combinados con una envolvente estanca serán cada vez más frecuentes, pues es la forma más precisa de garantizar que el ambiente interior de los edificios se encuentra dentro de las condiciones de confort y de los límites que señale la reglamentación vigente.

En definitiva, parece conveniente modificar la normativa actual en el sentido de contemplar las pérdidas por infiltraciones si, de verdad, se pretende que la eficiencia energética alcance valores óptimos, cosa que con la normativa actual no se consigue, como queda demostrado.

A la vez, el coste suplementario de las actuaciones necesarias en este sentido son lo suficientemente bajas como para que se pudiese tener en consideración a la hora de las pertinentes modificaciones.



Referencias  
y fuentes de  
consulta

15

**Norma UNE-EN-13829. Aislamiento térmico.**

Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador (ISO 9972:1996, modificada), (2002)

**Norma UNE-EN-13829:2002 Erratum.**

Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador (ISO 9972:1996, modificada), (2010).

**U.S. Department of Energy.**

**Operation Manual Retrotec.**

Residential pressure and air leakage

**BlowerDoor GmbH -**

MessSysteme für Luftdichtheit.

**The Blower Door por K.J. Gadsby, G.T. Linteris, G.S. Dutt, D.T. Harrje. Report PU/CEES 124.**

Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University (1981).

**Indoor air quality, thermal comfort and daylight.**

Published in March 2015 by the Buildings Performance Institute Europe (BPIE).

**EnEV Energieeinsparverordnung DIN 4108-7.**

**Measuring the air permeability of building envelopes.**

Technical Standard. ATTMA.

**Air tightness of U.S. Dwellings.**

Max Sherman y Darryl Dickerhoff.

**Analysis of methods to calculate air infiltration for use in energy calculations.**

Axel Berge.

**Indoor air quality, thermal comfort and daylight.**

Buildings Performance Institute Europe.

**Energihaus Arquitectos S.L.**

**Apliter. Termografía y Blower Door.**

**Taller de Ingeniería MYL, S.L.**

**Estudio de Arquitectura Eusebio Chao Carreiras**



El Proyecto APEIA  
es un proyecto de  
colaboración entre  
empresas y centros  
de Formación  
Profesional en el  
que se analizan las  
pérdidas energéticas  
por infiltración de aire  
en los edificios.



ISBN 978-84-608-6621-3