

ESTUDIO DE INFILTRACIONES EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE CASTILLA Y LEÓN

(VALLADOLID-BURGOS-PALENCIA)



SEPTIEMBRE 2013
TRABAJO FIN DE MASTER

ÁLVARO SORDO BARREDA

UVa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
MASTER INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA
Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y
Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras

INDICE

0. Prólogo	3
1. Introducción	4
1.1 Estructura del Trabajo de Fin de Máster	5
2. Entrada de aire	6
2.1 Dinámica de entrada de aire por presiones	7
2.2 Dinámica de entrada de aire por transferencia de calor	9
3. Hermeticidad	11
3.1 Consecuencias de la falta de hermeticidad	13
3.1.1 Eficiencia energética.....	13
3.1.2 Humedades	14
3.1.3 Confort térmico	14
3.1.4 Calidad del aire	15
3.1.5 Incendios.....	17
3.1.6 Otros	17
3.2 Factores que determinan la hermeticidad	17
3.3 Estudios realizados en diferentes países	22
4. Elementos constructivos	25
5. Ensayos para determinar la hermeticidad	27
5.1 Test de presurización por medio de ventilador (Blower-Door)	27
5.2 Gas trazador	34
5.3 Método acústico	36
5.4 Técnicas complementarias	37
5.4.1 Termografía	37
5.4.2 Humo	40
5.4.3 Anemómetro	40

6. Consideraciones previas a la realización de ensayos prácticos	42
7. Estudio de infiltraciones en viviendas de Castilla y León	48
Palencia	
Calle Roma 14 Bajo B	49
Calle Echegaray 2 5ºB	52
Calle Roma 12 Bajo B	57
Calle Pedro Berruguete 3 4º3	60
Grupo Casas del Hogar 67 3º Dcha	65
Saldaña - Calle Bernardo el Carpio 12, 3	70
Villalobón -Calle Las Pozas 1	77
Burgos	
Avda Cid Campeador 85 1ºA	80
Calle Vitoria 251 9ºB	83
Calle Las Rebolledas 9 1ºA	88
Calle Romanceros 1 3ºB	93
Valladolid	
Calle Sargento Provisional 5 3ºH	96
Aldeamayor - Calle Hoces de Riaza 12	99
8. Análisis de resultados	104
8.1 Resultados por año de construcción	108
8.2 Resultados por zonas climáticas	109
8.3 Resultados por valor del exponente n	110
8.4 Resultados según el área de la abertura equivalente	111
9. Conclusiones	113
9.1 Relevancia actual del tema	113
9.2 Conclusiones a partir de los ensayos realizados	114
9.3 Medidas de mejora propuestas	116
9.4 Líneas de investigación futuras	117
10. Bibliografía	118

0. Prólogo

El presente estudio de casos se presenta como Trabajo Fin de Máster y se encuentra motivado por el interés personal en los temas relacionados con la ventilación y la eficiencia energética, existiendo un nexo común de ambos temas en las infiltraciones de aire.

En la actualidad nos encontramos en una situación de crisis por lo que los elevados precios de la energía impulsa, todavía más si cabe, la necesidad de actuar en todo aquello que conlleve un gasto adicional para obtener las mismas prestaciones de confort, hablando del ambiente interior de los edificios.

El estudio está desarrollado bajo una base teórica pero con un fondo fundamentalmente experimental basado en ensayos de campo, que constan de una labor previa de toma de datos de cada una de las viviendas, realización del ensayo propiamente dicho y de elaboración de las fichas resumen y gráficos obtenidos a partir del software utilizado. Este trabajo equivale, aproximadamente, a dos jornadas de labor por ensayo realizado.

Se ha intentado escoger viviendas en distintas localizaciones de Castilla y León, y con distintas tipologías constructivas, así como variedad en los años de construcción, sobre todo motivado por la diferente normativa utilizada en cada momento. Así mismo se han buscado otras viviendas que sean de características similares entre ellas para poder realizar su comparación.

En definitiva, este trabajo está basado en la localización de fugas en la envolvente de las edificaciones y en la determinación del nivel de hermeticidad de las mismas.

A medida que se ha ido elaborando el trabajo se han afianzado conceptos y adquirido nuevos, proporcionando una mayor comprensión de los datos obtenidos, sirviendo a nivel personal de un primer estudio para futuras investigaciones propias.

Ha supuesto una gran ayuda las tutorías realizadas durante el curso con el tutor, el Dr. Arq. Alberto Meiss Rodríguez, donde se ha revisado el procedimiento del trabajo así como los datos obtenidos.

Por último es imprescindible agradecer a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid, en la persona del Dr. Arq. Jesús Feijó Muñoz, por haberme ofrecido la oportunidad de utilizar el instrumental necesario para poder realizar los ensayos de campo.

1. Introducción

En la actualidad, cada vez se está más concienciado de la importancia de la eficiencia energética, donde el consumo de energía de un edificio está definido por la relación entre su demanda y la eficiencia de los equipos y sistemas que están instalados en el edificio.

Una reducción en la demanda lleva aparejado un menor consumo de energía, esto se puede obtener actuando en diversos parámetros:

- Pérdidas o ganancias por transmisión: que vienen determinadas por la definición del propio diseño constructivo, y por los materiales utilizados (espesor y conductividad térmica).
- Ganancias por radiación (verano): a través de las zonas de cerramiento expuestas a la acción de la radiación solar.
- Pérdidas o ganancias por infiltración: determinadas por las características de hermeticidad de la envolvente arquitectónica de los edificios.

La posibilidad de realizar una disminución del consumo se hace adoptando medidas *pasivas*, interviniendo en la envolvente y en el proceso de diseño, a través de una actuación en:

- Aislamiento en fachadas y cubiertas que evitan fugas de calor durante el periodo de invierno, ahorrando en calefacción, o evitando entrada de calor en verano donde se disminuye el gasto energético en refrigeración.
- Elementos de la envolvente tales como puertas y ventanas, incluso con doble acristalamiento con disposición de cámara de aire en su interior.
- Utilización de protecciones solares de tipo persianas, toldos, voladizos, lamas horizontales y verticales, etc.
- Orientación óptima de huecos y fachadas.

La otra vertiente, referida a la eficiencia de los equipos, equivale a actuar, mediante técnicas *activas* que aporten soluciones de mejora, en niveles de consumo favoreciendo la energía primaria:



- Rendimiento de los equipos utilizados para conseguir mayor eficiencia en los sistemas instalados.
- Utilización de sistemas de energía tales como solar térmica y solar fotovoltaica.
- Energía eólica procedente de la propia dinámica del viento.
- Geotermia donde se aprovecha la energía del interior de la tierra.

1.1 Estructura del Trabajo de Fin de Máster:

En este Trabajo se realizará un estudio teórico-práctico centrado en las pérdidas energéticas de la envolvente arquitectónica ocasionadas por las infiltraciones.

Primero se desarrollará una parte teórica donde se determinará la importancia de la entrada de aire en las edificaciones y los efectos que producen dicha entrada, para luego centrarse en la hermeticidad de la envolvente a través de diferentes elementos constructivos. A continuación se estudiarán casos relacionados con el tema que han sido realizados en diferentes países.

Se hará una descripción de los diferentes métodos de cálculo de la hermeticidad de la envolvente, centrándose en el test de presurización Blower-Door ya que es el utilizado en los ensayos de campo de este trabajo. A su vez el capítulo se complementará con otras técnicas que se pueden utilizar junto con el test de presurización, tal como es la termografía infrarroja.

Una vez estudiados los aspectos anteriores se adjuntarán las fichas resumen de cada ensayo realizado, junto con la gráfica del test de presurización e imágenes termográficas de cada vivienda.

Por último se analizarán los resultados obtenidos y se sacarán las conclusiones a este trabajo tanto a modo de gráficas como de texto general, junto con unas líneas que puedan servir de base como continuación de este estudio.

2. Entrada del aire

La entrada de aire exterior hacia el interior de un edificio es necesaria por varias razones, entre las cuales destaca la disminución de contaminantes del ambiente interior para proporcionar confort y condiciones de aire saludables, así como para controlar la concentración de vapor de agua y prevenir condensaciones. La consecuencia de esta entrada de aire es el gasto de energía que se intercambia entre ambos ambientes, pudiéndose producir a través de la ventilación (de una forma controlada) o a través de las infiltraciones (consideradas no controladas).

La ventilación puede definirse como “el suministro de la cantidad requerida de aire hacia el interior, bajo unas condiciones climáticas y ambientales determinadas. Este proceso incluye impulsar aire limpio y extraer el viciado a través de los cerramientos, distribuir y hacer circular el aire entrante y prevenir la contaminación interior”. (Meiss 2011).

Dentro de la entrada de aire nos encontramos con:

- Ventilación natural: producida por las condiciones ambientales que producen un gradiente de presión (viento y temperatura) entre el ambiente exterior e interior por medio de puertas, ventanas y otras aberturas practicables.
- Ventilación mecánica: El gradiente de presiones se obtiene a través de dispositivos mecánicos proyectados al efecto.
- Ventilación híbrida: combina los dos procesos anteriores, utilizando los mecanismos naturales cuando se dan las condiciones ambientales adecuadas, y los medios mecánicos cuando no se alcanzan los caudales mínimos exigidos.

La filtración es una corriente de aire que circula a través de grietas, intersticios y aberturas no deseadas, que es producida por una diferencia de presión, producto del viento, de diferencias de temperaturas o del propio sistema mecánico de ventilación. Esta corriente incontrolada de aire puede producirse desde el exterior hacia al interior (las infiltraciones, que son la forma común en los edificios) o en sentido inverso (las exfiltraciones, poco habituales, producto de condiciones exteriores e interiores singulares).

2.1 Dinámica de entrada de aire por presiones:

Presión del viento:

Las presiones del viento crean movimientos del aire donde la presión estática es en ocasiones superior y en otras inferior a la corriente de aire en calma, siendo positivas en la parte contraria al viento, y negativas en la parte en dirección del viento (infiltraciones y exfiltraciones).

Esta presión se establece mediante la ecuación de Bernoulli (ASHRAE 1985):

$$\Delta P_v = C_p \frac{1}{2} \rho v^2$$

donde:

ΔP_v = Presión del viento en calma. [=] Pa.

C_p = Coeficiente de presión superficial.

ρ = Masa específica del aire. [=] kg/m³.

v = Velocidad del viento. [=] m/s.

Es importante la masa específica del aire puesto que puede variar en más de un 50% dependiendo de la temperatura, teniendo un valor de 1,205 kg/m³ a 20° de temperatura.

Por otro lado la velocidad con la que el viento incide en un edificio generalmente difiere con la medida mediante estaciones meteorológicas, esto es debido a que dichas estaciones toman los datos a una altura constante (generalmente a 10m), sin embargo es poco común que los estudios que se realicen sean a esa altura. Del mismo modo las mediciones de forma general se toman en espacios abiertos mientras que los edificios residenciales suelen encontrarse en zonas más protegidas por árboles u otros edificios, reduciendo la velocidad e incluso llegando a cambiar la dirección del viento. Esta circunstancia obligaría a estudios específicos según el emplazamiento sujeto a estudio, cuando se quiera conocer la incidencia anual de esta pérdida energética.

Presión por diferencia de temperatura:

El cambio de densidad del aire que se produce por una variación en la temperatura es el factor que provoca el movimiento del aire, provocando la entrada de aire del exterior y la salida del aire interior. El aire interior conlleva energía interna, la cual se pierde en el proceso de acondicionamiento del aire exterior sin tratar que penetra en el ambiente por medio de las infiltraciones. En situaciones de invierno esta pérdida de energía del aire interior es más notable que en verano donde la diferencia de temperaturas no es tan elevada.

Como se ha mencionado el aire caliente asciende, por lo tanto del mismo modo existirá una diferencia de temperaturas (y por consiguiente de presiones) en el exterior, cuya magnitud se puede estimar en 0,14 Pa por cada °C de diferencia en cada piso de altura según datos de ASHRAE (Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción, en sus siglas en inglés).

Mejora en ambos sistemas

La reducción de la infiltración se produce al disminuir las presiones que se ejercen sobre la envolvente o al actuar directamente sobre los puntos de fuga. Actuar en este segundo aspecto supone mayor facilidad que hacerlo sobre las presiones, puesto que las fuerzas de la naturaleza son más difíciles de controlar en comparación de la localización de las fugas para su posterior tratamiento. Para controlar el viento es posible la utilización de otras edificaciones, vegetación u otro tipo de elemento que sirva de barrera contra el paso del aire.

El actuar sobre las fugas implica actuar sobre la hermeticidad del edificio, proporcionando un mayor control de las pérdidas producidas en la envolvente. Se considera necesario aclarar que en un edificio que disponga una elevada hermeticidad se deberá diseñar un sistema de ventilación eficaz que no contemple las infiltraciones.

Efecto combinado de presión del viento de la diferencia de temperaturas.

Estudios realizados en Lawrence Berkeley Laboratory, explican con detalle a través de una serie de ecuaciones el efecto combinado del viento y de la diferencia de temperatura, así como la combinación con un sistema de ventilación mecánica.

Para el efecto combinado del viento y diferencia de temperaturas se establece la ecuación:

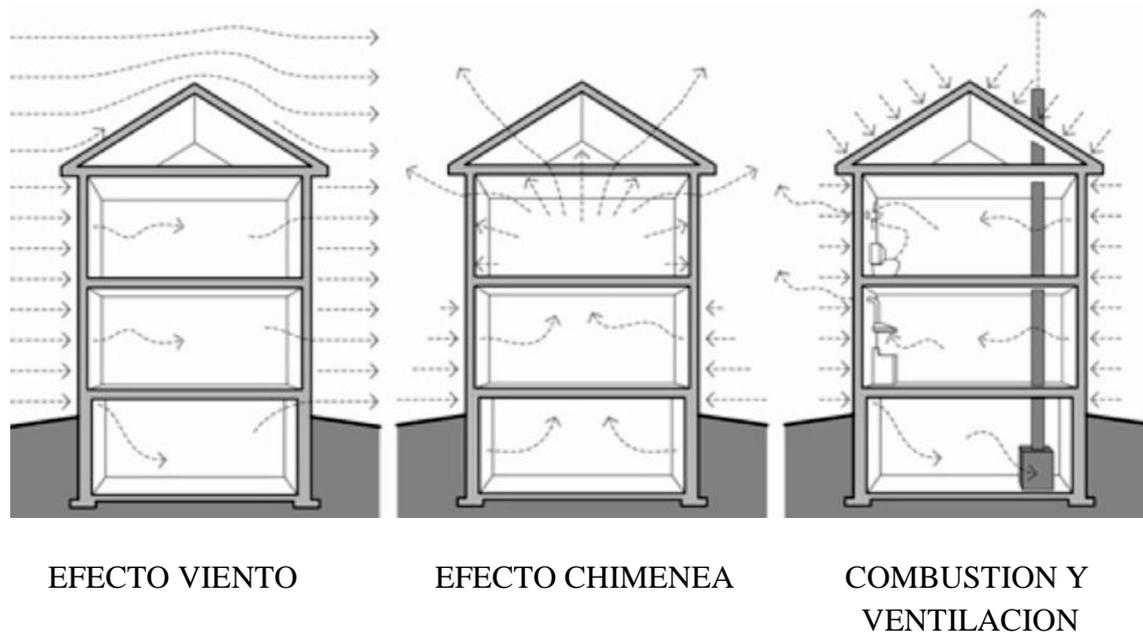
$$Q_t = \left[Q_w^{\frac{1}{n}} + Q_s^{\frac{1}{n}} \right]^n$$

Donde:

Q_w = Caudal de aire infiltrado debido al efecto del viento. [=] m³/s.

Q_s = Caudal de aire infiltrado debido al efecto de la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. [=] m³/s.

Imagen 1: Filtraciones por efecto del viento, el efecto chimenea y por la combustión y ventilación.



Fuente: Building technologies program. Air Leakage Guide. (2011)

2.2 Dinámica de entrada de aire por transferencia de calor:

La premisa de partida para la transferencia de calor entre fluidos, entre ellos el aire, es que se produce un intercambio de calor donde el fluido de mayor temperatura cede calor al de menor.

El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de ellos predomine sobre los otros dos. El intercambio de calor por infiltraciones se establece sobre todo por convección (no obstante el proceso de conducción también está presente por medio del enfriamiento de las paredes por donde penetra el aire).

- Convección:

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad suele disminuir como ocurre con el caso del aire, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.



Este proceso ocurre, por ejemplo, en una cámara de aire vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior (que está más frío) desciende, mientras que el aire cercano al panel interior (más caliente) asciende, lo que produce un movimiento de circulación y por consiguiente una transferencia de calor.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador, o emisor de calor, sigue esta premisa. Dependiendo tanto de la radiación de los materiales como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación descienda, dirigiéndose a la zona del emisor y favoreciendo su calentamiento. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima.

3. Hermeticidad

En este ámbito de estudio, la hermeticidad se entiende como aquella cualidad de la envolvente del edificio capaz de evitar la entrada de aire u otros elementos tales como agua, ruido, contaminantes, etc, desde un ambiente exterior a uno interior. Para lograr un buen aislamiento acústico y térmico, se considera necesario que la envolvente sea hermética. Esto supone una de las condiciones necesarias para el ahorro de energía.

Si se procede a realizar un estudio energético en un edificio de viviendas, debe considerarse:

- Asegurarse minimizar las infiltraciones de aire a fin de reducir el consumo de energía, o en su defecto conocerlas en su mayor medida para poder tratarlas.
- Evitar problemas de condensación de la humedad bien sea en fachadas o en cubiertas por entrada de agua, o por la no ventilación adecuada de las zonas.
- Identificar la fuente de corrientes de aire frío o caliente.
- Asegurar la calidad del aire interior libre de contaminación, para asegurar un confort. La entrada de aire no controlada supone una introducción de contaminantes que puede ser eliminada o en su caso atenuada por medio de una correcta hermeticidad, sirva de ejemplo la entrada de radón procedente del terreno.

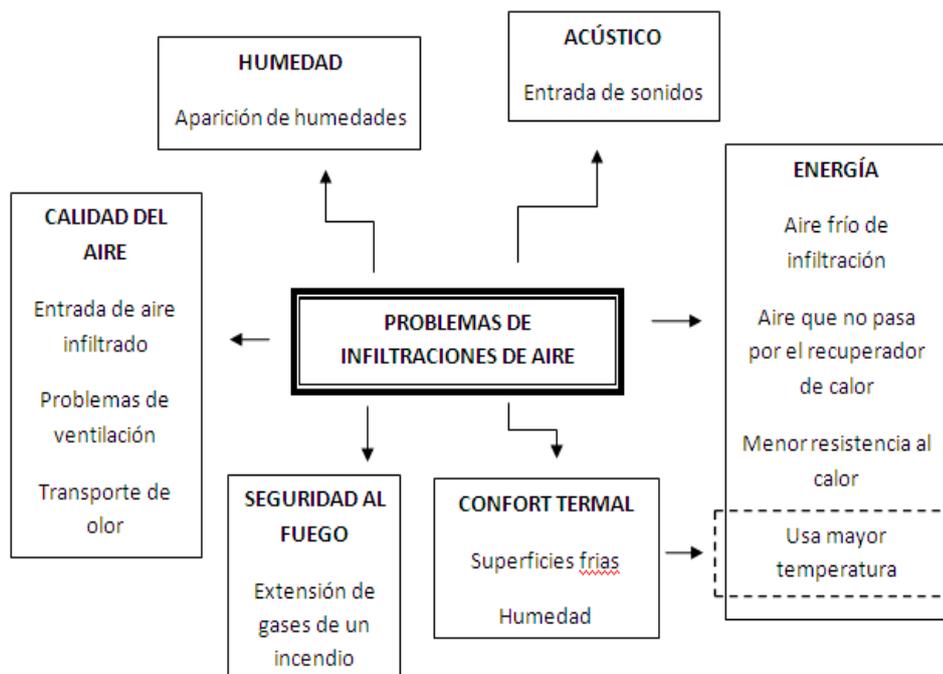
Chalmers University of Technology junto con *SP Technical Research Institute of Sweden*, elaboraron un proyecto donde se investigó la importancia que supone la hermeticidad del aire en el proceso de construcción, donde se demostró que no se da suficiente consideración al tema de la hermeticidad, poniendo de ejemplo una serie de consecuencias por fugas de aire que se dan en las edificaciones, construyendo de forma no hermética y provocando daños por dicho motivo y estableciendo que se necesita información sobre los efectos de una mala estanqueidad. La investigación concluye con la propuesta de una mejora de los aislamientos y una aplicación de sellado como medida de mejora de la hermeticidad. También se encontró que la complejidad de la edificación afecta a la hermeticidad, estableciendo que a mayor cantidad de plantas y de superficies de pisos, mayores serán las fugas.

Todo esto fue estudiado en una encuesta realizada por Sandberg y Sikander en el año 2004 (haciéndolo referencia en su artículo de 2007), donde se establecían los problemas más comunes en cada una de las categorías que más adelante se detallarán:

- Eficiencia energética:
 - Aumento del consumo de energía ocasionado por las pérdidas de ventilación.
 - Aumento del consumo de energía por las pérdidas de transmisión.

- Humedades:
 - Lesiones producidas por la infiltración del agua de lluvia.
- Confort:
 - Suelos y techos fríos.
 - Corrientes de aire.
- Calidad del aire:
 - Problemas en el sistema de ventilación.
 - Propagación de olores, gases, partículas, etc.
- Incendios:
 - Propagación de los humos pudiendo ocasionar nuevos focos.
- Otros:
 - Deterioro de aislamientos.
 - Problemas de insonorización.

Imagen 2: Problemas de entrada de aire.



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Consecuencias de la falta de hermeticidad:

3.1.1 Eficiencia energética:

El aumento del consumo de energía posiblemente sea la causa más importante en el tema de la hermeticidad, puesto que todas aquellas pérdidas de aire, tanto caliente como frío dependiendo del clima exterior, producen un desaprovechamiento de energía propia del aire.

Por todo ello es necesario tanto el estudio de la envolvente del edificio como de los sistemas de ventilación que disponga. Podemos dividir este apartado en dos categorías que nos sirven de visión global para el estudio energético (ventilación y aislamiento):

Ventilación: Dos factores que intervienen son el viento y el propio sistema de ventilación. Son numerosos los estudios que tratan sobre este tema, como ejemplo se pueden citar a Abel et al. (Sandberg y Sikander 2007) que estudiaron el ahorro de energía que suponía un edificio cuando se sellaban las fugas, o Malmberg (Sandberg y Sikander 2007) que concluyó su trabajo estableciendo un ahorro energético del 30% a medida que se aumenta la densidad de la envolvente.

La energía que se pierde viene expresada en unidades de energía por m^2 , y se corresponden con las pérdidas originadas por transmisión donde están incluidas en este apartado las ventanas, paredes, suelos y techos, las pérdidas por ventilación mecánica y las pérdidas ocasionadas por las fugas.

Una forma eficaz de disminuir estas pérdidas por ventilación es por medio de la colocación de un intercambiador de calor, cuyo fundamento es simple, se trata de aprovechar el calor que sale al exterior por el sistema controlado de ventilación, para calentar el aire que entra del exterior a través de dicho sistema, o la operación contraria si lo que se desea es enfriar el aire.

Como se ha especificado sólo se puede aprovechar el aire del sistema de ventilación por lo que en las infiltraciones que suponen una entrada de aire no controlada no se puede intercambiar el calor. Por tanto la eficacia del intercambiador dependerá de la cantidad de infiltraciones que se produzcan.

Aislamiento: El deterioro del aislamiento supone otro de los factores de pérdida de energía puesto que un aislamiento está calculado y diseñado para formar una barrera que sirva contra el paso del calor ya que por teoría física se tiende a igualar la temperatura de un medio a otro, en este caso entre el interior y el exterior de una vivienda. Este deterioro se produce cuando existe un flujo de aire en el interior de la capa de aislamiento, y no a través de él. Si el aire se queda en el interior del aislamiento, se produce una disminución de la resistencia térmica del aislante con el correspondiente aumento del flujo de calor a través de la capa.

Cuantitativamente la pérdida de energía por la envolvente del edificio, considerando solamente la parte ciega, es de un tercio, lo que supone que el aislamiento interviene en un 4% aproximadamente según el estudio elaborado por Sandberg y Sikander (2007).

3.1.2 Humedades:

La presencia de humedades en las edificaciones muchas veces viene originada por la presencia de grietas en la envolvente que dan paso a filtraciones de agua hacia el interior. La humedad del aire siempre está presente, y la diferencia de presión interior/exterior también, por lo que es necesario una ventilación eficaz para evitar daños por humedad.

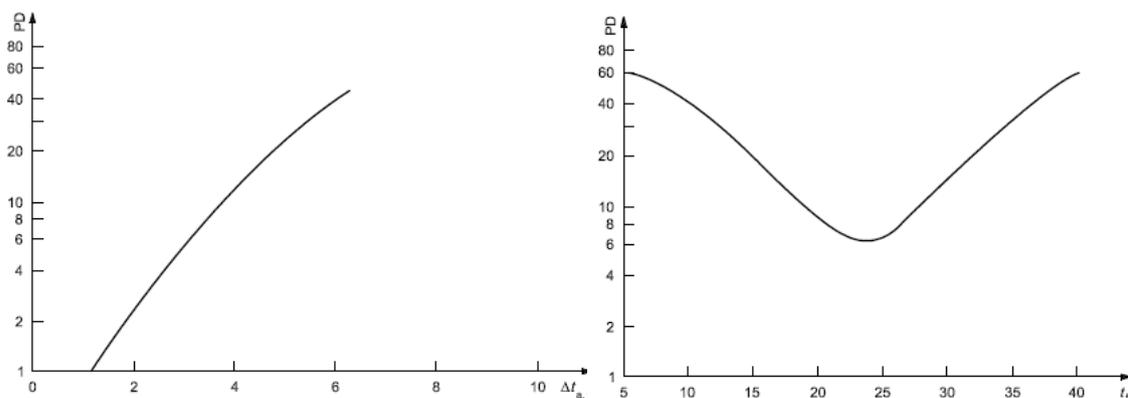
En una cubierta si existen filtraciones de agua se pueden producir humedades, sin embargo no sólo es la única forma posible, puesto que si el aire del interior del edificio se escapa a través de la cubierta y se enfría hasta llegar al punto de rocío se produce la condensación y por tanto vapor de agua acumulando humedad, siendo un factor determinante en el crecimiento de mohos y hongos, y otros microorganismos.

3.1.3 Confort térmico:

Cuando se escribe sobre confort térmico se debe especificar que los datos se basan en el método de Fanger que establece un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) donde siempre existe un 5% de mínimo de personas insatisfechas.

Esta sensación de confort se basa en el intercambio de calor de las personas con el ambiente por medio de la convección, radiación y por evaporación, por lo que es importante determinar que las molestias pueden venir ocasionadas por una diferencia de temperaturas entre el suelo y el techo, lo que se conoce como diferencia de temperatura vertical, la presencia de superficies frías o la velocidad de entrada de aire a través de las infiltraciones produciendo corrientes de aire molestas para el usuario.

Imagen 3. Gráficas de PPD con respecto a la diferencia de temperaturas vertical y suelos y techos fríos



Fuente: ISO 7730. Ergonomics of thermal environment.

Las gráficas anteriores, establecidas por Fanger en la norma ISO 7730, hacen referencia al porcentaje de personas insatisfechas en relación a la diferencia de temperaturas vertical y en cuanto a suelos y techos fríos.

Otra forma de falta de confort es la diferencia de la temperatura radiante, donde se producen asimetrías ocasionadas en paredes o ventanas donde se producen zonas frías y que mucha gente es sensible a dichos cambios de temperatura.

Estos porcentajes de personas insatisfechas han sido estudiados en 2005 por Olesen, donde se determina que un 10% de PPD lleva aparejada una reducción de 1% en la productividad.

3.1.4 Calidad del aire:

Se puede afirmar que la calidad del aire interior de los edificios está afectada por las condiciones físicas del aire y por la presencia eventual de contaminantes de origen orgánico e inorgánico. Por ello se puede decir que existen dos requisitos:

- El aire debe ser percibido como si fuese fresco y confortable.
- El riesgo para la salud debería ser despreciable.

El flujo del aire por medio de las infiltraciones hace que penetren gases y partículas al interior de la edificación. Esta entrada de aire no tiene porqué ser sólo por contacto con el exterior, ya que dichas infiltraciones pueden originarse en la partición entre viviendas, produciendo la entrada de olores, humo de tabaco, u otros gases y partículas.

Otro aspecto a considerar es la difusión de los gases de incendios, tanto las puertas como los demás elementos deben seguir la normativa española en caso de incendios, establecida en el CTE DB-SI, sin embargo las fugas de aire ocasionan un problema que no se puede controlar como es el paso de gases o incluso llamas que pueden provocar un nuevo foco de incendio por las altas temperaturas, además de la propia toxicidad de los gases.

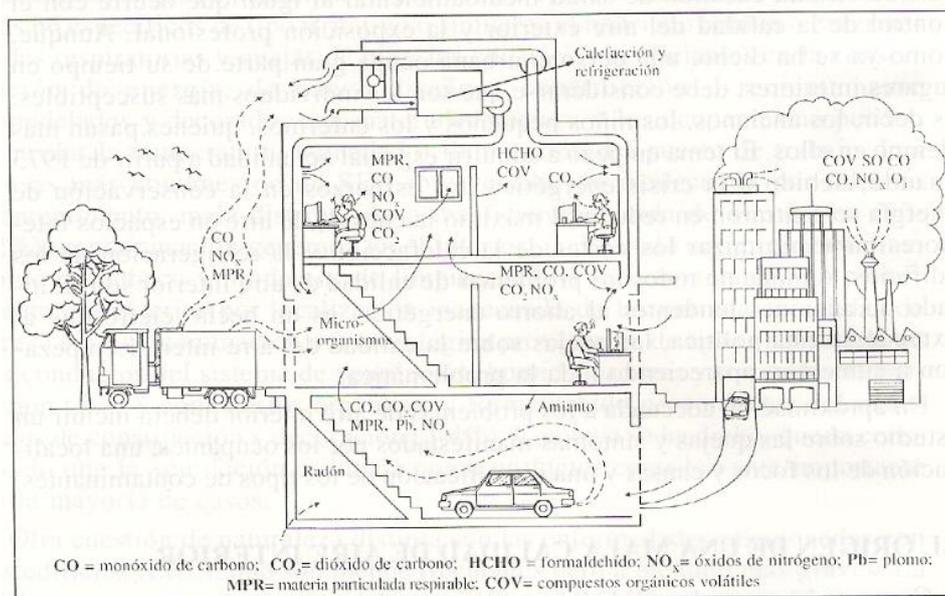
En otro apartado podemos estudiar el Radón que es un gas noble radiactivo que se adhiere a las partículas de polvo y que puede causar cáncer de pulmón. El lugar donde se dan mayores concentraciones es en el terreno, por lo que un sellado perimetral del contacto con el terreno es esencial.

A continuación se expondrán de forma breve otras sustancias más comunes que nos podemos encontrar en el ambiente interior:

- Gases de vertederos: El problema mayor es el de los olores, además de la producción de metano que junto con el CO₂ de la atmósfera puede llegar a inflamarse.

- **Productos de combustión:** Producidos por calentadores de gas, queroseno, carbón, estufas de leña, etc. Hay que añadir la infiltración de los gases de combustión producidos por los coches de los garajes.
- **Tabaco:** Además de los olores, el humo de tabaco, produce irritación de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta.
- **Formaldehídos:** Es un gas incoloro y muy reactivo. Por lo general se produce en la fabricación de resinas sintéticas, así como la formación de material aislante de espumas.
- **COV: Compuestos Orgánicos Volátiles:** A excepción de los formaldehidos, son emitidos por los seres humanos, por materiales naturales y por gran número de materiales de construcción artificiales, mobiliario y equipamiento de los edificios. Producen inflamación de la piel o de las mucosas, o reacciones de stress.
- **Microorganismos:** Bacterias, virus y hongos, los cuales en su mayoría son de origen humano (produciendo enfermedades infecciosas). Otras fuentes están constituidas por humidificadores con mantenimiento deficiente, pudiéndose producir la legionela.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** Es el bioefluente más importante del ser humano. En pequeñas proporciones es inocuo y no es percibido (aproximadamente 350 ppm) Es un indicador que se estudia de forma aislada al resto de los demás contaminantes.

Imagen 4. Diagrama con fuentes de contaminación en el ambiente exterior e interior.



Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

La forma más eficaz de evitar todas las partículas anteriores es reduciendo la contaminación y las fuentes a través de la ventilación, por lo que se coloca un filtro en el sistema de ventilación, otro aspecto que no se puede considerar en las infiltraciones ya que el aire de entrada no pasa por el filtro.

3.1.5 Incendios:

Cuando se produce un incendio se genera humo en el ambiente. La normativa española del CTE establece en el DB SI las pautas que se deben seguir para generar espacios de incendios dentro de un edificio mediante puertas cortafuegos o elementos que resistan un determinado tiempo al fuego.

Este hecho no se puede controlar cuando existen infiltraciones en la envolvente, puesto que al no controlarse esta entrada se puede llegar a generar un nuevo foco de incendio en un espacio independiente en donde se ha generado el incendio, promovido por las altas temperaturas, además de que el humo de un incendio genera un ambiente tóxico.

3.1.6 Otros:

Otro de los puntos problemáticos que genera la falta de hermeticidad es el paso del ruido. El sonido se propaga a través del aire, por lo que es sencillo comprender que si existen aberturas por donde pueda entrar el aire, puede entrar el sonido.

En un ambiente interior se esperan unas condiciones de confort que se pueden ver disminuidas por la presencia de ruidos externos. Esto se establece en la normativa CTE DB HR donde se detallan los tipos de ruidos (aéreos e impacto), así como los límites para tipos de espacios (protegidos y habitables) y por diferentes sistemas constructivos.

3.2 Factores que determinan la hermeticidad:

Del mismo modo afectan otros factores en la hermeticidad de una vivienda como los expuestos por Sherman (2006) donde se establecen que la altura, el área y la edad del edificio son factores determinantes:

- **Altura:** Establece el coeficiente de altura en 1,15, es decir, añadiendo un piso de altura se aumentan las cantidades de fugas en un 15%.
- **Área:** A mayor área mayor será la proporción de aberturas con respecto al volumen total del edificio.
- **Edad:** A medida que más envejecen mayores serán las infiltraciones, a razón de 1% por año.

Para construir de forma estanca es preciso que desde un principio en el diseño del proyecto se tengan en cuenta tales aspectos puesto que, si no se especifican, posteriormente serán más costosos y difíciles de solucionar. Es necesario por tanto estudiar los puntos más conflictivos como pueden ser:

- Penetraciones, fugas y aberturas que no se pueden evitar:
 - Rejillas de ventilación.
 - Junta de la caldera con el exterior.

- Penetraciones, fugas y abertura que se pueden evitar:
 - Encuentro de las ventanas con fachadas.
 - Encuentro de forjados con fachadas.
 - Encuentro de muros en contacto con el terreno.
 - Conexión de elementos prefabricados.
 - Juntas de distintos materiales de la envolvente.
 - Sellado de juntas de dilatación.
 - Sobredimensionado de aberturas de ventilación.

Una vez establecido en fase de proyecto la hermeticidad del edificio se debe pasar a una correcta fase de construcción donde se deberán tener en cuenta todos los aspectos constructivos detallados en el proyecto.

Las aberturas de ventilación de forma intencionada también pueden considerarse puntos de entrada de aire no intencionada, esto ocurre cuando las presiones que se ejercen en las rejillas son de mayor magnitud a aquellas para las que han sido diseñadas, sirviendo de ejemplo rachas de viento muy fuertes, tal como lo estudia Liddament, M. (Ossio 2012) aunque en general, algunas aberturas de admisión disponen de sistemas que impiden que pase más caudal que el proyectado por la normativa.

En cuanto a la metodología usada para la medición del aire de filtración en aberturas no deseadas se utiliza la técnica de presurización.

La prueba de presurización se utiliza para medir la hermeticidad de los edificios, de forma que se generen diferencias de presiones superiores a las naturales, pero que no sean tan elevadas como para que puedan interferir en los resultados. El método consiste en la colocación de un ventilador en un bastidor que a su vez se encuentra colocado en una puerta exterior. Las presiones aumentan de forma automática hasta los 100 Pa, tomándose comúnmente la referencia a los 50 Pa. Todo esto se explicará más detalladamente en los apartados siguientes de este estudio.

La referencia de 50 Pa es elevada si se compara con las presiones que naturalmente se producen, rondando valores próximos a 1 Pa, por lo que a priori países como Francia que utilizan presiones de 4 Pa pueden resultar datos más reales, sin

embargo la fiabilidad de los datos se reduce puesto que se producen grandes interferencias con las presiones naturales.

Genger (Sandberg y Sikander 2007) hace un estudio del margen de error de ambas referencias de presiones, dando como resultado la recomendación de utilizar una presión de 50 Pa, estableciendo un margen de error de 15%, frente al +87% y -45% de la utilización de 4 Pa como diferencia de presión de ensayo.

Hablando de hermeticidad existen de forma común en Europa tres unidades que la expresan:

- Tasa de renovaciones de aire n_{50} : Es la más utilizada y se relaciona con el volumen interior del edificio o vivienda. Da como resultado la cantidad de veces que se renueva el aire teniendo en cuenta el aporte que se produce por parte de las infiltraciones. La unidad de medida es h^{-1} .
- Permeabilidad de la envolvente: Se relaciona el caudal producido por parte de las infiltraciones con la superficie de la envolvente, considerando suelo, techo y paredes laterales como envolvente. Llega a ser un parámetro que nos indica la calidad de la envolvente. La unidad de medida es m^3/hm^2 .
- Estanqueidad con relación al suelo: La utilizan países como Dinamarca y Suecia, y relaciona la estanqueidad de la envolvente con la superficie del suelo, sin tener en cuenta la superficie de toda la envolvente. La unidad de medida es $l/s \cdot m^2$.

De forma generalizada numerosos países de la Unión Europea han introducido en su reglamentación la limitación de la permeabilidad al aire de la envolvente. Sí es cierto que la diferencia de requisitos también viene determinada por las características de cada región, dado que el clima (el viento y la temperatura) influyen de forma directa en la cuantificación de las infiltraciones de aire, por lo que diferentes requisitos pueden ser distintos numéricamente pero que en el fondo sean restrictivamente iguales.

A continuación se muestra una tabla con los requisitos de los diferentes países para medir la estanqueidad de la envolvente.

Como se podrá observar de forma general se miden las infiltraciones a una diferencia de presión de 50 Pa, exceptuando Francia que lo realiza a 4 Pa. Siendo las unidades de medida h^{-1} la forma más común o m^3/hm^2 , exceptuando Suecia y Dinamarca que realizan sus mediciones en l/sm^2 , considerando los m^2 como la superficie del suelo en vez de la envolvente incluyendo suelo, techo y paredes verticales de los demás países.

También a priori parece común a todos los países que las viviendas que disponen de ventilación natural tienen unos requisitos que son menos estrictos que las de ventilación mecánica, donde lógicamente la ventilación está diseñada para que se

produzca mecánicamente y por consiguiente las infiltraciones producirían un menor rendimiento de la instalación al no pasar el aire por elementos como el intercambiador de calor.

En aquellas viviendas que dispongan de ventilación mecánica se puede sustituir el ensayo de presurización por el método IMPEC descrito por Litvak et al. (2002), cuyo fundamento se desarrolló en Francia y es el mismo que el ensayo de presurización, pero en vez de la utilización de la puerta con el ventilador se utiliza la extracción del propio sistema de ventilación mecánica para producir la diferencia de presión.

Imagen 5: BlowerDoor (izquierda) – IMPEC (centro y derecha)



Fuente: Envelope and ductwork airtightness data in france : field practice, regulatory approach, energy implications, and progress needed. (Litvak et al.) 2006.

Tabla 1. Requisitos de hermeticidad de distintos países de la UE.

	PAIS	REQUISITOS	UNIDAD	PRESIÓN
Renovaciones de aire n50	Alemania	Dependiendo del tipo de ventilación: Ventilación natural < 3,0 Ventilación mecánica < 1,5	h^{-1}	50 Pa
	Austria	Dependiendo del tipo de ventilación: Ventilación natural < 3,0 Ventilación mecánica < 1,5	h^{-1}	50 Pa
	Bulgaria	Edificios: Alta estanqueidad < 2,0 Media estanqueidad 2,0 – 5,0 Baja estanqueidad > 5,0 Viviendas: Alta estanqueidad < 4,0 Media estanqueidad 4,0 – 10,0 Baja estanqueidad > 10,0	h^{-1}	50 Pa
	Eslovenia	Dependiendo del tipo de ventilación: Ventilación natural < 3,0 Ventilación mecánica < 2,0	h^{-1}	50 Pa
	Lituania	Dependiendo del tipo de ventilación: Ventilación natural < 3,0 Ventilación mecánica < 1,5	h^{-1}	50 Pa
	Noruega	Viviendas nivel de estanqueidad < 3,0	h^{-1}	50 Pa
	Portugal	Viviendas nivel de estanqueidad, mínimo 0,6	h^{-1}	50 Pa
	Reino Unido	Viviendas nivel de estanqueidad < 10,0	h^{-1}	50 Pa
	Permeabilidad	Bélgica	Valor por defecto = 12	$m^3/h \cdot m^2$
Estonia		Viviendas pequeñas < 6,0 Viviendas grandes < 3,0	$m^3/h \cdot m^2$	50 Pa
Francia		Viviendas unifamiliares < 0,8 Otro tipo de viviendas < 1,2	$m^3/h \cdot m^2$	4 Pa
Letonia		Viviendas < 3,0	$m^3/h \cdot m^2$	50 Pa
Caudal	Dinamarca	Viviendas < 1,5	$l/s \cdot m^2$	50 Pa
	Suecia	Viviendas nivel de estanqueidad < 0,8	$l/s \cdot m^2$	50 Pa

Fuente: Europe's Buildings under the microscope (2011), junto con aportación propia.

3.3 Estudios realizados en diferentes países:

El 28-29 de Marzo del 2012 se celebró en Bruselas unas jornadas internacionales de hermeticidad (François Rémi Carrié 2012) donde se establecieron enfoques de gestión de calidad para la hermeticidad, haciendo una revisión crítica de las medidas adoptadas en 10 países (Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Países Bajos, Japón, Suecia, Reino Unido y EE.UU).

Se debatió sobre que los profesionales de la construcción deben aplicar las directrices de calidad específicas para hacer frente a una buena hermeticidad en el proceso de construcción.

Así mismo se definieron cuatro motivaciones principales detrás de la iniciativa, que se detallan a continuación.

1 - Predecir una buena hermeticidad.

El diseño de una buena hermeticidad en la envolvente debe ser total, no basta con hacer sólo un 90% de la envolvente de forma hermética, puesto que el 10% restante influye negativamente de forma severa.

La gestión de calidad es una de las claves para superar este problema.

2 - Cumplir con el reglamento de eficiencia energética y conseguir incentivos si procede.

En un principio es necesario proporcionar incentivación para establecer buenos controles de calidad. Un ejemplo es la normativa francesa, que desde el año 2006, incentiva los enfoques de gestión de calidad.

3 - Mantener costes asequibles e información al usuario.

La realización de pruebas debe estar orientada y accesible a todo aquel que esté interesado en su realización, puesto que se señalan ahorros significativos de energía.

4 - Mantenerse un paso por delante de la competencia.

El constructor debe asegurar los niveles garantizados de estanqueidad, adherirse a los posibles incentivos de las normativas de eficiencia energética y no sobrepasar los costes establecidos.

Es un tema que implica una carga de trabajo extra, sin embargo los constructores pueden utilizar los ensayos de hermeticidad para promover sus empresas y mantenerse por delante de la competencia.



Como ya se ha visto la mayoría de países de la Unión Europea tienen en sus normativas una exigencia para el control de la hermeticidad de sus edificios, controlando las infiltraciones. Francia y Alemania son dos de los países donde más se ha estudiado la hermeticidad.

A partir del año 2006 en Francia se empieza a impulsar el tema por medio de organismos oficiales, a través de convocatorias de proyectos de edificios de muy baja energía y proyectos de investigación, y la puesta en marcha del programa PREBAT (Programa Nacional para la Investigación y Experimentación de la Energía), creando durante el periodo 2007-2012, aproximadamente 2600 edificaciones de baja energía.

Así mismo se establece la ley Granelle II donde en el año 2011 se introduce la obligatoriedad de la etiqueta energética, donde se da más importancia al consumo energético y a las emisiones de CO₂, consistiendo en una etiqueta dual (una etiqueta para energía y otra de impacto del consumo sobre el calentamiento global). (En España la etiqueta energética es de obligado cumplimiento para viviendas residenciales desde el 1 de Julio de 2013).

El caso de Alemania tiene una trayectoria de investigación mucho más avanzada. Ya en el año 1974 se crean normas adicionales a la DIN 4108 para el estudio de la permeabilidad de las ventanas. Posteriormente se investigarán barreras de vapor y materiales de unión en puertas y ventanas. En el año 1991 se publica un proyecto de norma para la medición de la hermeticidad (ISO 9972), cuyo objetivo fundamental es conseguir una buena eficiencia energética a través de edificios herméticos, esta norma en el año 2001 pasará a convertirse en la norma UNE 13829.

La mayor parte de los estudios están realizados en el norte de Europa con climas fríos, EEUU y Canadá, existiendo en la actualidad estudios donde se analizan resultados para el sur de Europa donde el clima es mediterráneo.

En la tabla de la siguiente hoja se hará un resumen de los datos obtenidos en los artículos que se adjuntan al lado de cada grupo de ensayo.

Tabla 2: Resumen de datos obtenidos en distintos países.

PAIS	AÑO	Nº ensayos	N50 media	N50 min	N50 max	Ref.
Alemania	-	27	1.21	0.01	4.7	M. Papaglastra (2008)
Bélgica	1995-1998	51	7.80	1.8	25	Targo K. (2006)
	-	21	4.99	0.5	22.5	M. Papaglastra (2008)
Canadá	1985-1995	222	3.10	0.4	11	Targo K. (2006)
Corea	2008	22	16.40	4.7	31.6	Hyun-bae Kim (2008)
EE.UU	-	12902	29.70	0.5	84	Targo K. (2006)
España	2013	-	2.60	-	-	Meiss (2013)
	2013	13	4.83	2.35	9.06	(*)
Estonia	1999-2000	19	9.60	4.9	32	Targo K. (2006)
	2003-2005	32	4.90	0.7	14	Targo K. (2006)
	2005-2007	21	3.20	0.7	8.1	Targo K. (2008)
	2005-2007	16	2.80	0.4	5.5	Targo K. (2008)
Finlandia	1981-1998	171	5.90	1.6	18	Targo K. (2006)
	2002-2004	100	3.90	0.5	8.9	Targo K. (2006)
	-	128	2.54	0.3	16.2	M. Papaglastra (2008)
Francia	-	644	3.38	0.04	60.96	M. Papaglastra (2008)
Grecia	2005	40	6.70	1.87	13.1	Sfakianaki (2007)
Holanda	-	218	1.48	0.06	6.2	M. Papaglastra (2008)
Irlanda	2011	28	9.60	5.4	14.9	Mark Dyer (2011)
Italia	2011	20	7.30	3.2	23.3	F.R.d'Ambrosio (2011)
Noruega	1980	61	4.70	2	8	Targo K. (2006)
	1984	10	4,00	3.3	5.4	Targo K. (2006)
	-	17	1.09	0.17	2.79	M. Papaglastra (2008)
Suecia	1978	205	3.70	-	-	Targo K. (2006)
	-	44	1.02	-	-	Targo K. (2006)
Reino Unido	-	471	13.10	2	30	Targo K. (2006)

Fuente: Elaboración propia.

(*) Presente estudio. Para el cálculo sólo se han tenido en cuenta los datos obtenidos en la realización del ensayo mediante el método B de la UNE 13829 sin tener en cuenta aquellas medidas de mejoras como el sellado posterior de determinados elementos.

4. Elementos constructivos

El conocimiento de la situación y el tamaño de aberturas de las fugas de aire son necesarios para controlar la cantidad de infiltración de aire.

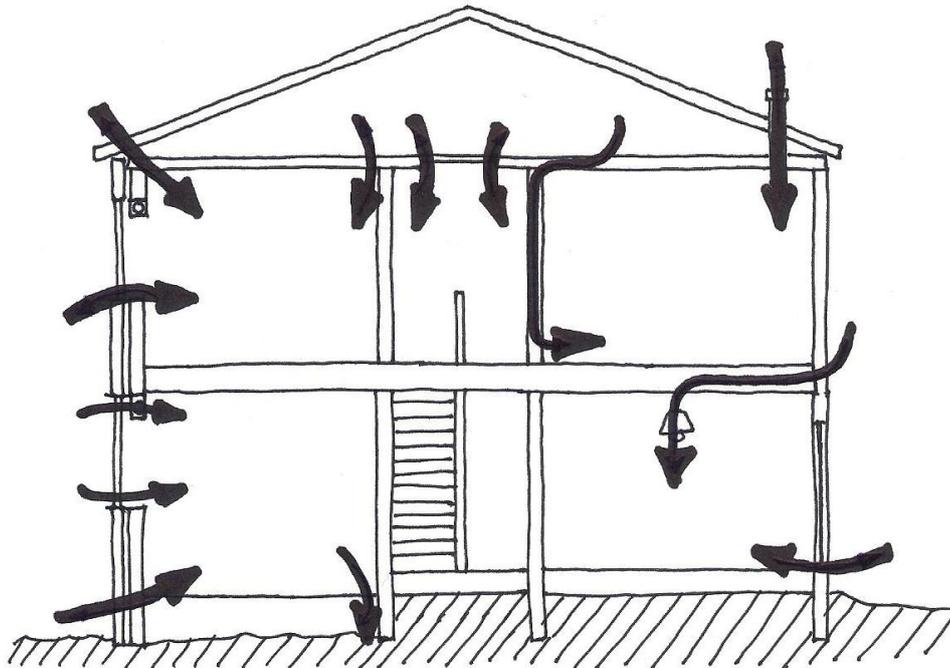
A continuación se expondrán diferentes elementos que influyen en la cantidad total de fugas, tal como se definen en ASHRAE

- **Paredes:** El cerramiento exterior supone gran parte de las fugas de la envolvente sobre todo en encuentros estructurales. Son zonas donde la aparición de grietas en principio por una incorrecta ejecución conlleva puntos de entrada de aire. Por otro lado no sólo se produce esta entrada a través del exterior, si no que las paredes interiores pueden ocasionar también entrada de aire por medio de las tomas de corriente, interruptores o al existir grandes espacios como consecuencia de las rozas para los diferentes tipos de instalaciones.
- **Techo:** Del mismo modo que con los cerramientos verticales interiores y exteriores, en los techos que forman parte de la envolvente del conjunto del edificio al producirse entrada del aire disminuye la efectividad del aislamiento. Por otro lado en el caso de techos interiores mediante ejecución con “falso techo” se producen pérdidas a través de los huecos dejados para las instalaciones de electricidad. Por ejemplo un mal sellado de los halógenos conlleva entrada de aire como en el caso de la vivienda situada en la calle Las Rebolledas de Burgos del presente trabajo.
- **Sistema de calefacción y climatización:** El total de fugas viene definido por diferentes factores tales como: la colocación de la caldera o empleo de generadores de calor eléctricos o por combustible. En la actualidad las calderas permitidas son las estancas, estando las atmosféricas prohibidas, suponiendo una reducción en las infiltraciones. En el caso de viviendas con instalación de climatización las fugas pueden venir derivadas por la utilización de las unidades terminales, por ejemplo fan-coils.
- **Ventanas y puertas:** Entre las ventanas, existe mayor variación en las fugas por el tipo de ventana que es (oscilobatiente, correderas, guillotina, etc) que por ventanas que sean del mismo tipo pero de diferentes fabricantes. Aquellas ventanas que disponen cierre hermético mediante burletes comprimidos presentan una cantidad de fugas más bajas que las que disponen de junta de estanqueidad deslizante. Para el caso de puertas exteriores las características son las mismas que para las ventanas, existiendo diferencia entre las puertas de apertura batiente y las correderas.

Para la metodología del ensayo de permeabilidad al aire de puertas y ventanas se debe seguir lo establecido por la norma UNE-EN 12207, del mismo modo se remite a ella para clasificar las ventanas.

- Aberturas de ventilación: Aunque se encuentran diseñadas para tal fin, las aberturas pueden no disponer de reguladores de caudal, aunque en la actualidad existen numerosos modelos que disponen de ello, por lo que pueden suponer un punto de entrada de aire a considerar.
- Pisos suspendidos: La presencia de cámaras sanitarias en la cimentación de un edificio lleva aparejado un aire que está en libre movimiento, considerando un peligro potencial como entrada de aire a través de juntas estructurales. El mismo problema se encuentra en la colocación de suelos técnicos aunque estos están más orientados a edificios de oficinas y locales.
- Abertura en techo para acceso a bajo cubierta: Este problema está presente en viviendas que disponen de un acceso desde el interior hacia un local no acondicionado como es una bajo cubierta no habitable, bien haga funciones de desván, o para trabajos de mantenimiento. En los ensayos realizados este tipo de problema se encuentra en las viviendas de las calles Bernardo el Carpio (Saldaña-Palencia) y Hoces de Riaza (Aldeamayor de San Martín-Valladolid).

Imagen 6: Representación de puntos de entrada de aire en viviendas.



Fuente: Elaboración propia.

5. Ensayos para determinar la hermeticidad

5.1 Test de presurización por medio de ventilador (Blower-Door)

Esta forma de medida es la utilizada en el presente trabajo para determinar el nivel de infiltraciones de las viviendas estudiadas.

Se trata de un ventilador colocado en una puerta o ventana exterior que genera una diferencia de presión, bien sea presurizando el ambiente o despresurizándolo, por medio de la inyección o extracción de un caudal de aire. El resultado de dividir el caudal a una presión de 50 Pa por el volumen del aire interior da como resultado las renovaciones/hora del edificio, como forma de medir la hermeticidad.

Una vez medida la tasa de fuga para un edificio, es útil estimar el tamaño total de todas las fugas o aberturas en la envolvente del edificio. El área de fuga estimada nos proporciona una manera de visualizar el tamaño físico de los agujeros medidos en el edificio. Esto puede ser importante cuando se trate de explicar los resultados de un test de hermeticidad al propietario de un edificio.

El software de análisis de la prueba de hermeticidad TECTITE Express calcula dos áreas de fuga separadas, basadas en diferentes suposiciones acerca de la forma física del agujero. Estos cálculos del área de fuga son compatibles con los dos modelos de infiltración más comúnmente utilizados, EqLA y ELA.

El área de fuga equivalente (EqLA) está definida por los investigadores canadienses en el Consejo de Investigación Nacional de Canadá como el área de una abertura de borde afilado por la cual se filtrará la misma cantidad de aire que el medido a una diferencia de presión de 10 Pascales.

El área de fuga efectiva (ELA) fue desarrollado por el Laboratorio de Lawrence Berkeley (LBL) y se utiliza en su modelo de infiltración. El área de fuga efectiva se define como el área de una abertura de borde redondeado por la cual se filtrará la misma cantidad de aire que el medido a una diferencia de presión de 4 Pascales.

Se considera importante destacar que, al utilizar los cálculos del área de fuga para medir las aberturas en la envolvente, se recomienda utilizar la medición EqLA canadiense. Normalmente, EqLA se aproxima más a los cambios que puedan surgir en la envolvente y afectan a la hermeticidad. Por ejemplo, si se realiza una prueba de infiltraciones y, a continuación, se hace una abertura de $X \text{ cm}^2$ y se repite la prueba, el EqLA estimado habrá aumentado en la misma cantidad el resultado de la prueba inicial. El área de fuga equivalente también es más fácil de medir, sobre todo en ocasiones con mucho viento, puesto que la medición se realiza a una presión más alta que en el caso del área de fuga efectiva.

No obstante existen otros valores de medida de áreas de fugas:

Área de fuga específica (SLA) se calcula dividiendo ELA por la superficie de suelo acondicionado.

Fuga normalizada (NL), que se define por la norma ASHRAE, es un número adimensional resultante de dividir ELA por la superficie de suelo útil acondicionado, multiplicado por un factor de corrección que varía con la altura del edificio. Para la mayoría de los edificios, las fugas normalizadas se pueden aproximar mediante la división N50 por 20.

Preparación de los ensayos:

La normativa que hay que seguir en España para la realización de pruebas de estanqueidad al aire en edificios mediante el método de presurización por medio de ventilador es la UNE EN 13829, modificando el proyecto de Norma Europea prEN ISO 9972.

En los ensayos realizados para esta investigación se ha buscado la aplicación de esta norma para diferentes usos tal como permite la norma:

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

Todos los ensayos realizados permiten la medición de la permeabilidad al aire del edificio, así como la identificación de los puntos de entrada de aire considerados fugas. Así mismo la comparación de edificios similares está desarrollada en el ejemplo de las viviendas sitas en Palencia, calle Roma portal 12 y portal 14, en ambos portales se ha estudiado la vivienda Bajo B.

Para el estudio del cuarto punto que permite la norma se ha estudiado una vivienda con contraventanas para determinar la incidencia en la permeabilidad al aire.

Existen dos métodos de ensayo:

- Método A (ensayo de un edificio en uso).
- Método B (ensayo de la envolvente del edificio).

Para todos los ensayos se ha utilizado el método B donde las aberturas intencionadas en la envolvente del edificio deben ser selladas o cerradas para que la parte del edificio responda a la diferencia de presión como una sola zona. Para ello es necesario que las puertas interiores de las distintas estancias permanezcan abiertas durante la realización del ensayo. Por otro lado si hubiese un sistema de acondicionamiento de aire deberá ser desconectado durante el tiempo de ensayo.

Antes de comenzar se deberá asegurarse visualmente que la envolvente del edificio se encuentra totalmente cerrada, así como que los sifones se encuentran llenos o sellados. También se deberá asegurar que las condiciones climatológicas de temperatura y viento son óptimas y están dentro de los márgenes que marca la normativa. La velocidad deberá ser menor de 6 m/s ó 3 en la escala de Beaufort para disponer de datos fiables, y el producto de la diferencia de temperatura interior/exterior por la altura de la envolvente deberá ser menor de 500 m·K.

No obstante antes y después de cada ensayo es necesario determinar las condiciones de flujo cero para comprobar si el ensayo es válido o no.

Se ha escrito un artículo desde la universidad de Sevilla elaborado por Jesica Fernández-Agüera, et al. (2011) donde se establecen unas propuestas de procedimientos de medición, existiendo una serie de variables comunes a todas ellas como es el tiempo de medición, las condiciones meteorológicas, la diferencia de presión y la secuencia de la diferencia de presión.

Las propuestas que se estudian son:

- M1: Corresponde al método A de la normativa UNE 13829.
- M2: Las viviendas suelen ventilarse mediante la extracción de aire de los espacios húmedos (baños y cocinas). Las rejillas o aberturas a través de la cual el aire se extrae están selladas, principalmente en cocinas y cuartos de baño. Es el protocolo más adecuado si se desea evaluar la relación entre la estanqueidad de las viviendas y su demanda de energía. La norma ISO 9972 establece que para calcular la tasa de renovación de aire causada por filtraciones a través de la envolvente, las aberturas naturales de ventilación deben permanecer abiertas cuando se está realizando el test de presurización.
- M3: Corresponde al método B de la normativa UNE 13829.
- M4: Método B pero con la particularidad de que la cocina debe permanecer sellada.
- M5: Método B añadiendo el sellado de cocina y baños. En combinación con M4, es capaz de evaluar más detalladamente la estanqueidad de la envolvente del edificio produciendo una facilitación en trabajos de mejora de la misma.

Si se comparan M2 y M3 se puede calcular la contribución de la infiltración producida por las aberturas intencionadas en la envolvente.

Si se comparan M3 y M4 se obtiene la contribución de aberturas no controladas en la cocina y por consiguiente en el cuarto de baño, al ser sellada la cocina en M4.

M4 y M5 son prácticamente idénticas, puesto que los baños no suelen disponer de aberturas en las paredes exteriores. Siendo estos métodos adecuados para el estudio de las diferencias entre los modos de construcción entre cuartos húmedos y cuartos secos.

De este artículo se sacan las conclusiones de que en M4 y M5 se reducen en aproximadamente un 42% las infiltraciones con respecto a M1. En M2 y M3 se reducen un 13,4% en relación a M1, mostrando la importancia de las aberturas intencionadas en la edificación.

Para la realización de un test de presurización es posible realizar dos tipos de pruebas:

- Ensayo de un solo punto: Para este tipo no es necesario la utilización de software. El método es simple, se crea la diferencia de presión por medio del regulador de velocidad y se toman las lecturas directamente del manómetro.
- Ensayo de múltiples puntos: Permite la evaluación de la construcción sobre rangos de presiones en 8-10 puntos que van desde 10-15 a 60-70 Pa.

La ventaja de la utilización del método de los múltiples puntos es el aumento de la precisión de la prueba debido a que los errores son promediados a lo largo de varias mediciones, siendo este método el utilizado para los ensayos del presente trabajo.

Para el método de un solo punto la medición se debe realizar en condiciones climatológicas muy óptimas, ya que el margen de error es mayor que en el método de múltiples puntos.

A continuación se explicará los márgenes de error del test de presurización.

Errores de medición:

Como ya se ha visto anteriormente las fugas de aire en un edificio son un factor importante que supone un control de la calidad de la hermeticidad de la envolvente y una medida cuantitativa que nos expresa la pérdida de energía de una vivienda y que también afecta a la calidad del aire interior.

La prueba de hermeticidad se realiza a presiones de 50 Pa, sin embargo estas presiones se consideran elevadas por lo que habría que extrapolarlas a presiones más bajas para obtener resultados comparables a situaciones habituales.

Esto inevitablemente produce una serie de errores, tanto los propios del ensayo, como aquellos derivados de la extrapolación de los resultados.

Una estimación del error de medida se conoce como medición de incertidumbre, existiendo un error de precisión y un margen de error.

El error de precisión es la propiedad que se obtiene por la realización de mediciones de forma repetida, el margen de error es causado por desviaciones sistemáticas del nivel de referencia y se estima por medio de la diferencia entre el promedio de la muestra de algunas medidas y el nivel de referencia

A su vez el error de medición se puede subdividir en dos parámetros: flujo de aire y presión, siendo esta última la más afectada por las variaciones del viento, tal como explican Modera M.P y Wilson D.J. (1990) en su estudio de los efectos del viento en las medidas de infiltraciones en edificios residenciales, demostrando que el aumento de la velocidad del viento hace aumentar la incertidumbre de la medición, del mismo modo consideran algunas técnicas para reducir los errores.

En dicho estudio se establece que el viento cambia los flujos y presiones medidos asociados a una presión del ventilador. Un viento que sea perfectamente constante crearía unos márgenes de error o sesgos entre la diferencia de presión medida y la presión real a través de las fugas de la envolvente y el ventilador. En cada edificio la situación ideal sería la colocación de un tubo que nos mida la presión atmosférica en cada orientación (sonda de viento), para calcular la media y que el dato tuviese menos error y fuese más fiable.

Los efectos de la turbulencia del viento, es decir, la variación en la velocidad del viento, influyen en las fluctuaciones que se producen en las mediciones, es por esta razón por la que la prueba de presurización se realiza a grandes diferencias de presión entre el interior y el exterior para que las condiciones meteorológicas no interfieran en los resultados obtenidos.

Para probar estos márgenes de error se hicieron pruebas en Edmonton (Canadá) en un edificio de viviendas desocupadas con distintas intensidades de viento, concluyéndose que el límite de velocidad del viento debería ser de 5 m/s lo que produciría una dispersión menor a un 11%.

- Error en la medición de la presión:

El viento constante y la diferencia de temperatura pueden hacer que la presión varíe a través de diferentes partes de la envolvente, provocando que la consideración de presión idéntica en toda la envolvente sea errónea.

- Error en la medición del flujo de aire:

El ventilador utiliza la caída de presión por medio de unos discos de diferentes aberturas que son colocados para regular el caudal. El error de flujo se produce a través de los discos de aberturas del ventilador.

Generación de altas presiones (ejemplo de 50 Pa) pueden suponer un error estimado de 7%, mientras que si se trabaja a presiones bajas (ejemplo de 4 Pa) se obtiene una incertidumbre del 40%, según un artículo de Sherman (1995).

- Error en edificios multifamiliares:

La realización del ensayo en una vivienda perteneciente a un bloque supone una fuente de error producida por las viviendas adyacentes del edificio. Se considera que todas las particiones interiores pertenecientes a ambas viviendas forman parte de la envolvente, bien sabido que esto no es cierto, produciéndose unas filtraciones desde la vivienda contigua que no proceden del ambiente exterior.

En un estudio de Community Housing Partners se calcula el error que puede suponer realizar el ensayo considerando como una sola zona o como varias, llegando a unos márgenes de error del 20% mayores en el caso de estudio de viviendas individuales. No obstante este margen varía en su estudio desde un 6% a un 29%, pero lo que sí se puede determinar es que a medida que se aumenta la altura de la vivienda el margen de error va disminuyendo.

Este error puede subsanarse en gran medida si se procede a la apertura de las ventanas y puertas de las viviendas en contacto con la de estudio, creando solamente una zona de presiones alrededor de la falsa envolvente de la vivienda.

Por otro lado se puede utilizar uno de los cinco métodos descritos por Sebastiano DePani para el cálculo de la tasa de infiltración en viviendas pertenecientes a un bloque, disminuyendo el valor del error.

Método 1 (Independiente): Es el método más utilizado y es similar al procedimiento estándar para una vivienda individual. Las paredes y pisos en contacto con viviendas adyacentes se tratan como parte de la envolvente. Las ventanas y puertas de las viviendas en contacto deben estar abiertas.

Método 2 (Igualación de presiones): Todas las viviendas se deben despresurizar a la vez y con la misma presión que la vivienda de ensayo, por lo tanto este método requiere mayor cantidad de instrumental.

Método 3 (Presión): Se produce una caída de presión en las viviendas adyacentes y se mide el flujo a través de las particiones en contacto con la vivienda de estudio.

Método 4 (Construcción): Se tratan todas las zonas como una sola zona individual. El área total de fugas es representativa de todas las unidades individuales, por lo que el resultado se puede individualizar en proporción a la superficie de envolvente de cada vivienda en contacto con el ambiente exterior. (Personalmente este método no creo que sea el más idóneo, puesto que existe la posibilidad de penalizar a una vivienda donde se haya mejorado la hermeticidad en contraposición con otras).

Método 5 (Punto individual): Es idéntico al método 2, con la única diferencia de que la relación entre flujo y presión se establece para un valor de 0,65. Consiste en igualar la presión a través de las superficies que sean compartidas.

Para un estudio de varias zonas se puede sacar mayor información de la construcción mediante la utilización de dos equipos Blower-Door siendo posible medir valores entre zonas adyacentes sirviendo de ejemplo la permeabilidad al paso del aire de una pared. Para ello, la técnica consiste en mantener una diferencia de presión constante entre una de las zonas y el exterior, mientras que simultáneamente se va variando la presión de la otra zona.

Esto permite la determinación del caudal de aire introducido en la segunda zona para mantener una diferencia de presión requerida entre estas dos zonas. Teniendo en cuenta que la presión entre la primera zona y el exterior se mantiene constante, por lo que el caudal de aire desde esta zona hacia el exterior no sufrirá variación.

Se ha de buscar que la diferencia de presión entre las dos zonas sea nula, este procedimiento determinará la cuantía del caudal de aire.

De esta forma se asegura que todo el caudal que ha sido impulsado mediante los ventiladores sale hacia el exterior. Dando como resultado que si la diferencia de presión entre el interior y el exterior en cada zona es la misma que se vaya a utilizar para el resto del ensayo para la primera zona, se habrá medido el caudal constante entre la primera zona y el exterior.

Siendo esto así, variando la diferencia de presión entre las dos zonas, se producirá un flujo de aire desde la zona de mayor presión hacia la de menor presión. Esto supone que para mantener la misma diferencia de presión entre la primera zona y el exterior será necesario variar el caudal del ventilador de esta primera zona, produciendo un nuevo caudal de aire necesario según la diferencia de presión entre zonas, definiéndose el caudal de aire que atraviesa la pared para la diferencia de presión entre las zonas estudiadas.

- Mejora de errores:

Los errores pueden reducirse mediante aparatos más precisos, sin embargo el clima en conceptos de temperatura y viento no son modificables, por lo que se considera necesario la realización de las pruebas en condiciones ambientales óptimas, tal como nos marca el apartado 5.1.4 (Condiciones meteorológicas) de la norma UNE EN 13829.

Lo normal que nos marca la norma UNE EN 13829 se estipula entorno a un 5% y el 10%. Por otro lado recoge el error producido por el viento considerando el mismo valor que el estudio de Sherman (pudiendo llegar al 40% en condiciones de viento fuerte).

Así mismo en el Anexo C de la citada norma se establece un procedimiento recomendado para la estimación de errores en las cantidades derivadas, estableciéndose una estimación de los intervalos de confianza de los valores del coeficiente C y del exponente n, del flujo de aire de la ecuación:

$$Q = C \cdot \Delta P^n$$



El exponente “n” variará en valores comprendidos entre 0,5 y 1. Valores próximos a 0,5 supone un flujo de aire en régimen turbulento donde las aberturas serán de mayores dimensiones y no existirá apenas rozamiento, mientras que nos encontramos en régimen laminar para valores próximos a 1.

5.2 Gas trazador:

Se trata de un gas inerte que se mezcla uniformemente en el aire del interior del edificio. La concentración de gas identifica el aire que dispone el edificio y que por medio de las infiltraciones se elimina dicha concentración.

El gas trazador deberá ser no tóxico y no reactivo, utilizándose de forma común el óxido de carbono, hidrógeno, argón, helio, óxido nitroso, metano, etano, hexafluoruro de azufre y otros, considerándose como seguros cuando las concentraciones son de 50 a 100 veces su límite interior de inflamabilidad.

Las aplicaciones más usuales son:

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

Desde el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo se presentan unas características que el gas trazador debe disponer (aunque ningún gas utilizado cumple todas las condiciones simultáneamente):

- Químicamente estable y no reaccionar con ningún compuesto presente en el aire.
- Su utilización no debe representar ningún peligro para la salud y la seguridad de las personas, así como no ser causa de disconfort (debe ser inoloro).
- Su densidad y su capacidad de difusión deben ser similares a las del aire, aunque ello dependerá del tipo de estudio a realizar.
- No debe ser un constituyente normal del aire o, caso de encontrarse presente en el mismo, estarlo en un orden de magnitud muy inferior a la que se considera en las mediciones a efectuar.



- Debe poder medirse fácilmente a bajas concentraciones y durante cortos períodos de tiempo con técnicas de medida que no presenten problemas de interferencias.
- No debe condensar fácilmente.
- Debe ser un producto comercial y de bajo coste.

5.2.1 Método de la caída de la concentración:

Es el método más utilizado para determinar velocidades de ventilación aunque también es adecuado para medir infiltraciones e identificar zonas de estancamiento. Consiste en introducir una cantidad conocida de gas trazador en el recinto que se quiere controlar, mezclarlo completamente con el aire para obtener una concentración uniforme y medir la caída de la misma a lo largo de un periodo de tiempo. Ello se puede llevar a cabo mediante la toma y análisis de muestras de corta duración o mediante sistemas continuos de medida.

Las gráficas resultantes relacionan la concentración de gas en mg/kg con respecto al tiempo en minutos para obtener con las pendientes de las rectas las renovaciones por hora.

Para lograr unas condiciones iniciales adecuadas el gas trazador puede liberarse a través del sistema de ventilación o en un punto del recinto, aunque en este último caso se precisará de un sistema mecánico (ventilador) para lograr una concentración homogénea (más adelante se especificará cómo asegurarse de que se ha conseguido la mezcla de forma adecuada). Si el aporte de aire al recinto es constante la concentración de gas trazador caerá exponencialmente con el tiempo.

5.2.2 Método de la emisión constante:

Este método se utiliza principalmente para medir velocidades de ventilación, caudales de aire en los conductos o efectuar un seguimiento de la contaminación existente. Consiste en liberar el gas trazador en el recinto a una velocidad constante a lo largo de todo el periodo de medida. Cualquier cambio que se presente en la concentración de gas trazador estará relacionado con la velocidad de renovación.

5.2.3 Método de la concentración constante:

Puede aplicarse en los mismos casos que el método de la emisión constante. En este método el gas trazador se dosifica para mantener su concentración constante. La renovación del aire es directamente proporcional a la velocidad de emisión de gas trazador requerida para mantener la concentración constante.

En todos los métodos la fuente de error se presenta por problemas de mezclas puesto que el gas trazador debe mezclarse uniformemente en el ambiente interior.

Para asegurarse de que la mezcla se produce de forma correcta se puede proceder a:

- Introducir el gas por varios puntos por medio de una tubería de inyección perforada o a través de varias tuberías.
- Emplear ventiladores que mezclen el gas con el aire interior.
- Comprobar que la mezcla es homogénea analizando varios puntos de la mezcla, esto nos dará una disminución en el margen de error.

Tabla 3: Características de los diferentes métodos de medida.

MÉTODO	UTILIZACIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES	EQUIPO MÍNIMO
CAÍDA DE LA CONCENTRACIÓN	Renovaciones de aire discretas en periodos cortos	Equipo de medida sencillo, bajo costo y poco consumo de gas trazador	No indicados para mediciones de larga duración.	Botella de gas trazador Ventilador Monitor de gas
EMISIÓN CONSTANTE	Renovación continua de aire durante periodos largos de tiempo	Equipo de medida sencillo	Consumo elevado de gas trazador	Botella de gas trazador Medidor de caudal Ventilador Monitor de gas
CONCENTRACIÓN CONSTANTE	Renovación continua de aire en edificios ocupados	Permite medir la renovación media de aire en periodos largos con variaciones en la renovación y dar detalles de las mismas.	Coste de gas trazador elevado Equipo de medida caro	Botella de gas trazador Medidor de caudal Ventilador Monitor de gas Dosificador del gas trazador

Fuente: NTP 345 - El control de la ventilación mediante gases trazadores (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

5.3 Método acústico:

El sonido es el resultado de pequeñas fluctuaciones de presión en un ambiente. Estas fluctuaciones se propagan como longitudes de onda a través del aire, que chocando con un objeto sólido producirá una vibración en forma de sonido.

Este método es el más básico de los expuestos y requiere tan solo de una fuente de sonido a un lado del cerramiento de la vivienda, generalmente siempre por el exterior, y un equipo de escucha que utilizará el profesional por el interior de la vivienda.

Como fuente de sonido se puede utilizar cualquier aparato, siendo preferible los sonidos constantes y agudos. Para la medición del sonido se utilizarán unos sonómetros junto con un equipo de escucha estetoscópico.

Inicialmente se pone en funcionamiento la fuente de sonido en un lado del cerramiento, a continuación el operario por el lado contrario se va moviendo por el

cerramiento interior con el equipo de escucha. Donde aparezca una fuga de aire, habrá un incremento en el volumen del sonido pudiendo llegar a niveles de aumento de 10 dbA.

Se trata de un método que conlleva una gran cantidad de limitaciones, puesto que las rutas de las fugas muchas veces son complejas y el sonido se puede atenuar en los aislamientos dispuestos para tal fin, por lo que es un método óptimo sobre todo cuando se traten cerramientos interiores donde no exista aislamiento, sirviendo de ejemplo las fugas localizadas en tomas de corriente.

Otro gran inconveniente es que el sonido se refleja en las paredes, por lo que al encontrarse en una solución de esquina, puede aumentar el volumen de sonido en 3 dbA sin embargo no implica un punto de fuga.

Como beneficios de este método se puede destacar que el instrumental necesario está prácticamente al alcance de cualquier usuario por el bajo coste que supone, así como que no es necesario que existan diferencias de presiones o de temperaturas.

Imagen 7: Test de presurización, gas trazador y método acústico.



Fuente: BlowerDoor GmbH - Enedi Therm - Estudios acústicos.

5.4 Técnicas complementarias

Como complemento al test de presurización se puede utilizar la termografía infrarroja o el humo para determinar visualmente los puntos de entrada de aire del exterior

5.4.1 Termografía infrarroja

Es una técnica que permite ver la temperatura de una superficie con precisión sin tener que tener ningún contacto con ella. Gracias a la física podemos convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura, esto es posible midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

La medida mediante cámara termográfica es un método de inspección no destructivo basado en la radiación infrarroja emitida por todos los materiales por encima del cero absoluto.

El ser humano no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, son capaces de medir esta energía con sus sensores, puesto que son capaces de observar esas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de una superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto alguno. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala, significa una temperatura distinta.

El campo de aplicación de esta técnica tiene una extensión que va más lejos de la simple toma de medidas de temperatura, y abarca tanto aplicaciones industriales como de investigación y desarrollo.

De las imágenes termográficas se puede sacar dos tipos de análisis, uno cuantitativo y otro cualitativo, siendo este último el utilizado para el presente trabajo puesto que no es tan importante la temperatura de entrada como la localización de los puntos de entrada.

1. Localización de fugas en instalaciones:

La termografía es una herramienta muy útil y fácil de usar para la detección y comprobación de fugas en tuberías y conducciones. Incluso cuando éstas no se aprecien a simple vista. Ejemplos típicos son la detección de fugas en calefacciones de suelo radiante. Determinar la localización exacta de las fugas evita trabajos de localización innecesarios ahorrando costes.

2. Localización de defectos constructivos:

Gracias a esta técnica es sencillo comprobar si la ejecución de la obra ha sido correcta. La termografía visualiza instantáneamente pérdidas térmicas, humedades y fugas de aire que ocurren en los edificios por medio de imágenes a color.

3. Localización de pérdidas energéticas:

Los puentes térmicos no sólo son una pérdida de energía sino que pueden dar lugar a condensaciones o humedades. Como consecuencia, esos puntos pueden enmohecerse, con el consiguiente riesgo para la salud de los usuarios. Además, los puentes térmicos también actúan a veces como puentes acústicos. Un óptimo aislamiento térmico normalmente implica un buen aislamiento acústico. La termografía infrarroja detecta inmediatamente las localizaciones con deficiencias.

4. Localización de fugas de aire:

Esta es la finalidad con la que se aplicará esta técnica en este estudio. Para ello se emplea el procedimiento Blower-Door, en el que se genera una baja presión en el edificio para forzar que el aire exterior, a mayor presión, penetre por las zonas que no estén selladas correctamente. Este flujo de aire puede observarse fácilmente con una cámara de termografía. Una vez identificadas las fugas se pueden reparar antes de que los revestimientos hagan costosa y complicada la eliminación de un eventual defecto de construcción.

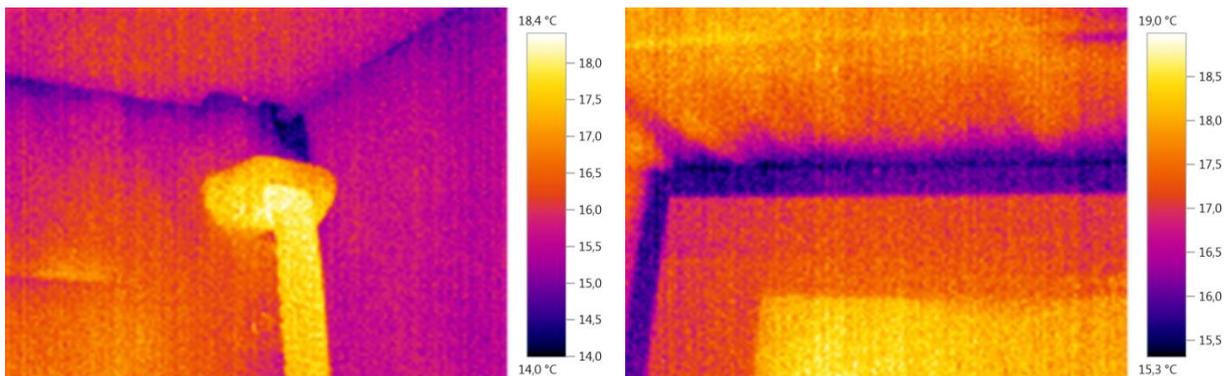
5. Localización de fugas en tejados:

La evaluación de filtraciones de agua en tejados de cubierta plana es otra aplicación muy común. Se pueden reducir ampliamente los costes de reparación identificando las zonas húmedas con problemas en vez de reemplazar por completo el tejado.

6. Otras aplicaciones:

- a. Calificación y certificación energética.
- b. Inspección técnica de edificios.
- c. Restauración y rehabilitación.
- d. Localización de patologías constructivas.
- e. Localización de puentes térmicos.
- f. Localización de problemas en aislamientos.
- g. Localización de fallos de hermeticidad.

Imagen 8: Ejemplos de imágenes termográficas por infiltración de aire.



Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Humo

Consiste en llenar el ambiente interior con humo para que una vez activado el ventilador, y creado la diferencia de presión el humo sea evacuado del ambiente a través de las fugas de la envolvente permitiendo su fácil inspección visual. Este método es de gran utilidad cuando no es posible la inspección con la cámara termográfica al no existir diferencias de temperaturas relevantes.

Es posible realizar este procedimiento de dos maneras, la primera es la anteriormente expuesta mediante la utilización de equipos de mayores dimensiones, y la segunda consiste en la utilización de tubos generadores de humo, consistiendo en una bomba aspiradora de caucho que es sostenida manualmente.

En la bomba se coloca un tubo de plástico que posee dos químicos diferentes cerrados herméticamente. Se procede a la rotura y los dos químicos se mezclan formando un humo que se expulsa al ambiente al apretar la bomba aspiradora.

Imagen 9: Tipos de generadores de humo.



Fuente: BlowerDoor GmbH - Nextteq®

5.4.3 Anemómetro

El anemómetro se utiliza para la medición de la velocidad del aire o de otros gases, principalmente en conductos cerrados o en las salidas de sistemas de impulsión de aire como en las instalaciones de climatización.

Generalmente este tipo de instrumento se utiliza para el cálculo de condiciones meteorológicas, sin embargo es posible su utilización en zonas interiores de viviendas, dando la opción de cuantificar la velocidad de entrada del aire a través de las fugas en los casos de infiltraciones al haber sido creada previamente la despresurización del ambiente.

Existen numerosos tipos de anemómetros, sin embargo el más utilizado en relación con la cuantificación de infiltraciones es el de hilo caliente, donde se mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calefactado eléctricamente. El sensor calefactado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor.

Este aumento de voltaje es necesario para mantener la temperatura constante, y está directamente relacionado con la transferencia del calor y, por tanto, con la velocidad del fluido.

Imagen 10: Anemómetros de tipo hilo caliente.



Fuente: BlowerDoor GmbH - Omega®

6. Consideraciones previas a la realización de ensayos prácticos

Para la utilización del test de presurización por medio de ventilador es necesario aclarar que de forma ideal se debería realizar los ensayos en viviendas aisladas más que en edificación en bloque, puesto que parte de las infiltraciones resultantes en una vivienda en bloque pueden provenir de las viviendas adyacentes, no obstante la normativa permite su utilización para este último caso.

Al encontrarnos en una vivienda aislada toda la envolvente se encuentra en contacto con el ambiente exterior, por lo que las condiciones climatológicas serán constantes (creando zonas de presión y sobrepresión), y los resultados de tamaños de aberturas por m² de envolvente van a poderse considerar como de las mismas características en cuanto a que no influirán los cerramientos adyacentes y sólo los propios de la envolvente.

En cuanto al clima, el territorio español se divide en zonas climáticas desde la A1 hasta la E1, dependiendo de la severidad climática de invierno (SCI) y de verano (SCV), formando distintas combinaciones expuestas en el Apéndice D del CTE DB-HE (Documento Básico de Ahorro de Energía).

La primera letra hace referencia a la severidad climática de invierno, siendo la letra A la menos severa y la letra E la peor en condiciones de invierno, a esto se le acompaña un número del 1 al 4 correspondiente a las condiciones de verano.

Centrándonos en Castilla y León, puesto que es el objeto de estudio, el clima es mediterráneo continental, con inviernos largos y fríos, con temperaturas medias de entre 4 y 7 °C y veranos cortos y calurosos de entre 19 y 22°.

Aunque Castilla y León se encuentra localizada dentro de un mismo clima continental, en sus provincias se distinguen distintas zonas climáticas:

- D1: Palencia es la única provincia de Castilla y León perteneciente a esta zona climática, inviernos moderados-severos y veranos suaves.
- D2: Zamora, Salamanca, Valladolid y Segovia están dentro de esta categoría.
- E1: Es la zona climática más severa para condiciones de invierno. Burgos, León, Soria y Ávila pertenecen a esta categoría.

Para este estudio se han realizado un total de 13 ensayos de diferentes tipologías edificatorias y zonas climáticas, todos ellos pertenecientes a la Comunidad de Castilla y León.

Se han analizado los resultados de:

- 7 viviendas en la localidad de Palencia, de las cuales 6 pertenecen a edificación en bloque y 1 a vivienda unifamiliar. A su vez 5 de ellas pertenecen a inmuebles localizados en la capital y 2 de ellas a viviendas pertenecientes a pueblos adyacentes.
- 4 viviendas en la localidad de Burgos, todas ellas pertenecientes a edificación en bloque y situadas en la capital burgalesa.
- 2 viviendas en la localidad de Valladolid, una de tipología edificatoria en bloque y la otra de vivienda unifamiliar. A su vez el edificio en bloque se encuentra en la capital y la vivienda unifamiliar en una localidad cercana.

Imagen 11: Localización en Castilla y León de las viviendas objeto de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Estudios en Palencia:

- Calle Roma 14, Bajo B
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1997
Fecha de ensayo: 11/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 80,96 m² útiles, con terraza descubierta y cambio de ventanas de aluminio en el año 2009.
Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.
- Calle Echegaray 2, 5º B
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1969
Fecha de ensayo: 23/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 72,92 m² útiles, con dos terrazas cubiertas y cambio de parte de sus ventanas en el año 2011.
Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el primero de ellos con las terrazas cerradas y el segundo con ellas abiertas.
- Calle Roma 12, Bajo B
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1997
Fecha de ensayo: 28/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 80,96 m² útiles, con terraza cubierta pero sin posibilidad de la realización del test de infiltraciones con ella totalmente cerrada por la disposición de grandes aberturas, por lo que se ha optado por la realización del ensayo con las mismas características que el portal 14 de la misma calle detallado anteriormente para realizar un estudio de los dos casos con características homogéneas. No se ha producido cambio en las carpinterías.
Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.
- Calle Pedro Berruguete 3, 4º 3
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1999
Fecha de ensayo: 29/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 76,25 m² útiles, con una terraza cubierta y sin cambio de ventanas. Una de las ventanas del salón comedor ajustaba mal, por lo que se decidió hacer dos ensayos.

Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el segundo de ellos con todas las ventanas totalmente cerradas excepto aquella que ajustaba mal y el inicial con el sellado de la ventana para una correcta hermeticidad de la envolvente.

- Grupo Casas del Hogar 67, 3º Derecha

Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.

Año de construcción: 1950

Fecha de ensayo: 29/06/2013

Características más relevantes: Vivienda de 41,19 m² útiles, con una terraza cubierta y con cambio de ventanas. En el año 2011 se ha procedido a la proyección de un aislamiento por el exterior de los edificios y una completa remodelación de la envolvente. La vivienda dispone de una terraza cubierta que no ha sido modificada.

Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el primero de ellos con la terraza totalmente cerrada y el otro con la terraza abierta.

- Saldaña: Calle Bernardo el Carpio 12, Vivienda 3

Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.

Año de construcción: 1900

Fecha de ensayo: 25/06/2013

Características más relevantes: Vivienda de 59,91 m² útiles, con cambio reciente de ventanas por unas de aluminio.

Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, los dos con las mismas características para comprobar la veracidad del test realizado, y un ensayo de despresurización sellando un acceso a un local no habitable y un desperfecto en la ventana balconera del salón-comedor.

- Villalobón: Calle Las Pozas 1

Tipología edificatoria: Vivienda unifamiliar adosada.

Año de construcción: 2007

Fecha de ensayo: 27/06/2013

Características más relevantes: Vivienda de 99,57 m² útiles distribuidos en dos alturas. No dispone de terrazas cerradas. La vivienda dispone de tres de sus fachadas en contacto con el ambiente exterior.

Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.

Estudios en Burgos:

- Avenida Cid Campeador 85, 1º A
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1960
Fecha de ensayo: 12/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 74,89 m² útiles con remodelación posterior donde se adjunto la terraza de una de las habitaciones a la propia habitación.
Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.
- Calle Vitoria 251, 9º B
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1965
Fecha de ensayo: 24/06/2013
Características más relevantes: Vivienda de 91,30 m² útiles con remodelación posterior de las carpinterías. En el año 2012 se realizaron obras en la vivienda para la renovación de las tuberías de ACS por la falta de presión, pero no se altero la envolvente del edificio.
Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el primero de ellos con la terraza totalmente cerrada y el segundo con la terraza abierta.
- Calle Las Rebolledas 9, 1º A
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1997
Fecha de ensayo: 04/07/2013
Características más relevantes: Vivienda de 67,45 m² útiles con remodelación posterior de las carpinterías. Todas las ventanas disponen de contraventanas a excepción de la situada en el cuarto de baño, sin embargo dicha ventana dispone de gomas totalmente estancas.
Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el primero de ellos con las contraventanas cerradas y el siguiente con ellas abiertas.
- Calle Romanceros 1, 3º B
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 2003
Fecha de ensayo: 04/07/2013
Características más relevantes: Vivienda de 58,74 m² útiles. Dispone de terraza abierta por lo que no se tiene en cuenta para el test de hermeticidad.
Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.

Estudios en Valladolid:

- Calle Sargento Provisional 5, 3º H
Tipología edificatoria: Vivienda en bloque.
Año de construcción: 1979
Fecha de ensayo: 19/04/2013
Características más relevantes: Vivienda de 87,66 m² útiles. Terraza cubierta.
Número de ensayos realizados: Un único ensayo completo de despresurización y presurización de la envolvente del edificio.
- Aldeamayor de San Martín: Calle Hoces de Riaza 12
Tipología edificatoria: Vivienda unifamiliar aislada
Año de construcción: 2011
Fecha de ensayo: 14/07/2013
Características más relevantes: Vivienda de 209,64 m² distribuidos en 2 plantas y un semisótano.
Número de ensayos realizados: Dos ensayos completos de despresurización y presurización de la envolvente del edificio, el primero solo con el sellado marcado en la normativa, y el segundo con una mejora proporcionada por el sellado de la puerta de paso del local no habitable (garaje) con el habitable, y el sellado de la zona de acceso a cubierta.

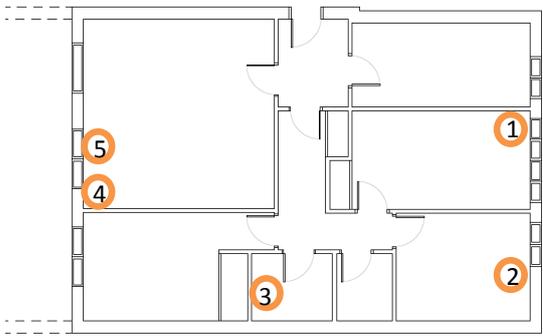
7. Estudio de infiltraciones en viviendas de Castilla y León

El procedimiento utilizado para los test de infiltraciones ha sido siempre el mismo y de forma metódica se ha procedido a:

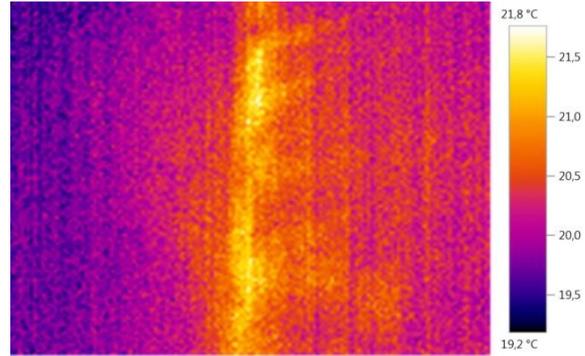
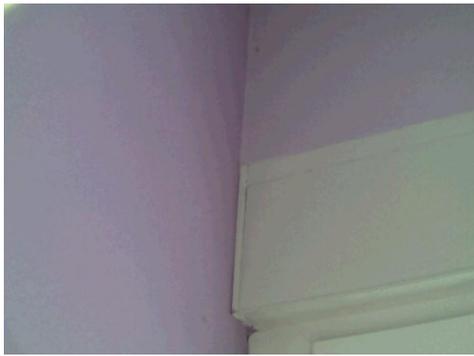
- Previo trabajo de toma de datos de la vivienda, como año de construcción, elaboración del plano de planta, obtención de datos necesarios como la superficie útil, volumen de aire interior y superficie de envolvente.
- Sellado de todas las aberturas para la utilización del método B tal como marca la normativa UNE 13829 anteriormente descrita.
- Montaje de la puerta - ventilador “BlowerDoor”.
- A continuación se ha activado el ventilador a velocidad crucero para crear una diferencia de presión de 50 Pa entre el interior y el exterior en modo de despresurización, y con la ayuda de la cámara termográfica Testo 880 se ha procedido a la observación de los puntos de filtración de aire.
- Realización del ensayo con los datos meteorológicos previstos por Aemet (Agencia Estatal de Meteorología) mediante el programa informático Tectite Express.
- Para determinados casos se ha procedido a la realización de test de presurización adicionales mediante el sellado de algunos de los elementos considerados más aptos para la entrada de aire a la vivienda.
- Una vez finalizado el/los ensayo/s y con menos de un día de transcurso se ha procedido a la recopilación de los datos meteorológicos reales a través de Aemet, para la puesta en el archivo Tectite Express de los datos reales.
- Posteriormente se han importado los archivos modificados .bld procedentes de Tectite Express a una hoja de Excel con macros elaborada por BlowerDoor GmbH. Por último se han tomado dichos datos para la elaboración de una hoja resumen del test de presurización, y para la gráfica de infiltraciones BlowerDoor.

A continuación se adjuntará una hoja resumen de cada ensayo realizado junto con la gráfica correspondiente de infiltraciones Blower Door, una captura de pantalla del archivo Tectite Express y alguna de las imágenes termográficas realizadas.

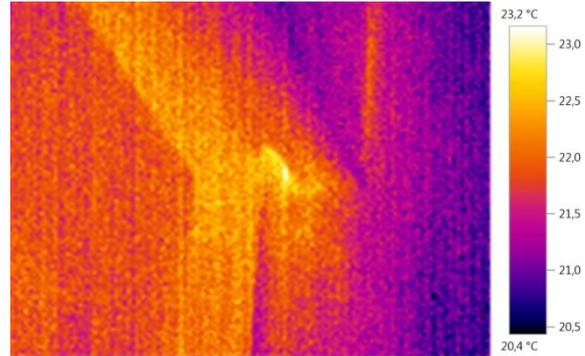
Estudios en Palencia:

Edificio de 10 viviendas. c/ Roma, Portal 14, Palencia. Vivienda Bajo B				Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 11/06/2013
					
Palencia	Año 1997	B+4	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 80,96m ²	Altura media = 2,49m	Volumen = 201,39m ³	Área envolvente = 263,63m ²	Error ≈ 3%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 22,0°	18:00 hs	T _{ext} = 23,9°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 22 km/h
	19:00 hs	T _{ext} = 24,5°	U _{media} = 13 km/h	Este	U _{racha} = 21 km/h
	20:00 hs	T _{ext} = 24,2°	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 18 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 1115 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 1072 m ³ /h	
w ₅₀ = 13,8 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 13,2 m ³ /m ² ·h	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 5,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,2m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 5,3 h ⁻¹	
C _{env} = 142 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 136 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,54	C _{env} = 123 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 118 m ³ /h·Pa ⁿ
Zona climática	Carpinterías			n50 media	n medio
D1	Área 13,39 m ²	Perímetro de junta 46,30 m		5,44 h ⁻¹	0,55

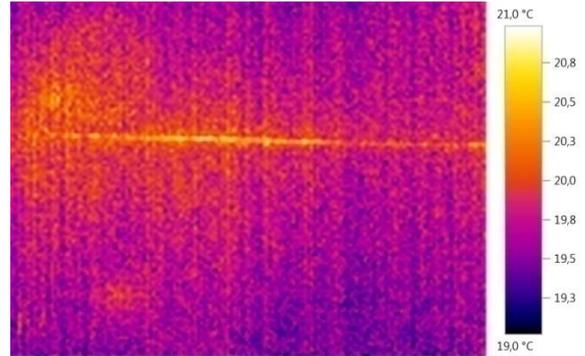
1



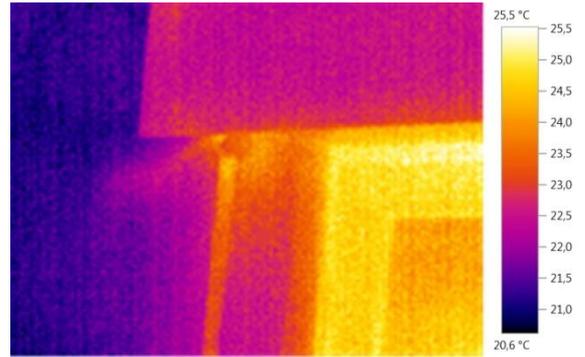
2



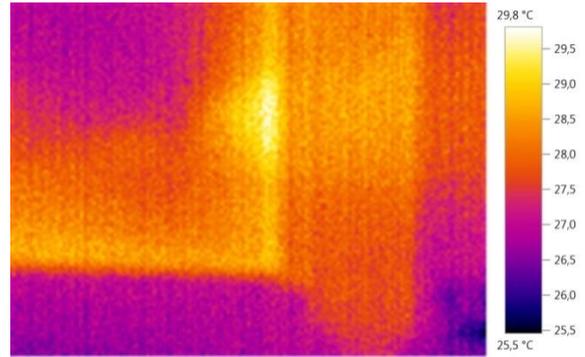
3

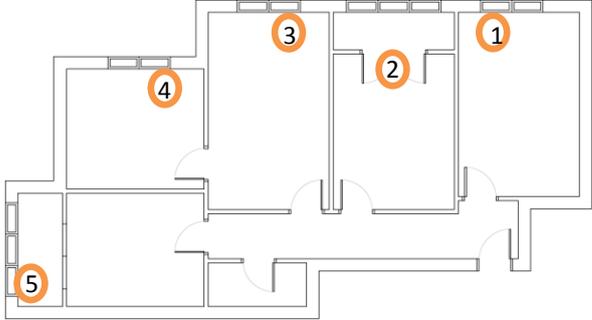


4



5



Edificio de 15 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 23/06/2013	
C/ Echegaray, Portal 2, Palencia.							
Vivienda 5º B							
							
Palencia		Año 1969		5 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 72,92m ²		Altura media = 2,45m		Volumen = 178,65m ³		Área envolvente = 250,67m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 23,5º	20:00 hs	T _{ext} = 20,0º	U _{media} = 10 km/h	Nordeste	U _{racha} = 18 km/h		
	21:00 hs	T _{ext} = 17,8º	U _{media} = 10 km/h	Nordeste	U _{racha} = 21 km/h		
	22:00 hs	T _{ext} = 14,2º	U _{media} = 6 km/h	Nordeste	U _{racha} = 16 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 691 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 619 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 9,5 m ³ /m ² ·h		+/- 7%		w ₅₀ = 8,5 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 3,9 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,8m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,5m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 60 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 58 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,63		C _{env} = 74 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 71 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,55	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
D1		Área 8,64 m ²		Perímetro de juntas 34,80 m		3,66 h ⁻¹	
						0,59	

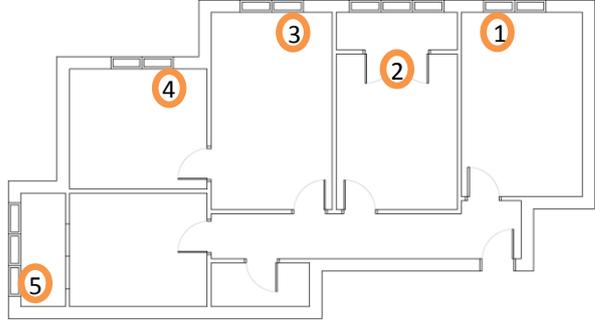
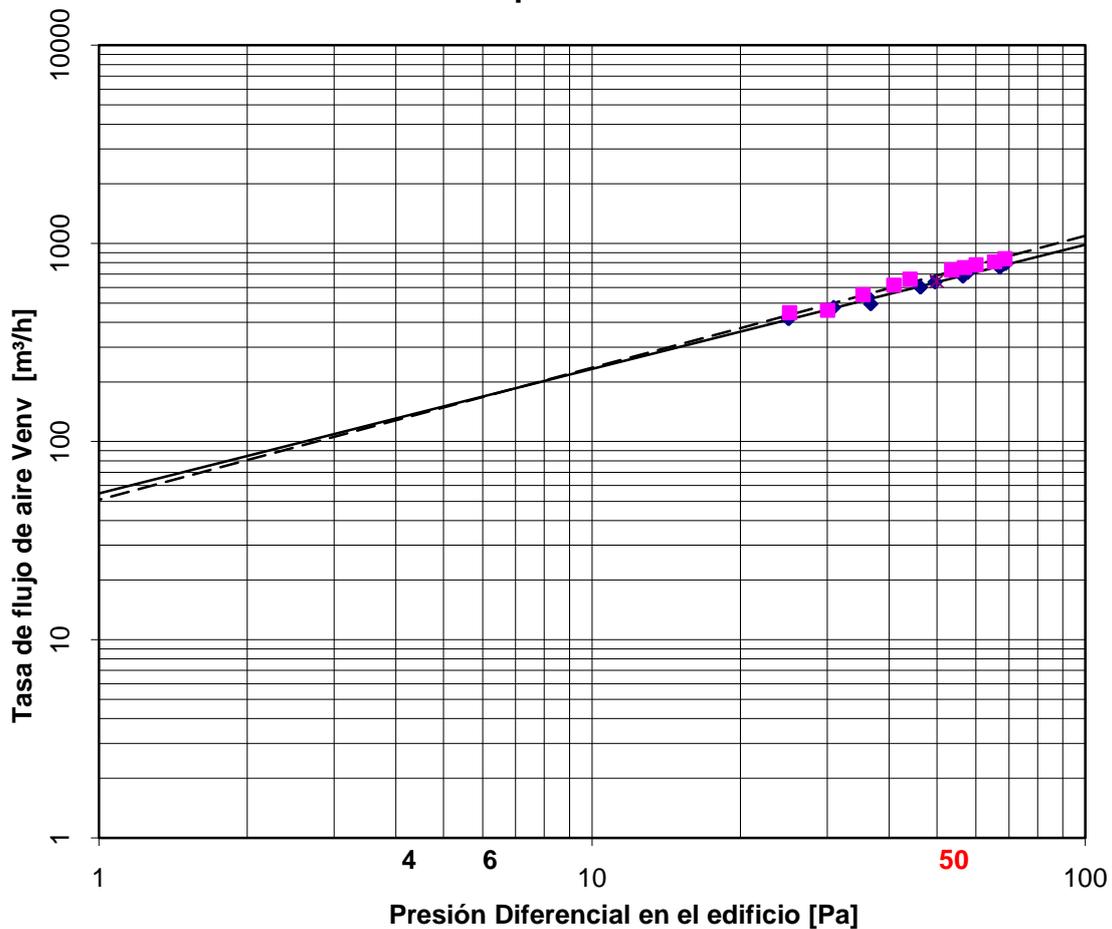
Edificio de 15 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 23/06/2013	
C/ Echegaray, Portal 2, Palencia.							
Vivienda 5º B							
							
Palencia		Año 1969		5 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 67,18m ²		Altura media = 2,45m		Volumen = 164,59m ³		Área envolvente = 237,89m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 23,5º	21:00 hs	T _{ext} = 17,8º	U _{media} = 10 km/h	Nordeste	U _{racha} = 21 km/h		
	22:00 hs	T _{ext} = 14,2º	U _{media} = 6 km/h	Nordeste	U _{racha} = 16 km/h		
	23:00 hs	T _{ext} = 11,8º	U _{media} = 5 km/h	Nordeste	U _{racha} = 14 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 622 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 667 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 9,3 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 9,9 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 3,8 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,6m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 4,1 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,8m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 55 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 53 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,63		C _{env} = 51 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 49 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,67	
Zona climática		Carpinterías				N50 media	
						n medio	
D1		Área 11,46 m ²		Perímetro junta 40,02 m		3,92 h ⁻¹	
						0,65	

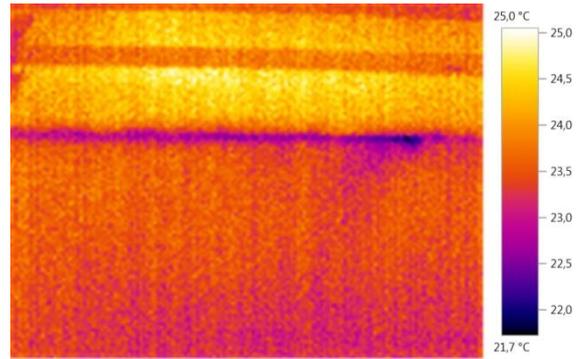
Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de edificios



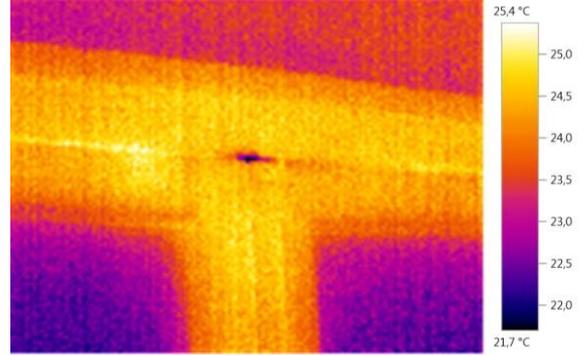
- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	623 (+/- 0.8 %)	667 (+/- 0.8 %)	645
n50: ACH (1/h)	3.79	4.05	3.92
w50: m³/(h*m² Floor Area)	9.28	9.92	9.60
q50: m³/(h*m² Surface Area)	2.62	2.80	2.71
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	252.4 (+/- 4.4 %)	262.1 (+/- 4.9 %)	257.3
cm²/m² Surface Area	1.06	1.10	1.08
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	136.7 (+/- 6.8 %)	139.6 (+/- 7.6 %)	138.2
cm²/m² Surface Area	0.57	0.59	0.58
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	53.1 (+/- 10.4 %)	52.8 (+/- 11.6 %)	
Exponent (n)	0.630 (+/- 0.026)	0.648 (+/- 0.029)	
Correlation Coefficient	0.99302	0.99185	

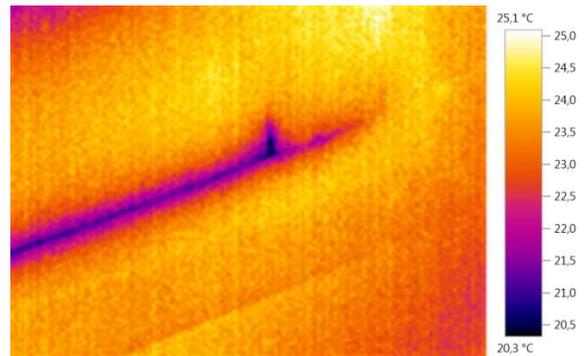
1



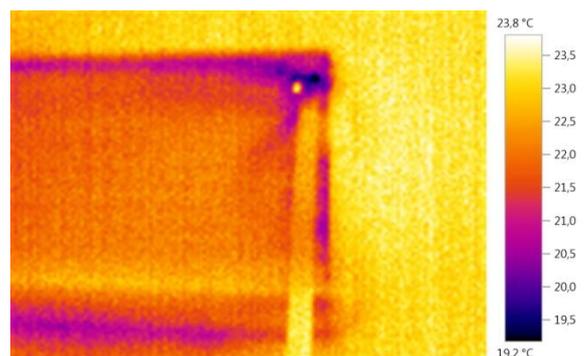
2



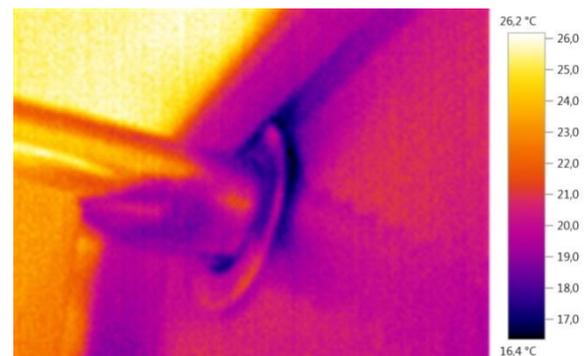
3



4

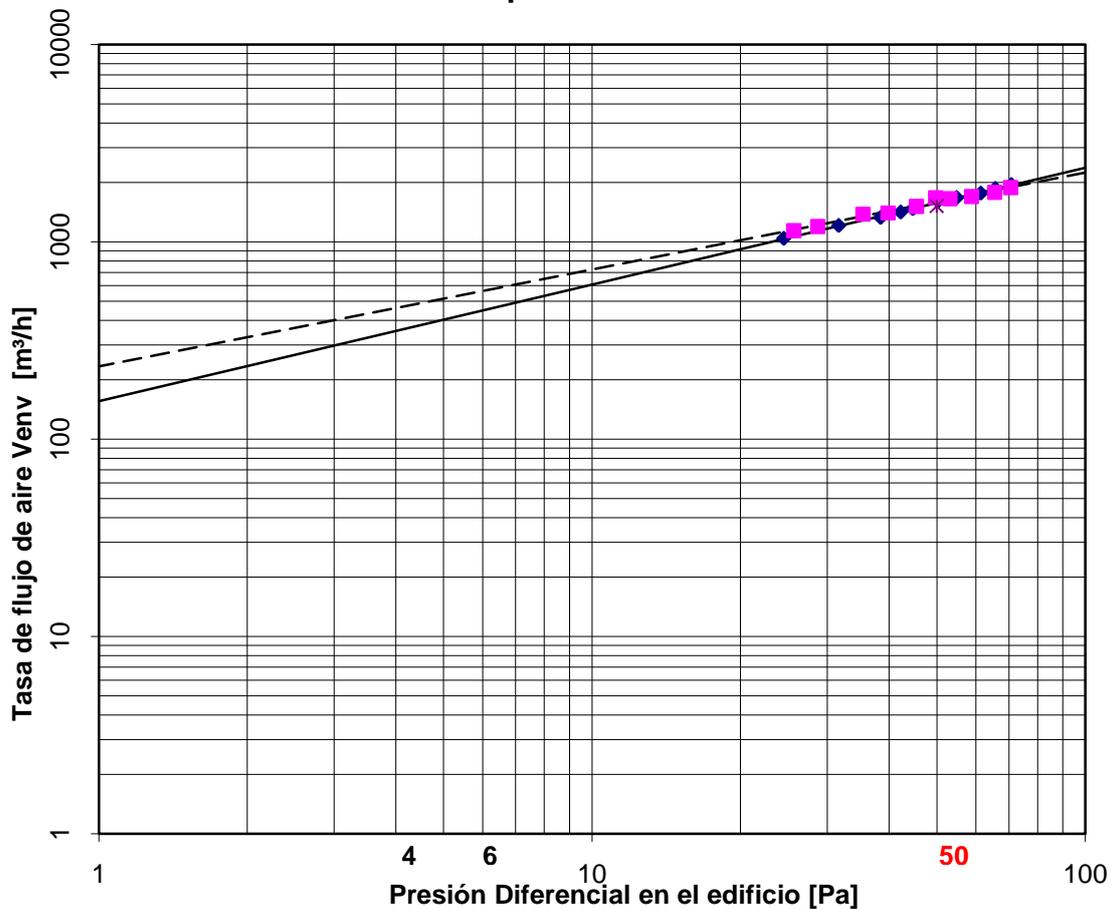


5



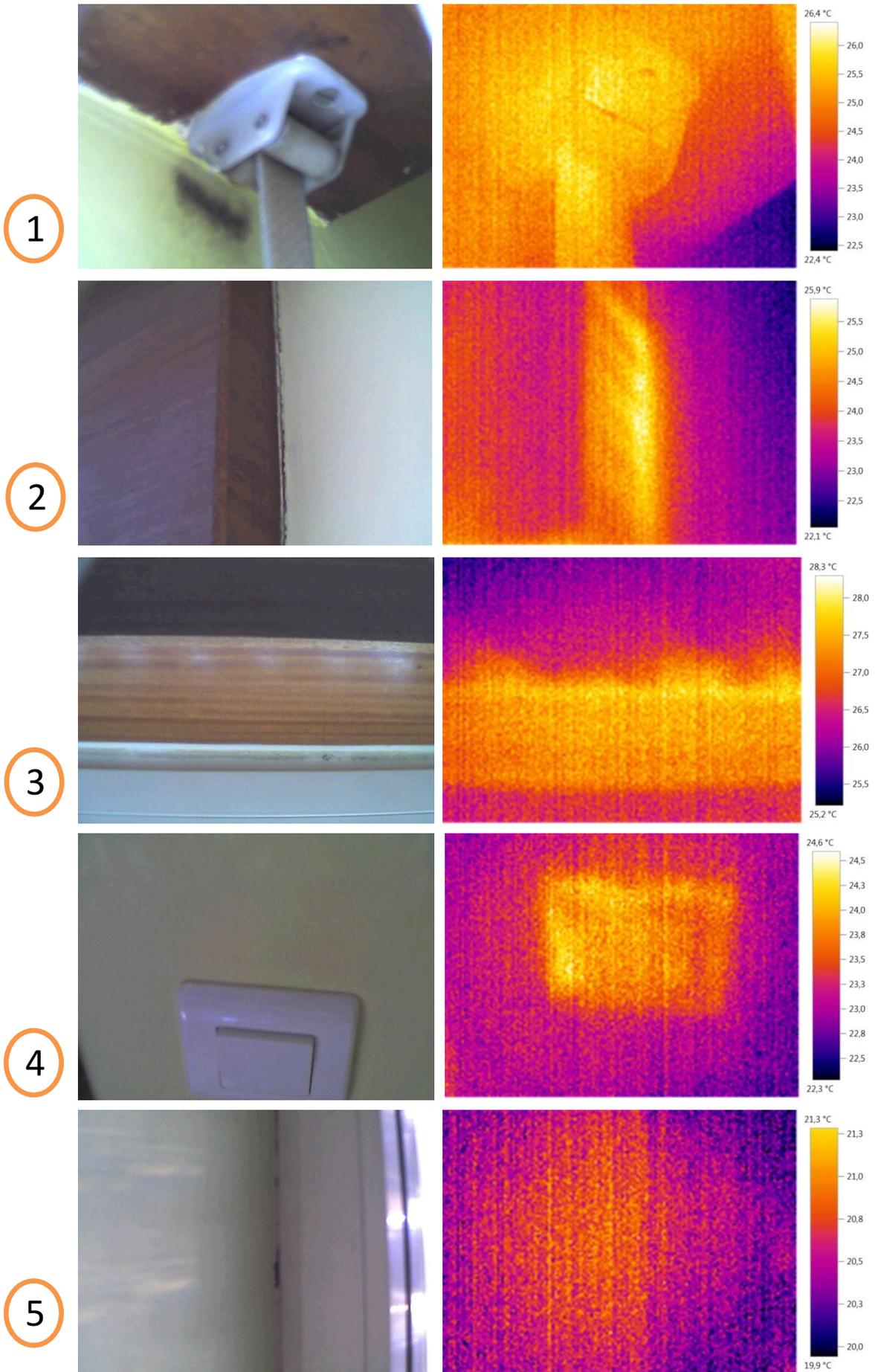
Edificio de 10 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 28/06/2013	
c/ Roma, Portal 12, Palencia.							
Vivienda Bajo B							
Palencia		Año 1997		B+4		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 80,96m ²		Altura media = 2,49m		Volumen = 201,39m ³		Área envolvente = 263,63m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 20,0°	18:00 hs	T _{ext} = 24,7°	U _{media} = 14 km/h	Nordeste	U _{racha} = 29 km/h		
	19:00 hs	T _{ext} = 24,6°	U _{media} = 12 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h		
	20:00 hs	T _{ext} = 23,2°	U _{media} = 14 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 1510 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 1523 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 18,7 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 18,8 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 7,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 5,7m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 7,6 h ⁻¹		q ₅₀ = 5,8m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 156 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 149 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,59		C _{env} = 234 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 223 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,49	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
D1		Área 13,39 m ²		Perímetro junta 46,30 m		7,49 h ⁻¹	
						0,54	

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de viviendas



- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	1494 (+/- 0.3 %)	1523 (+/- 0.8 %)	1508
n50: ACH (1/h)	7.42	7.56	7.49
w50: m³/(h*m² Floor Area)	18.45	18.81	18.63
q50: m³/(h*m² Surface Area)	5.67	5.78	5.72
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	639.5 (+/- 1.8 %)	781.7 (+/- 4.3 %)	710.6
cm²/m² Surface Area	2.43	2.97	2.70
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	357.5 (+/- 2.9 %)	484.6 (+/- 6.8 %)	421.1
cm²/m² Surface Area	1.36	1.84	1.60
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	145.5 (+/- 4.4 %)	230.6 (+/- 10.4 %)	
Exponent (n)	0.595 (+/- 0.011)	0.482 (+/- 0.027)	
Correlation Coefficient	0.99861	0.98799	



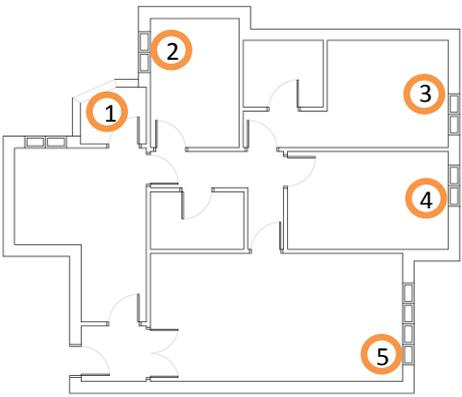
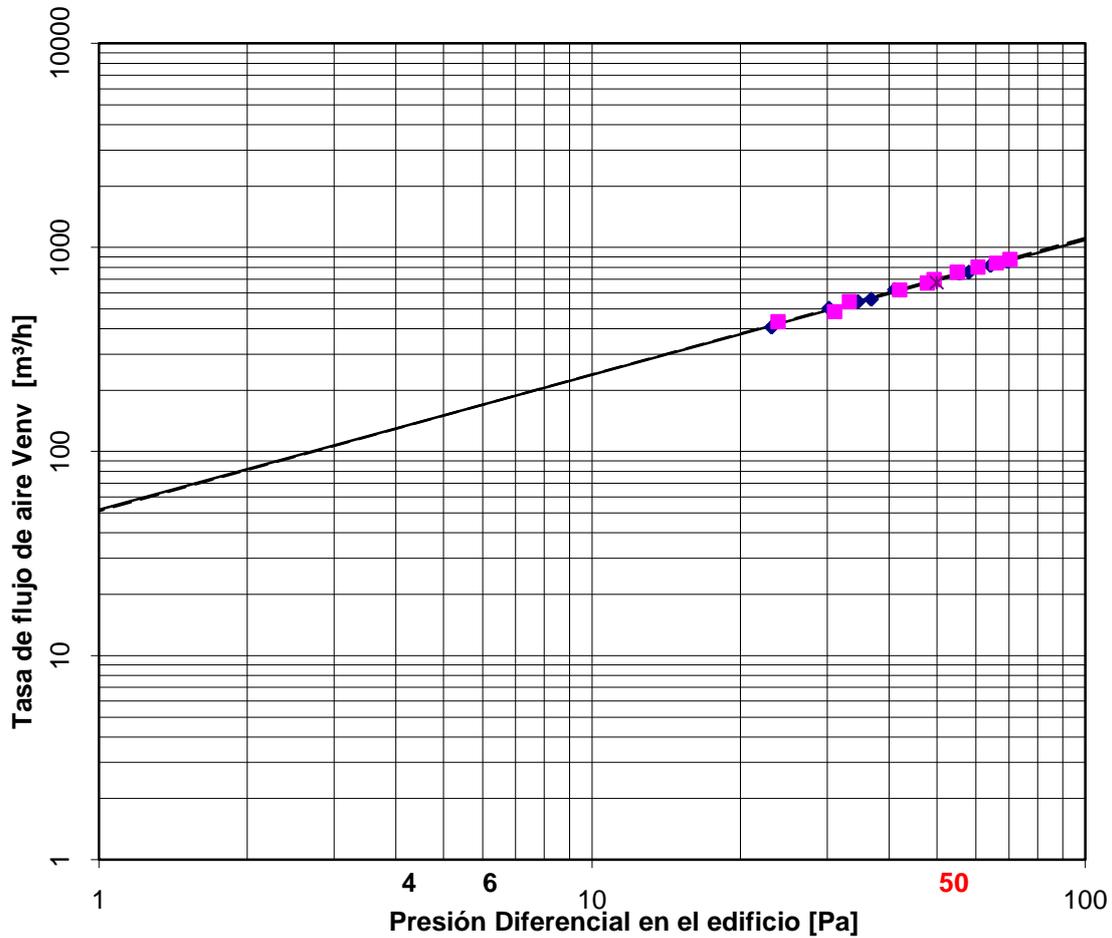
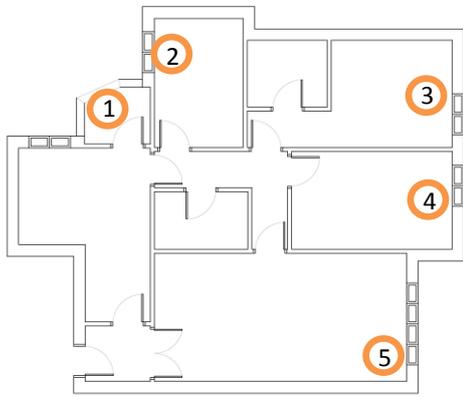
Edificio de 32 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 29/06/2013	
C/ Pedro Berruete, Portal 3, Palencia.							
Vivienda 4º 3							
							
Palencia		Año 1999		B+7		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 76,25m ²		Altura media = 2,46m		Volumen = 187,70m ³		Área envolvente = 248,37m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 19,0º	11:00 hs	T _{ext} = 19,8º	U _{media} = 15 km/h	Este	U _{racha} = 27 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 21,9º	U _{media} = 10 km/h	Nordeste	U _{racha} = 22 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 24,0º	U _{media} = 8 km/h	Este	U _{racha} = 17 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 667 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 680 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 8,8 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 8,9 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 3,6 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,7m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,6 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,7m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 52 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 50 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,66		C _{env} = 51 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 50 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,67	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
D1		Área 13,26 m ²		Perímetro junta 48,50 m		3,59 h ⁻¹	
						0,67	

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de viviendas

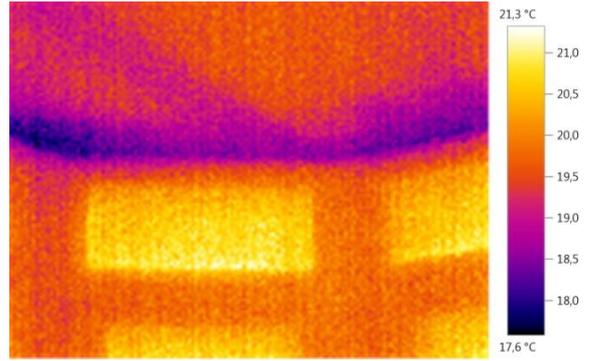


- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- - - Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

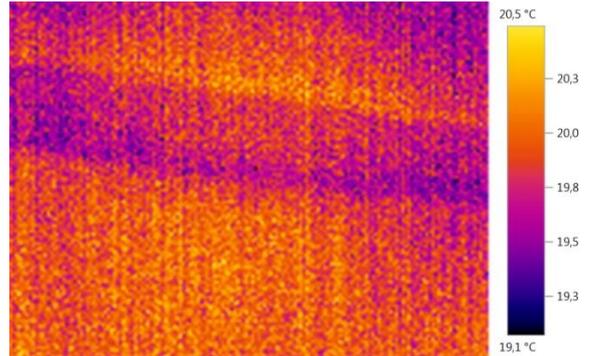
	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	668 (+/- 0.4 %)	680 (+/- 0.5 %)	674
n50: ACH (1/h)	3.56	3.62	3.59
w50: m³/(h*m² Floor Area)	8.76	8.92	8.84
q50: m³/(h*m² Surface Area)	2.69	2.74	2.71
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	260.1 (+/- 2.3 %)	258.7 (+/- 3.0 %)	259.4
cm²/m² Surface Area	1.05	1.04	1.04
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	137.8 (+/- 3.6 %)	135.2 (+/- 4.7 %)	136.5
cm²/m² Surface Area	0.55	0.54	0.55
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	51.7 (+/- 5.5 %)	49.7 (+/- 7.2 %)	
Exponent (n)	0.654 (+/- 0.014)	0.669 (+/- 0.018)	
Correlation Coefficient	0.99817	0.99706	

Edificio de 32 viviendas.			Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 29/06/2013	
C/ Pedro Berruguete, Portal 3, Palencia.						
Vivienda 4º 3						
						
Palencia		Año 1999	B+7	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona						
Sup. útil = 76,25m ²		Altura media = 2,46m	Volumen = 187,70m ³	Área envolvente = 248,37m ²		Error ≈ 3%
Condiciones meteorológicas						
T _{int} = 19,0º	12:00 hs	T _{ext} = 21,9º	U _{media} = 10 km/h	Nordeste	U _{racha} = 22 km/h	
	13:00 hs	T _{ext} = 24,0º	U _{media} = 8 km/h	Este	U _{racha} = 17 km/h	
	14:00 hs	T _{ext} = 25,3º	U _{media} = 9 km/h	Este	U _{racha} = 23 km/h	
Resultados						
V ₅₀ = 695 m ³ /h		+/- 6%	V ₅₀ = 703 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 9,4 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	w ₅₀ = 9,5 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización			Presurización			
n ₅₀ = 3,8 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,8m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,9 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,8m ³ /m ² ·h
C _{env} = 71 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 68 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,59	C _{env} = 79 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 76 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,57	
Zona climática	Carpinterías			n50 media		n medio
D1	Área 13,26 m ²	Perímetro junta 48,50 m		3,83 h ⁻¹		0,58

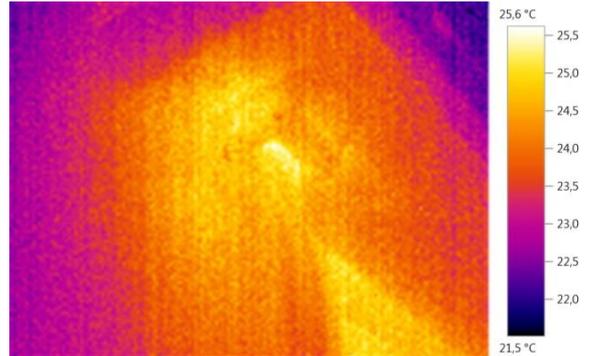
1



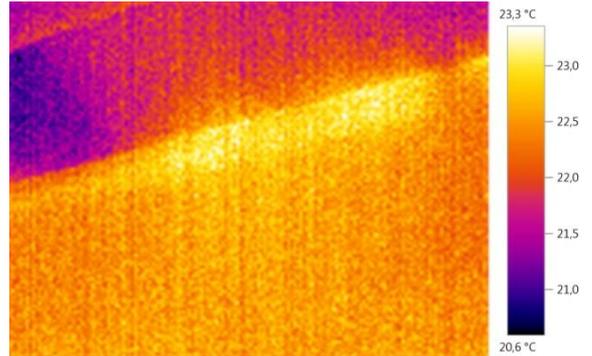
2



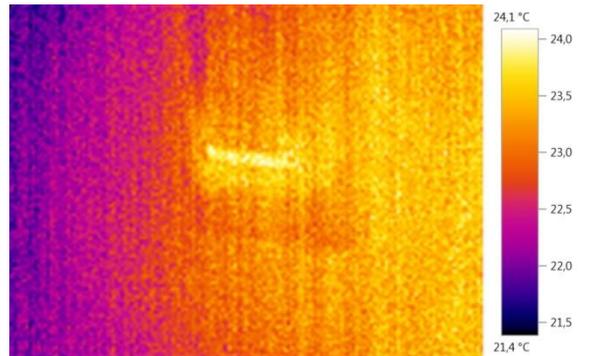
3



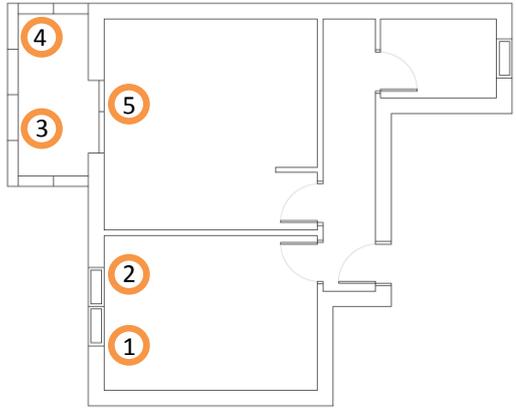
4

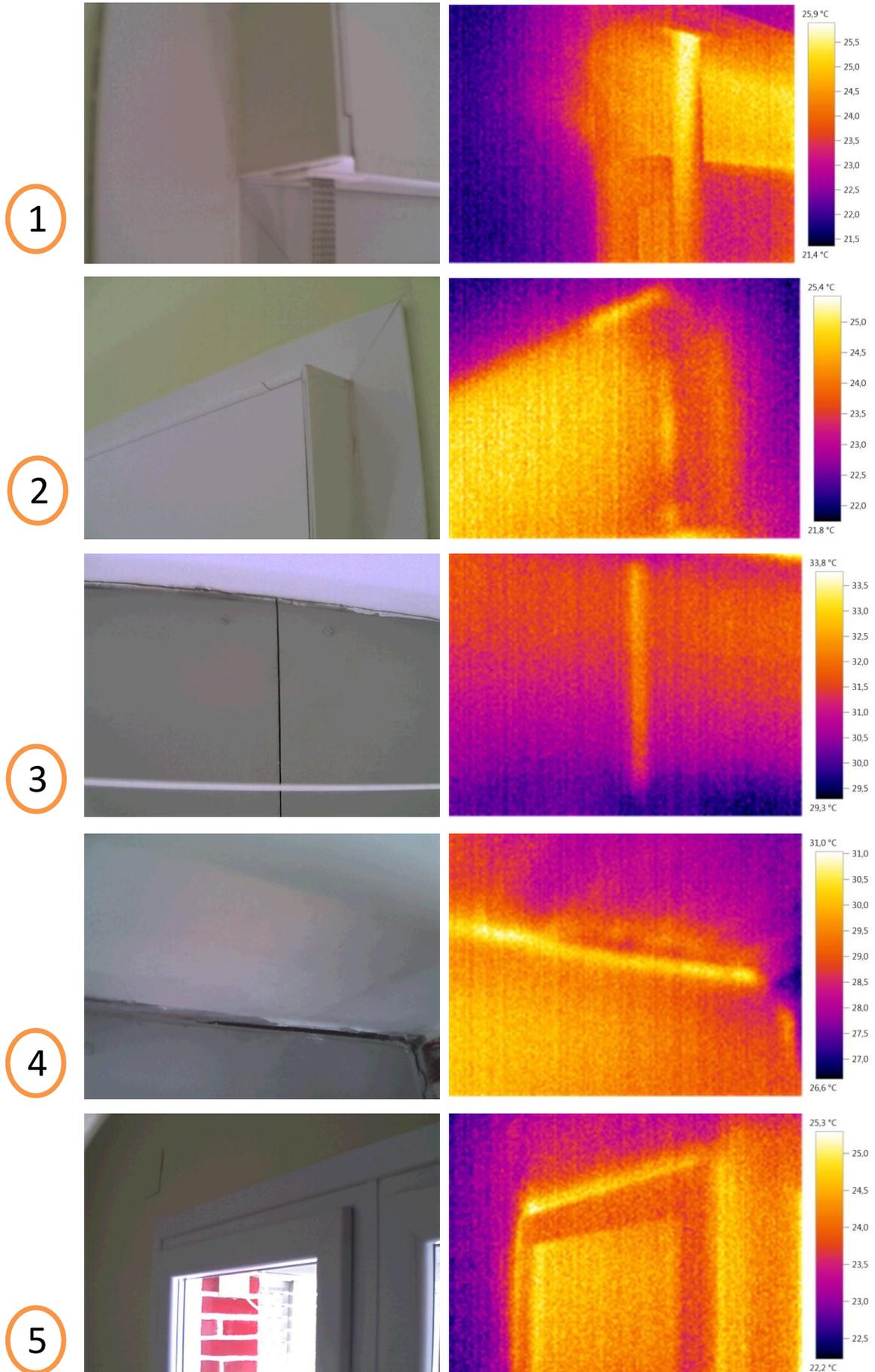


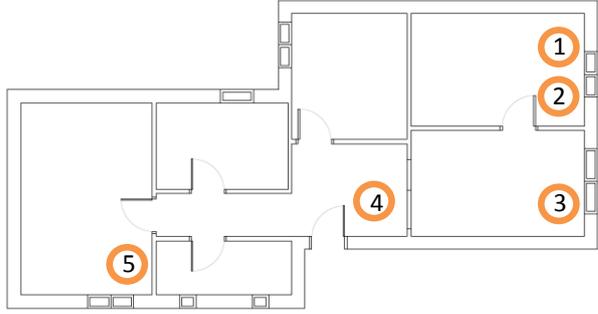
5



Edificio de 6 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 29/06/2013	
Grupo Casas del Hogar, Portal 67, Palencia.							
Vivienda 3º Dcha.							
Palencia		Año 1950		3 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 41,19m ²		Altura media = 2,59m		Volumen = 106,81m ³		Área envolvente = 160,70m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 22,0°	16:00 hs	T _{ext} = 26,9°	U _{media} = 15 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h		
	17:00 hs	T _{ext} = 27,1°	U _{media} = 16 km/h	Este	U _{racha} = 30 km/h		
	18:00 hs	T _{ext} = 27,0°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 29 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 1023 m ³ /h		+/- 10%		V ₅₀ = 903 m ³ /h		+/- 10%	
w ₅₀ = 24,8 m ³ /m ² ·h		+/- 11%		w ₅₀ = 21,9 m ³ /m ² ·h		+/- 11%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 9,6 h ⁻¹		q ₅₀ = 6,4m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 8,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 5,6m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 112 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 107 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,58		C _{env} = 78 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 75 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,64	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
D1		Área 8,52 m ²		Perímetro junta 31,30 m		9,06 h ⁻¹	
						0,61	

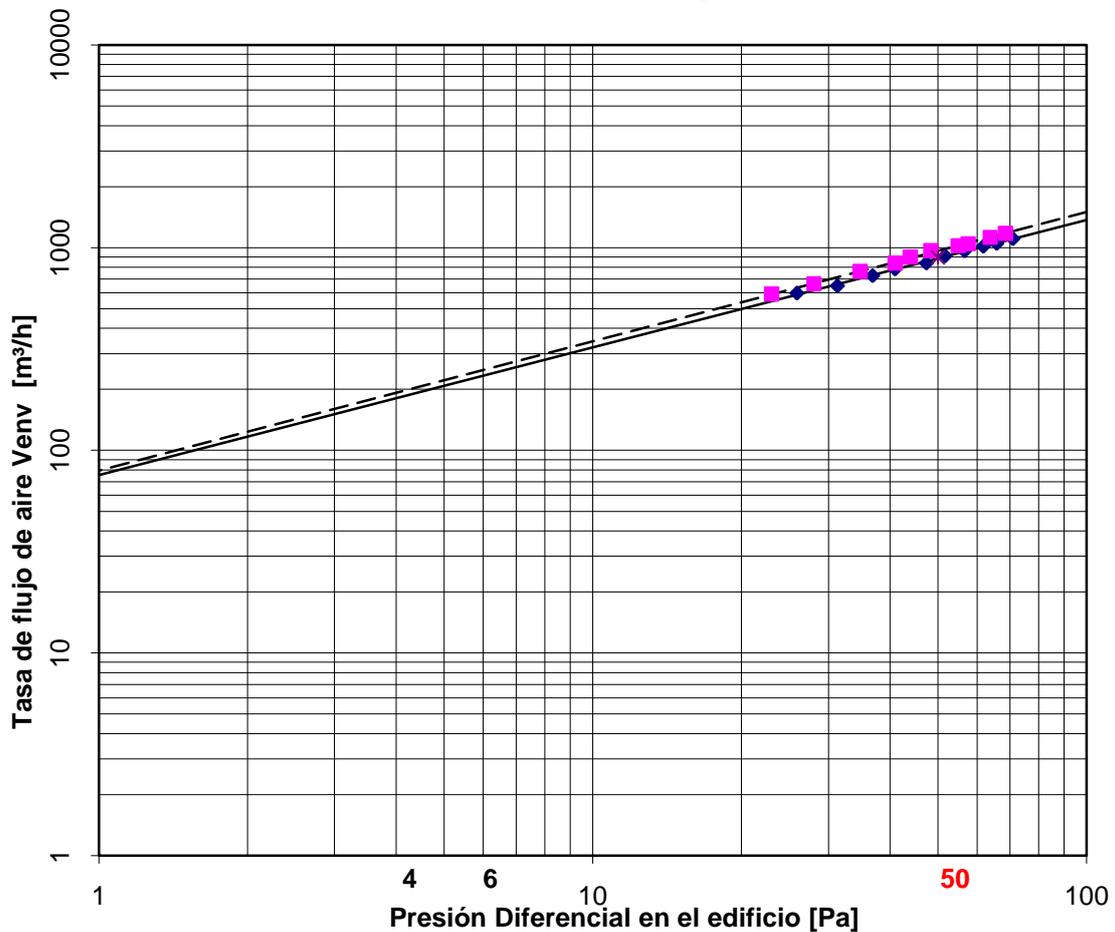
Edificio de 6 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 29/06/2013	
Grupo Casas del Hogar, Portal 67, Palencia.							
Vivienda 3º Dcha.							
							
Palencia		Año 1950		3 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 36,74m ²		Altura media = 2,62m		Volumen = 96,26m ³		Área envolvente = 153,76m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 22,0°	17:00 hs	T _{ext} = 27,1°	U _{media} = 16 km/h	Este	U _{racha} = 30 km/h		
	18:00 hs	T _{ext} = 27,0°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 29 km/h		
	19:00 hs	T _{ext} = 26,7°	U _{media} = 12 km/h	Nordeste	U _{racha} = 28 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 474 m ³ /h		+/- 10%		V ₅₀ = 356 m ³ /h		+/- 10%	
w ₅₀ = 12,9 m ³ /m ² ·h		+/- 11%		w ₅₀ = 9,7 m ³ /m ² ·h		+/- 11%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 4,9 h ⁻¹		q ₅₀ = 3,1 m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,7 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,3 m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 45 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 43 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,61		C _{env} = 22 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 22 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,71	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
D1		Área 3,80 m ²		Perímetro junta 16,70 m		4,34 h ⁻¹	
						0,66	



Edificio de 3 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 25/06/2013			
C/ Bernardo el Carpio, Portal 12, Saldaña.									
Vivienda 3									
									
Saldaña (Palencia)		Año 1900		2 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta			
Dimensiones Zona									
Sup. útil = 59,91m ²		Altura media = 2,40m		Volumen = 143,83m ³		Área envolvente = 212,38m ²			
Error ≈ 3%									
Condiciones meteorológicas									
T _{int} = 18,0°	11:00 hs	T _{ext} = 17,6°	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 24 km/h				
	12:00 hs	T _{ext} = 19,9°	U _{media} = 12 km/h	Este	U _{racha} = 31 km/h				
	13:00 hs	T _{ext} = 20,8°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h				
Resultados									
V ₅₀ = 864 m ³ /h			+/- 6%		V ₅₀ = 926 m ³ /h			+/- 6%	
w ₅₀ = 14,4 m ³ /m ² ·h			+/- 6%		w ₅₀ = 15,5 m ³ /m ² ·h			+/- 6%	
Despresurización				Presurización					
n ₅₀ = 6,0 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,1m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 6,4 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,4m ³ /m ² ·h			
C _{env} = 88 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 84 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,59		C _{env} = 81 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 79 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,63			
Zona climática		Carpinterías				n50 media		n medio	
D1		Área 8,15 m ²		Perímetro junta 32,30 m		6,24 h ⁻¹		0,61	

Edificio de 3 viviendas. C/ Bernardo el Carpio, Portal 12, Saldaña. Vivienda 3				Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 25/06/2013
					
Saldaña (Palencia)	Año 1900	2 Plantas	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 59,91m ²	Altura media = 2,40m	Volumen = 143,83m ³	Área envolvente = 212,38m ²	Error ≈ 3%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 18,0°	11:00 hs	T _{ext} = 17,6°	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 24 km/h
	12:00 hs	T _{ext} = 19,9°	U _{media} = 12 km/h	Este	U _{racha} = 31 km/h
	13:00 hs	T _{ext} = 20,8°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 856 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 931 m ³ /h	
w ₅₀ = 14,3 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 15,5 m ³ /m ² ·h	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 6,0 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,0m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 6,5 h ⁻¹	
C _{env} = 76 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 73 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,63	
C _{env} = 80 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 77 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,64	
Carpinterías	Carpinterías			n50 media	n medio
D1	Área 8,15 m ²	Perímetro junta 32,30 m		6,22 h ⁻¹	0,64

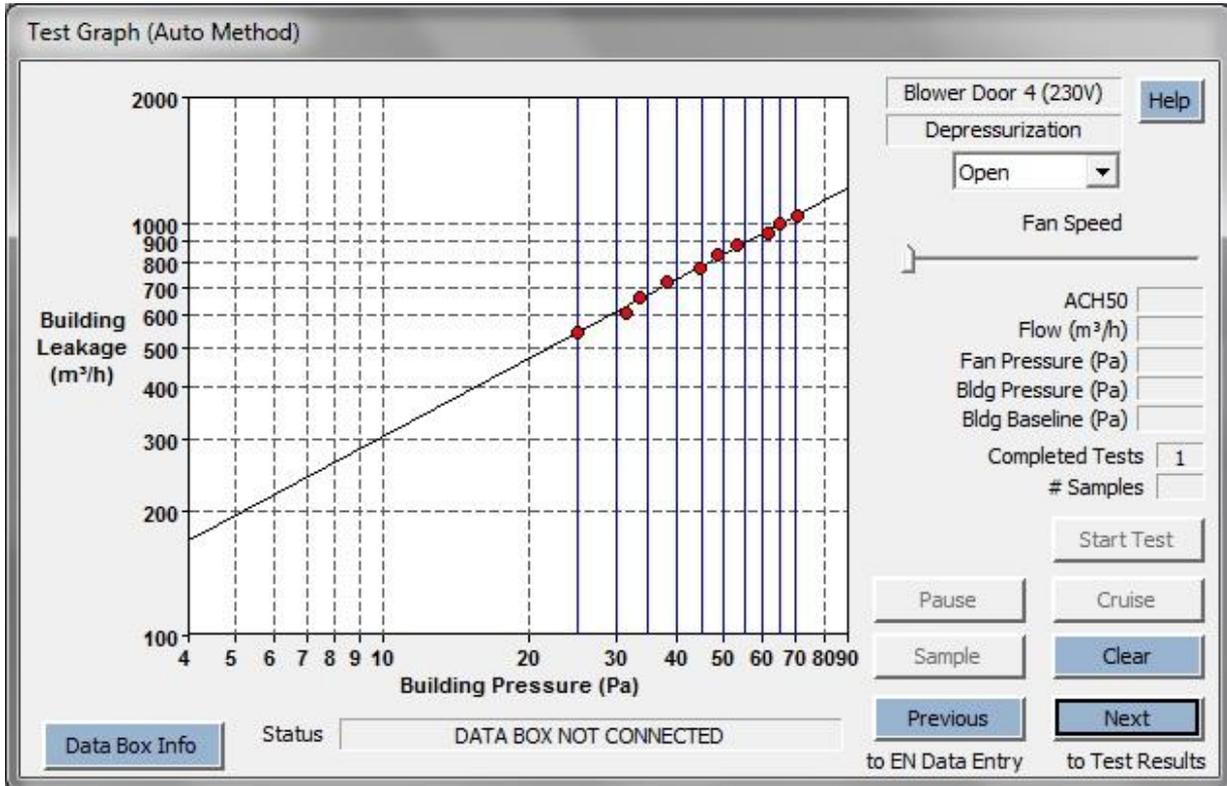
Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Vivienda en bloque



- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m^3/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m^3/h]
- ◆ Línea de Regresión Despresurización [m^3/h]
- ◆ Línea de Regresión Presurización [m^3/h]
- ◆ Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m^3/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m^3/h	857 (+/- 0.3 %)	931 (+/- 0.4 %)	894
n50: ACH (1/h)	5.96	6.47	6.22
w50: $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{ Floor Area})$	14.30	15.54	14.92
q50: $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{ Surface Area})$	4.03	4.38	4.21
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm^2)	344.9 (+/- 1.9 %)	374.1 (+/- 2.1 %)	359.5
$\text{cm}^2/\text{m}^2 \text{ Surface Area}$	1.62	1.76	1.69
LBL ELA @ 4 Pa (cm^2)	186.2 (+/- 3.0 %)	201.7 (+/- 3.3 %)	193.9
$\text{cm}^2/\text{m}^2 \text{ Surface Area}$	0.88	0.95	0.91
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	71.9 (+/- 4.6 %)	77.7 (+/- 5.0 %)	
Exponent (n)	0.634 (+/- 0.012)	0.635 (+/- 0.013)	
Correlation Coefficient	0.99866	0.99837	

Edificio de 3 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 25/06/2013	
C/ Bernardo el Carpio, Portal 12, Saldaña.							
Vivienda 3							
Saldaña (Palencia)		Año 1900		2 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 59,91m ²		Altura media = 2,40m		Volumen = 143,83m ³		Área envolvente = 212,38m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 18,0°	11:00 hs	T _{ext} = 17,6°	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 24 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 19,9°	U _{media} = 12 km/h	Este	U _{racha} = 31 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 20,8°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 842 m ³ /h		-		-		-	
w ₅₀ = 14,05 m ³ /m ² ·h		-		-		-	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 5,85 h ⁻¹		q ₅₀ = 3,96m ³ /m ² ·h		-		-	
-		C _L = 71,5 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,63	-		-	
Zona climática		Carpinterías			n50 media		n medio
D1		Área 7,67 m ²	Perímetro junta 29,50 m		5,85 h ⁻¹		0,63



Airflow at 50 Pascals

V50: 842 m³/h (+/- 0.5 %)
 n50: 5.85 ACH (1/h)
 w50: 14.05 m³/(h*m² Floor Area)
 q50: 3.96 m³/(h*m² Surface Area)

Leakage Areas

340.6 cm² (+/- 2.6 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 1.60 cm²/m² Surface Area
 184.4 cm² (+/- 4.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.87 cm²/m² Surface Area

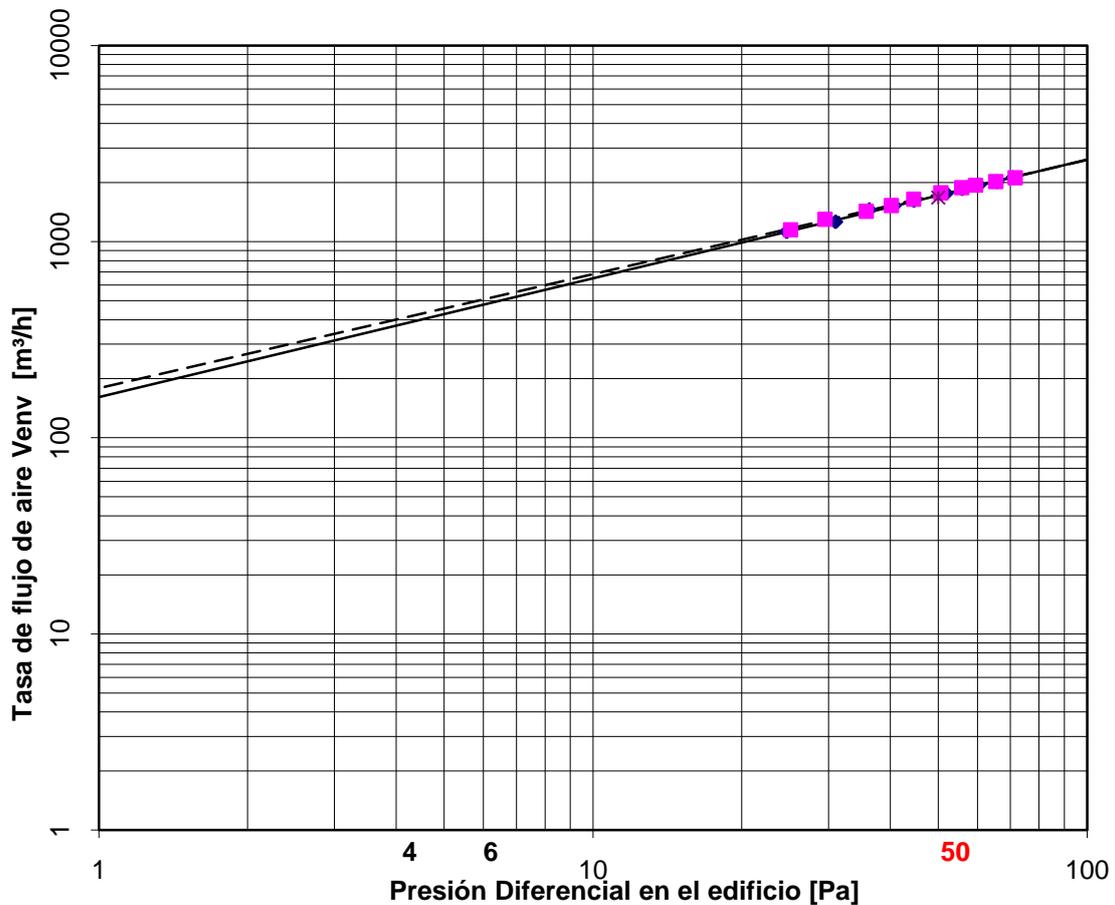
Building Leakage Curve

Flow Coefficient (CL) = 71.5 (+/- 6.2 %)
 Exponent (n) = 0.630 (+/- 0.016)
 Correlation Coefficient = 0.99748



Vivienda unifamiliar. C/ Las Pozas 1, Villalobon.				Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 27/06/2013
Villalobon (Palencia)	Año 2007	2 Plantas	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 99,57m ²	Altura media = 2,43m	Volumen = 242,39m ³	Área envolvente = 256,72m ²	Error ≈ 3%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 19,0°	11:00 hs	T _{ext} = 16,9°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 30 km/h
	12:00 hs	T _{ext} = 18,6°	U _{media} = 14 km/h	Nordeste	U _{racha} = 26 km/h
	13:00 hs	T _{ext} = 19,8°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 26 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 1670 m ³ /h	+/- 10%		V ₅₀ = 1681 m ³ /h	+/- 10%	
w ₅₀ = 16,8 m ³ /m ² ·h	+/- 11%		w ₅₀ = 16,9 m ³ /m ² ·h	+/- 11%	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 6,9 h ⁻¹	q ₅₀ = 4,7m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 6,9 h ⁻¹	q ₅₀ = 4,7m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 161 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 156 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,61	C _{env} = 179 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 172 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,58
Zona climática	Carpinterías			n50 media	n medio
D1	Área 19,02 m ²	Perímetro junta 65,30 m		6,90 h ⁻¹	0,60

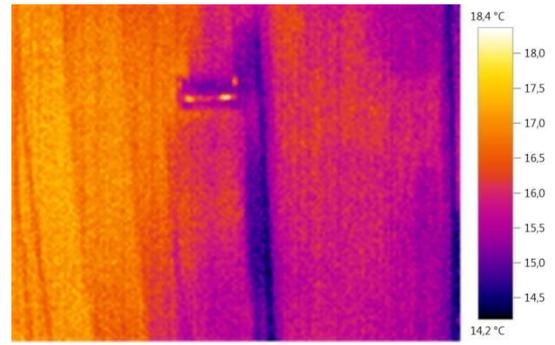
Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Vivienda unifamiliar



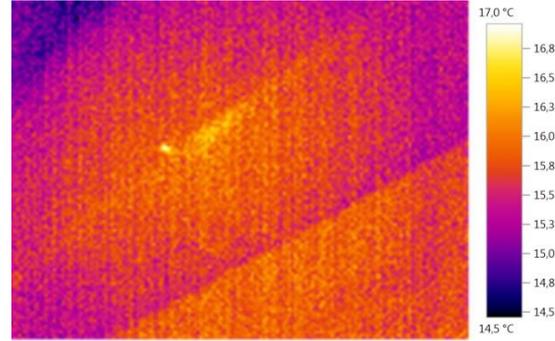
- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	1666 (+/- 0.4 %)	1680 (+/- 0.4 %)	1673
n50: ACH (1/h)	6.87	6.93	6.90
w50: m³/(h*m² Floor Area)	16.73	16.87	16.80
q50: m³/(h*m² Surface Area)	4.67	4.71	4.69
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	708.3 (+/- 2.0 %)	744.6 (+/- 2.1 %)	726.4
cm²/m² Surface Area	1.99	2.09	2.04
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	394.3 (+/- 3.1 %)	424.6 (+/- 3.3 %)	409.4
cm²/m² Surface Area	1.11	1.19	1.15
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	159.5 (+/- 4.8 %)	178.0 (+/- 5.0 %)	
Exponent (n)	0.600 (+/- 0.012)	0.574 (+/- 0.013)	
Correlation Coefficient	0.99833	0.99801	

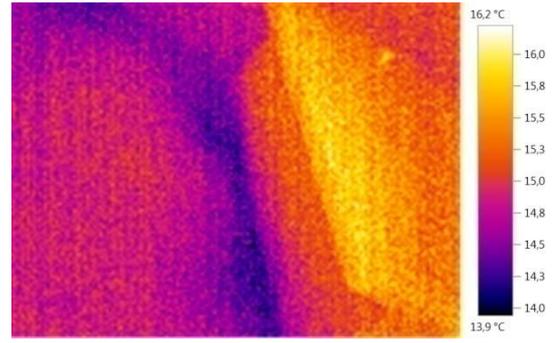
1



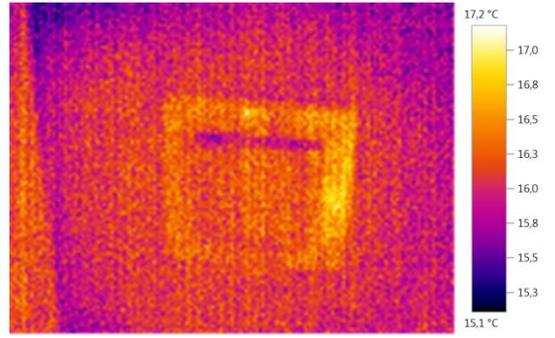
2



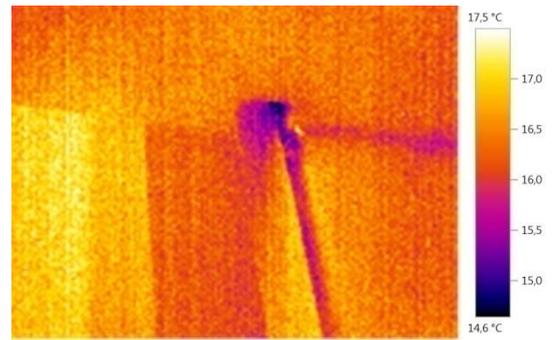
3



4



5



Estudios en Burgos:

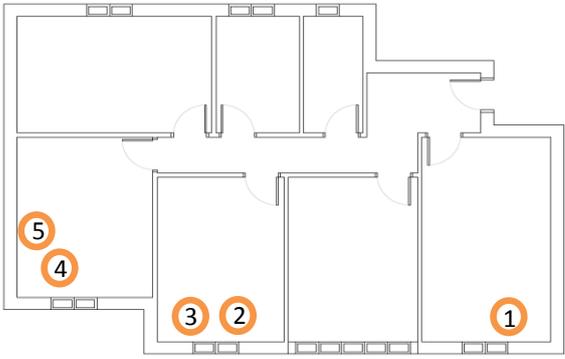
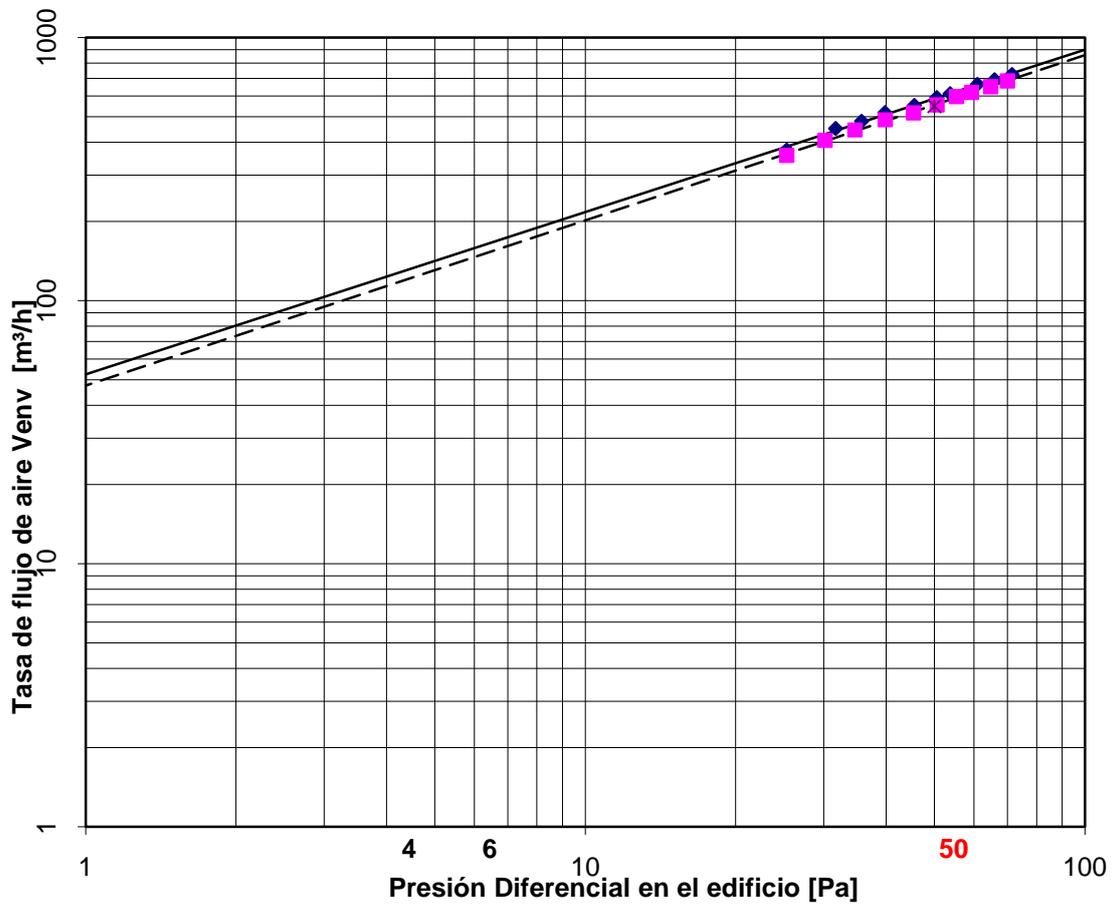
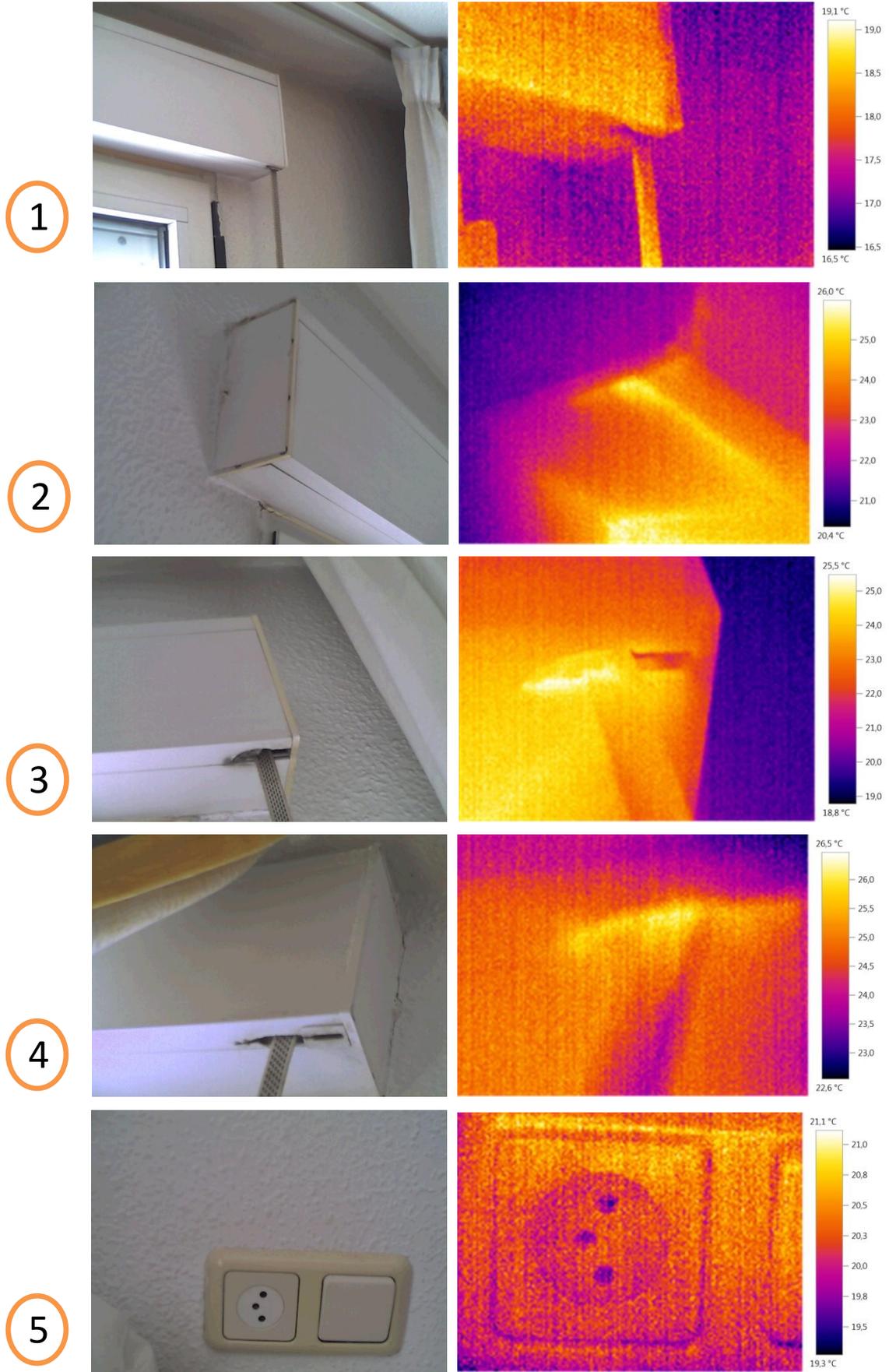
Edificio de 34 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 12/06/2013	
Avda/ Cid Campeador, Portal 85, Burgos.							
Vivienda 1º A							
							
Burgos		Año 1960		B+9		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 74,89m ²		Altura media = 2,60m		Volumen = 194,71m ³		Área envolvente = 277,02m ²	
Error ≈ 5%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 21,0º	11:00 hs	T _{ext} = 20,9º	U _{media} = 19 km/h	Sudoeste	U _{racha} = 28 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 22,5º	U _{media} = 17 km/h	Sudoeste	U _{racha} = 27 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 23,8º	U _{media} = 16 km/h	Sudoeste	U _{racha} = 24 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 562 m ³ /h		+/- 10%		V ₅₀ = 534 m ³ /h		+/- 10%	
w ₅₀ = 7,5 m ³ /m ² ·h		+/- 12%		w ₅₀ = 7,1 m ³ /m ² ·h		+/- 12%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 2,9 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,0m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 2,7 h ⁻¹		q ₅₀ = 1,9m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 52 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 50 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,62		C _{env} = 48 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 46 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,63	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
E1		Área 12,63 m ²		Perímetro junta 47,50 m		2,81 h ⁻¹	
						0,63	

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de viviendas



- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- - - Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- ✕ Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	562 (+/- 0.4 %)	534 (+/- 0.3 %)	548
n50: ACH (1/h)	2.89	2.74	2.81
w50: m³/(h*m² Floor Area)	7.51	7.13	7.32
q50: m³/(h*m² Surface Area)	2.03	1.93	1.98
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	236.6 (+/- 2.1 %)	218.0 (+/- 1.6 %)	227.3
cm²/m² Surface Area	0.85	0.79	0.82
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	131.0 (+/- 3.2 %)	118.7 (+/- 2.4 %)	124.8
cm²/m² Surface Area	0.47	0.43	0.45
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	52.5 (+/- 5.0 %)	46.4 (+/- 3.7 %)	
Exponent (n)	0.606 (+/- 0.013)	0.624 (+/- 0.009)	
Correlation Coefficient	0.99828	0.99910	



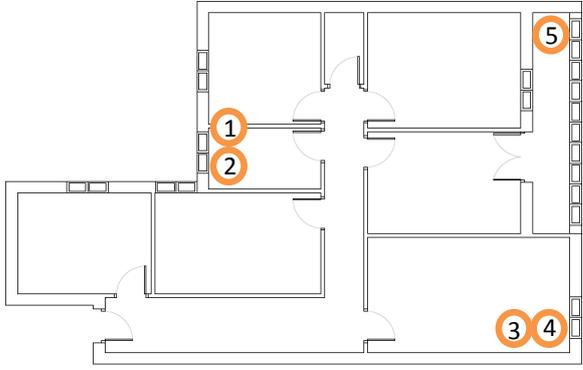
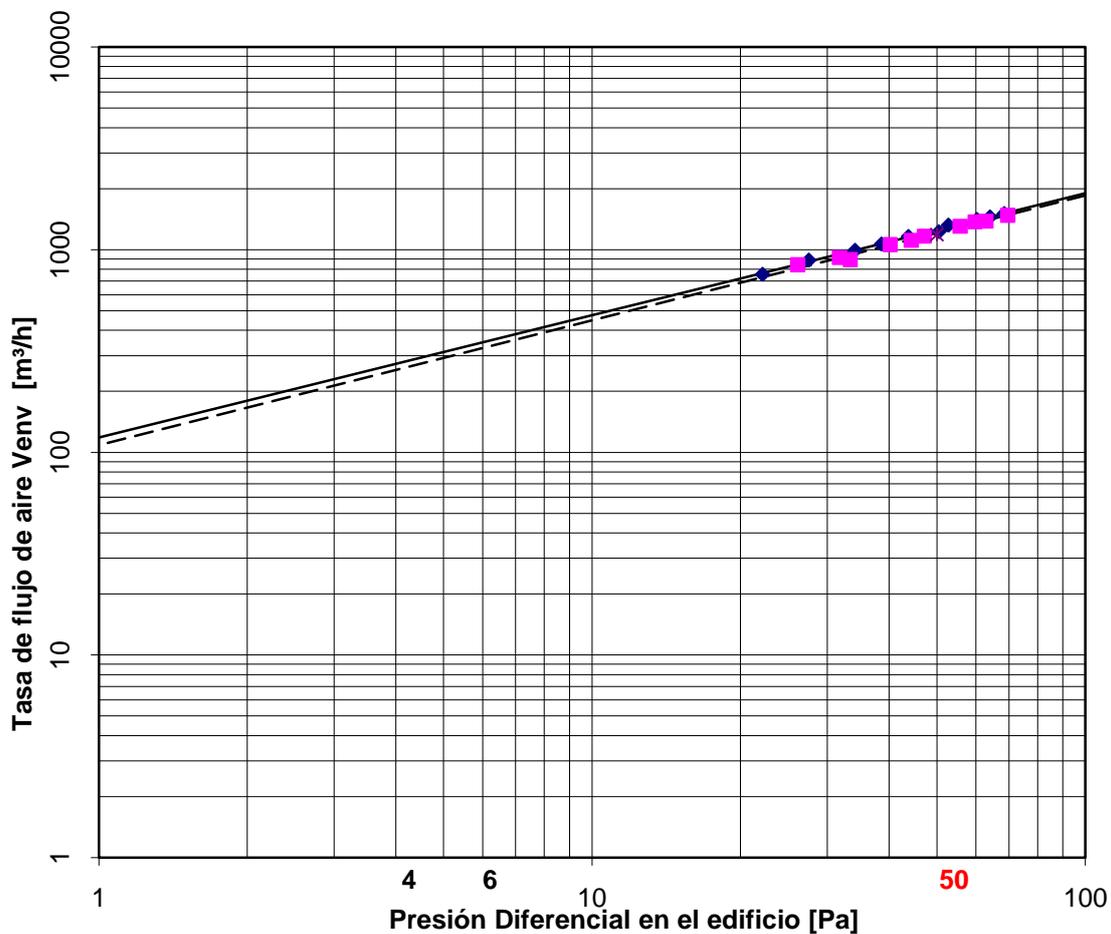
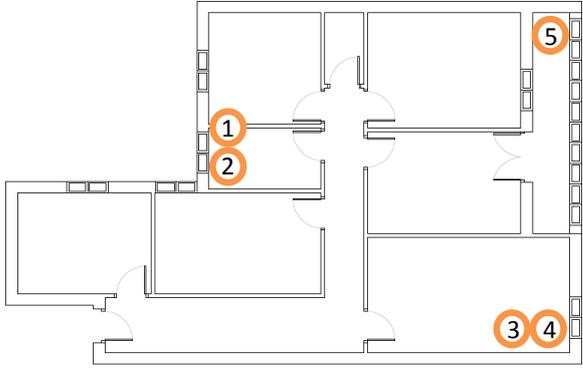
Edificio de 40 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 24/06/2013	
C/ Vitoria, Portal 251, Burgos.							
Vivienda 9º B							
							
Burgos		Año 1965		10 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 91,30m ²		Altura media = 2,51m		Volumen = 229,16m ³		Área envolvente = 286,84m ²	
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 21,0º	11:00 hs	T _{ext} = 12,0º	U _{media} = 9 km/h	Este	U _{racha} = 15 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 12,7º	U _{media} = 12 km/h	Este	U _{racha} = 22 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 13,7º	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 21 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 1214 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 1162 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 13,3 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 12,7 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 5,3 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,2m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 5,1 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,0m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 118 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 115 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,60		C _{env} = 109 m ³ /h·Pa ⁿ	
C _L = 104 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,62					
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
E1		Área 15,80 m ²		Perímetro junta 62,60 m		n medio	
						5,19 h ⁻¹	
						0,61	

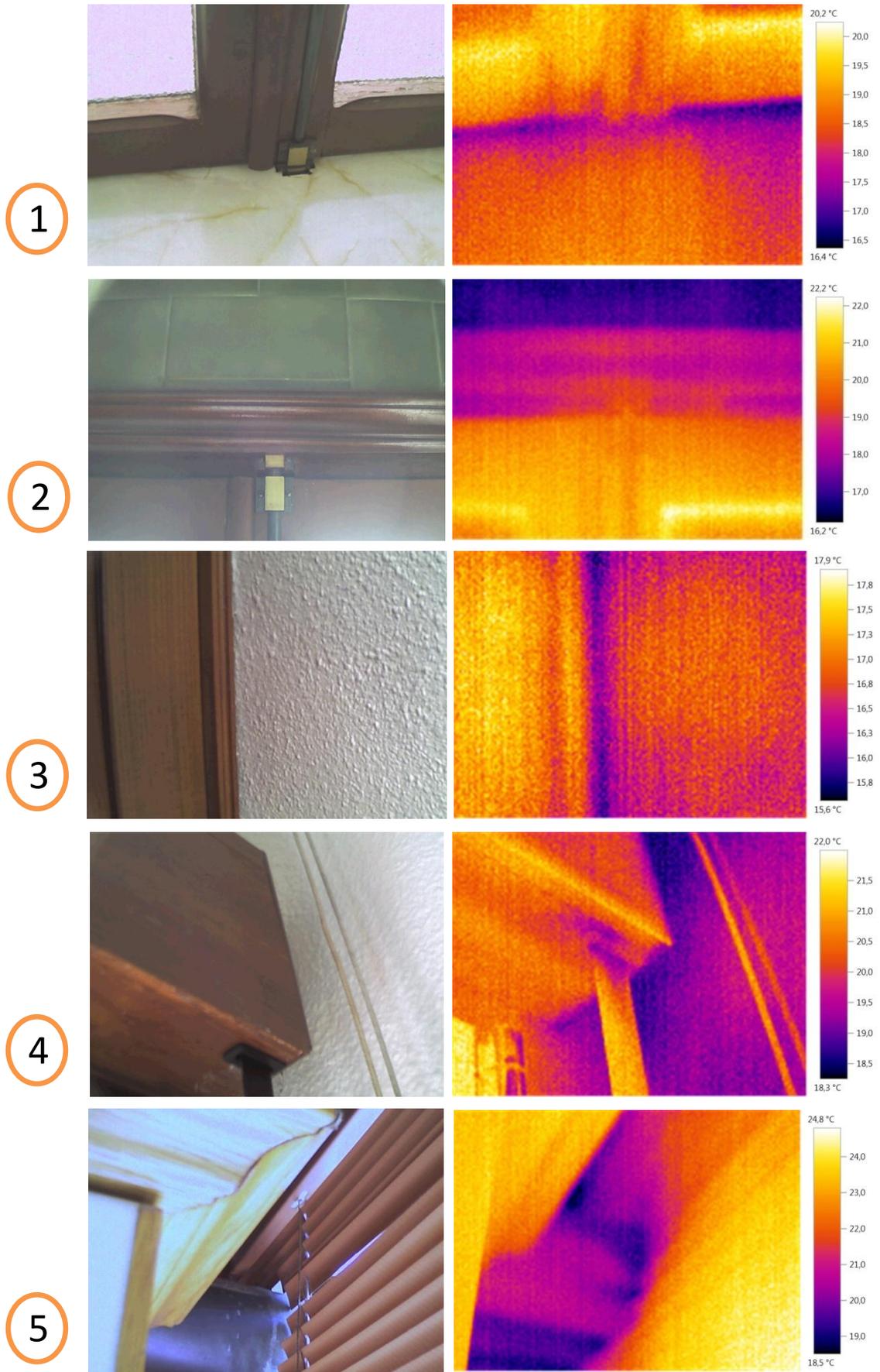
Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Edificio de viviendas

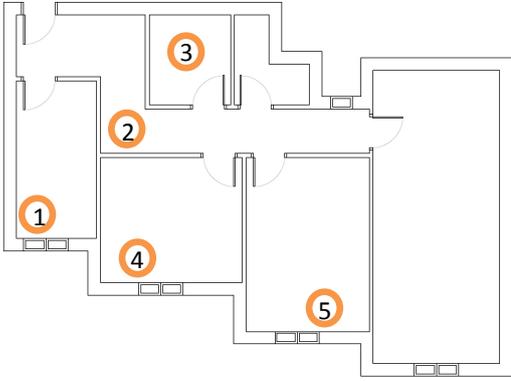


- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m ³ /h	1216 (+/- 0.5 %)	1163 (+/- 0.6 %)	1190
n50: ACH (1/h)	5.31	5.08	5.19
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	13.32	12.74	13.03
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	4.24	4.06	4.15
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	516.5 (+/- 2.5 %)	478.2 (+/- 3.6 %)	497.3
cm ² /m ² Surface Area	1.80	1.67	1.73
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	287.5 (+/- 3.8 %)	261.2 (+/- 5.7 %)	274.3
cm ² /m ² Surface Area	1.00	0.91	0.96
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	116.2 (+/- 5.9 %)	102.6 (+/- 8.7 %)	
Exponent (n)	0.600 (+/- 0.015)	0.621 (+/- 0.022)	
Correlation Coefficient	0.99749	0.99491	

Edificio de 40 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 24/06/2013	
C/ Vitoria, Portal 251, Burgos.							
Vivienda 9º B							
							
Burgos		Año 1965		10 Plantas		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 85,20m ²		Altura media = 2,51m		Volumen = 213,85m ³		Área envolvente = 274,64m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 21,0º	11:00 hs	T _{ext} = 12,0º	U _{media} = 9 km/h	Este	U _{racha} = 15 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 12,7º	U _{media} = 12 km/h	Este	U _{racha} = 22 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 13,7º	U _{media} = 11 km/h	Este	U _{racha} = 21 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 1129 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 1184 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 13,3 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 13,9 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 5,3 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,1m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 5,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 4,3m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 96 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 93 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,64		C _{env} = 119 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 114 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,60	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
E1		Área 11,64 m ²		Perímetro junta 44,90 m		5,40 h ⁻¹	
						0,62	



Edificio de 15 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 04/07/2013	
C/ Las Rebolledas, Portal 9, Burgos.							
Vivienda 1 A							
							
Burgos		Año 1997		B+5		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 67,45m ²		Altura media = 2,43m		Volumen = 163,91m ³		Área envolvente = 235,04m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 20,5°	11:00 hs	T _{ext} = 19,5°	U _{media} = 7 km/h	Sudeste	U _{racha} = 15 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 21,0°	U _{media} = 8 km/h	Este	U _{racha} = 14 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 23,2°	U _{media} = 13 km/h	Este	U _{racha} = 24 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 509 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 481 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 7,6 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 7,1 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 3,1 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,2m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 2,9 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,0m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 36 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 35 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,68		C _{env} = 23 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 22 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,79	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
E1		Área 6,20 m ²		Perímetro junta 24,75 m		3,03 h ⁻¹	
						0,74	

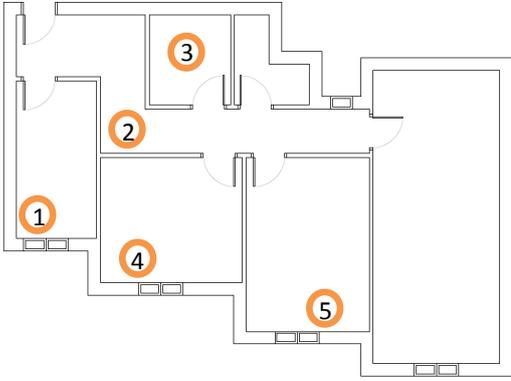
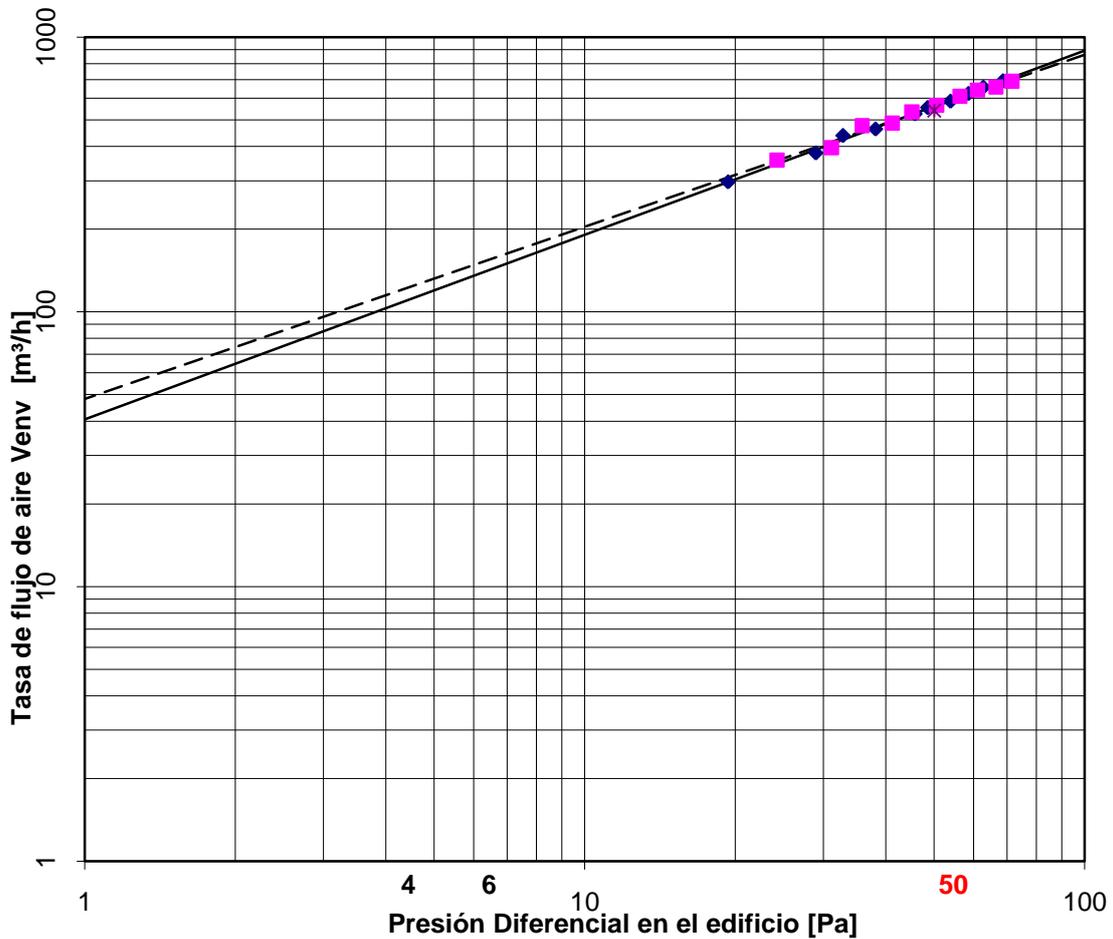
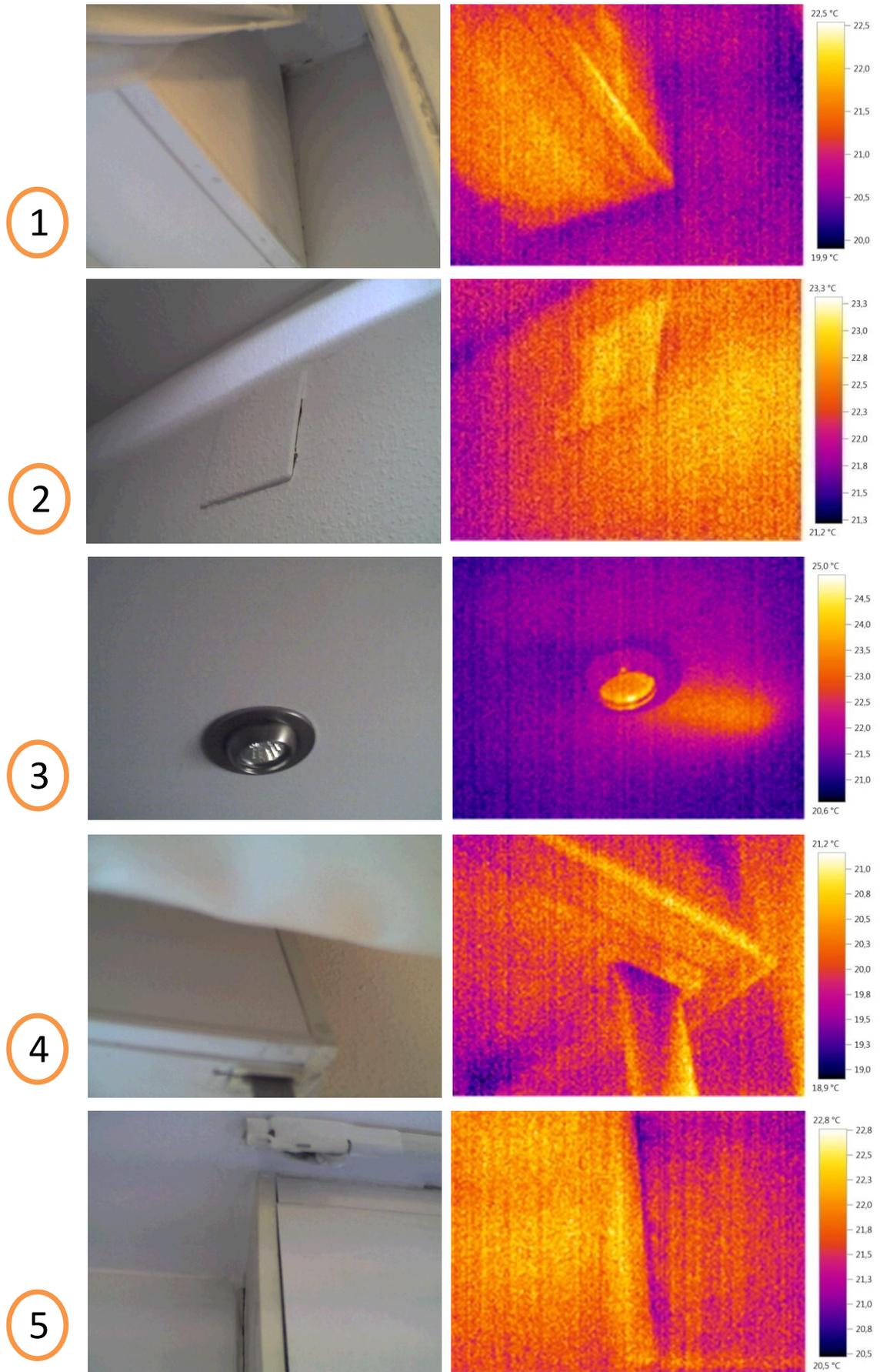
Edificio de 15 viviendas.				Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 04/07/2013	
C/ Las Rebolledas, Portal 9, Burgos.							
Vivienda 1 A							
							
Burgos		Año 1997		B+5		Situación Parcialmente Expuesta	
Dimensiones Zona							
Sup. útil = 67,45m ²		Altura media = 2,43m		Volumen = 163,91m ³		Área envolvente = 235,04m ²	
Error ≈ 3%							
Condiciones meteorológicas							
T _{int} = 20,5°	11:00 hs	T _{ext} = 19,5°	U _{media} = 7 km/h	Sudeste	U _{racha} = 15 km/h		
	12:00 hs	T _{ext} = 21,0°	U _{media} = 8 km/h	Este	U _{racha} = 14 km/h		
	13:00 hs	T _{ext} = 23,2°	U _{media} = 13 km/h	Este	U _{racha} = 24 km/h		
Resultados							
V ₅₀ = 542 m ³ /h		+/- 6%		V ₅₀ = 538 m ³ /h		+/- 6%	
w ₅₀ = 8,0 m ³ /m ² ·h		+/- 6%		w ₅₀ = 8,0 m ³ /m ² ·h		+/- 6%	
Despresurización				Presurización			
n ₅₀ = 3,3 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,3m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,3 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,3m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 41 m ³ /h·Pa ⁿ		C _L = 39 m ³ /h·Pa ⁿ		n = 0,67		C _{env} = 48 m ³ /h·Pa ⁿ	
						C _L = 46 m ³ /h·Pa ⁿ	
						n = 0,63	
Zona climática		Carpinterías				n50 media	
						n medio	
E1		Área 6,20 m ²		Perímetro junta 24,75 m		3,28 h ⁻¹	
						0,65	

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de viviendas



- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	539 (+/- 0.4 %)	538 (+/- 0.7 %)	538
n50: ACH (1/h)	3.29	3.28	3.28
w50: m³/(h*m² Floor Area)	7.99	7.97	7.98
q50: m³/(h*m² Surface Area)	2.29	2.29	2.29
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	204.4 (+/- 2.4 %)	223.0 (+/- 4.3 %)	213.7
cm²/m² Surface Area	0.87	0.95	0.91
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	106.7 (+/- 3.8 %)	122.4 (+/- 6.6 %)	114.6
cm²/m² Surface Area	0.45	0.52	0.49
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	39.1 (+/- 5.8 %)	48.5 (+/- 10.2 %)	
Exponent (n)	0.670 (+/- 0.015)	0.615 (+/- 0.026)	
Correlation Coefficient	0.99806	0.99305	



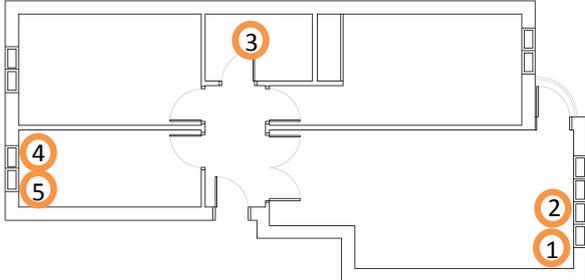
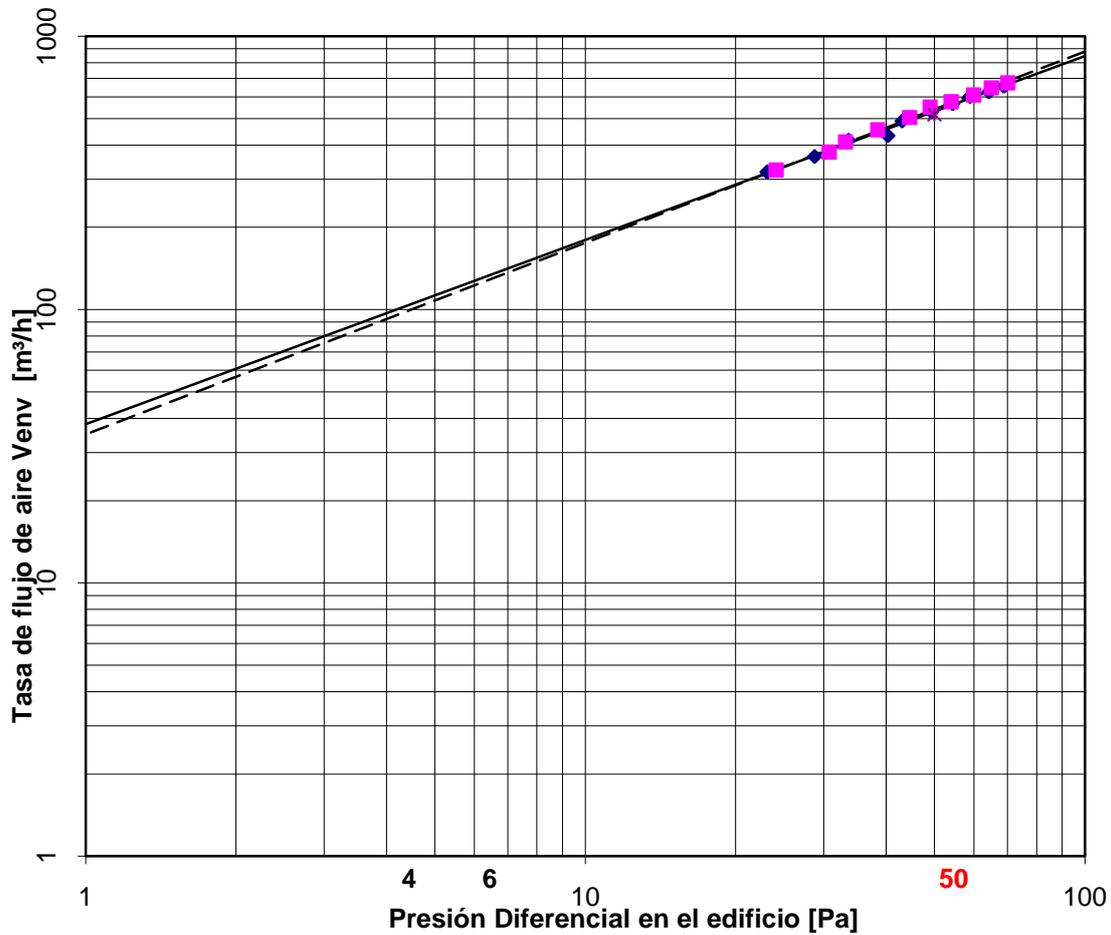
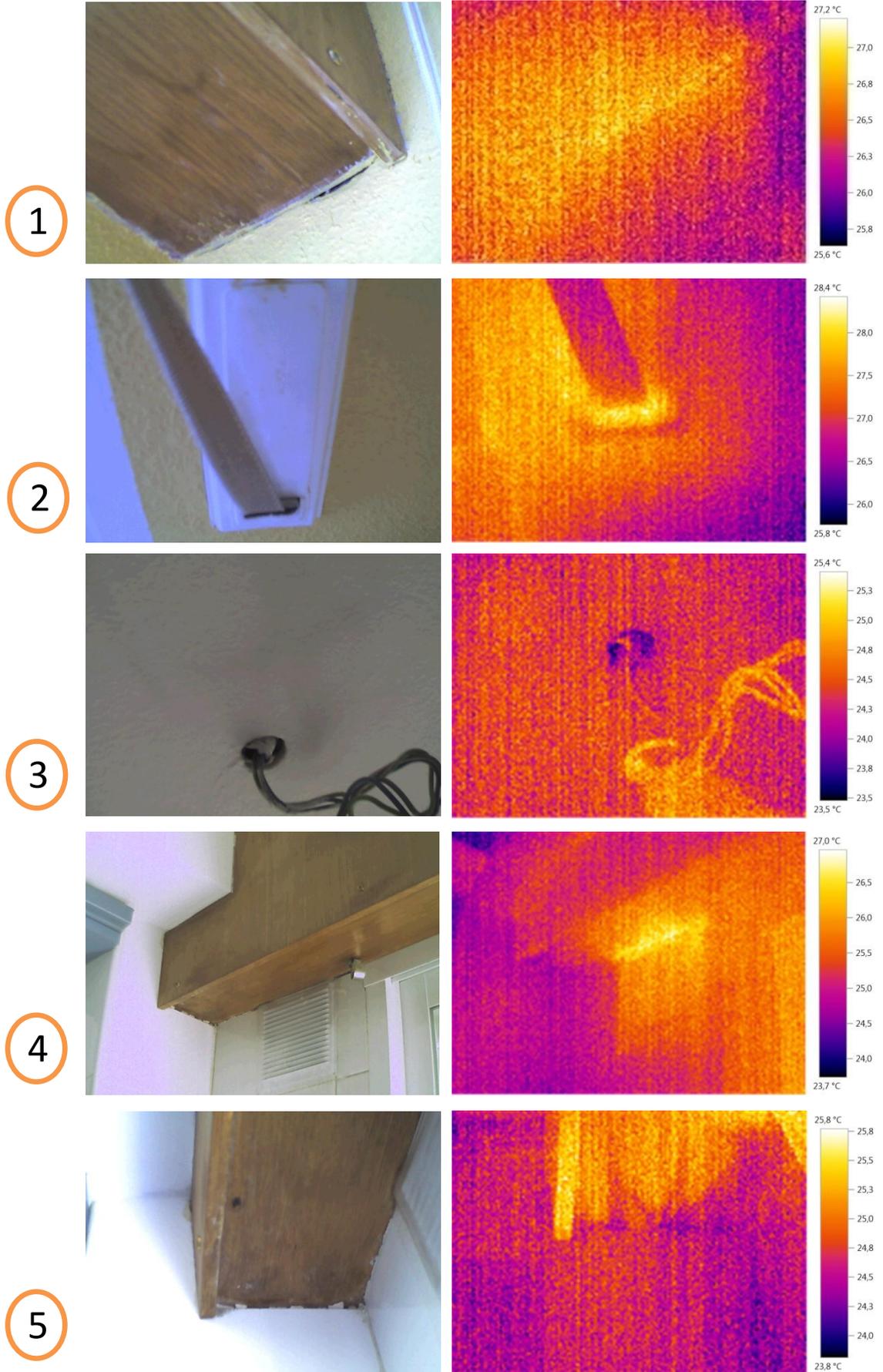
Edificio de 12 viviendas.			Técnico: A.Sordo		Fecha del ensayo: 04/07/2013	
C/ Romanceros, Portal 1, Burgos.						
Vivienda 3 B						
						
Burgos		Año 2003	B+5	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona						
Sup. útil = 58,74m ²		Altura media = 2,46m	Volumen = 144,58m ³	Área envolvente = 203,70m ²		Error ≈ 3%
Condiciones meteorológicas						
T _{int} = 25,0°	18:00 hs	T _{ext} = 26,0°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 22 km/h	
	19:00 hs	T _{ext} = 25,1°	U _{media} = 14 km/h	Nordeste	U _{racha} = 25 km/h	
	20:00 hs	T _{ext} = 24,1°	U _{media} = 11 km/h	Nordeste	U _{racha} = 18 km/h	
Resultados						
V ₅₀ = 510 m ³ /h		+/- 10%	V ₅₀ = 523 m ³ /h		+/- 10%	
w ₅₀ = 8,7 m ³ /m ² ·h		+/- 11%	w ₅₀ = 8,9 m ³ /m ² ·h		+/- 11%	
Despresurización			Presurización			
n ₅₀ = 3,5 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,5m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 3,6 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,6m ³ /m ² ·h
C _{env} = 38 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 37 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,67	C _{env} = 35 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 34 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,70	
Zona climática	Carpinterías			n50 media		n medio
E1	Área 10,41 m ²	Perímetro junta 38,40 m		3,57 h ⁻¹		0,69

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Bloque de viviendas

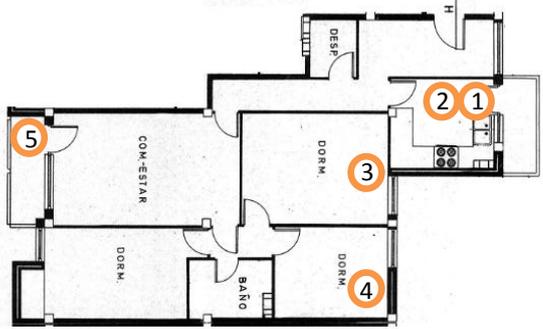


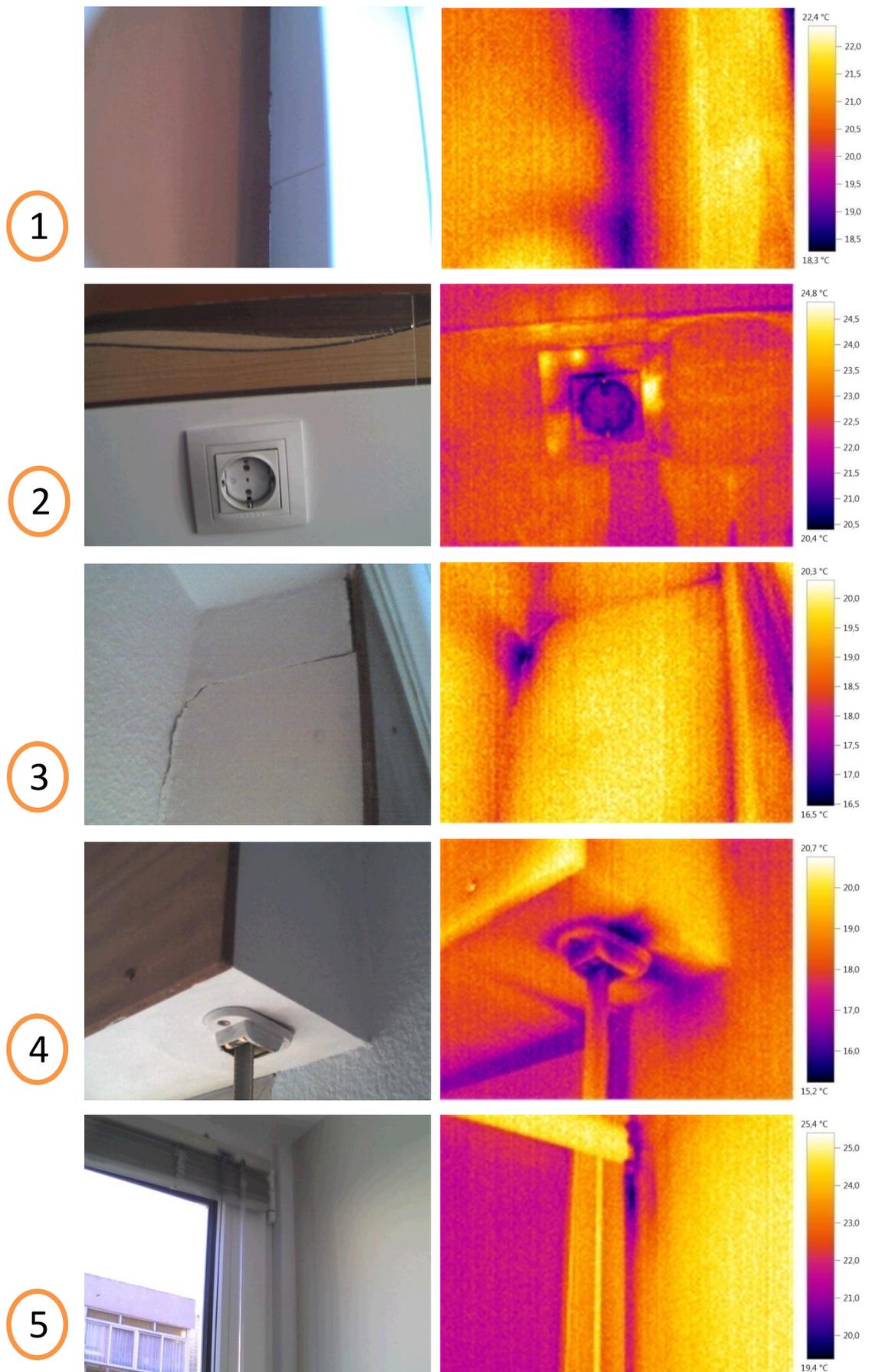
- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- - - Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- ✕ Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

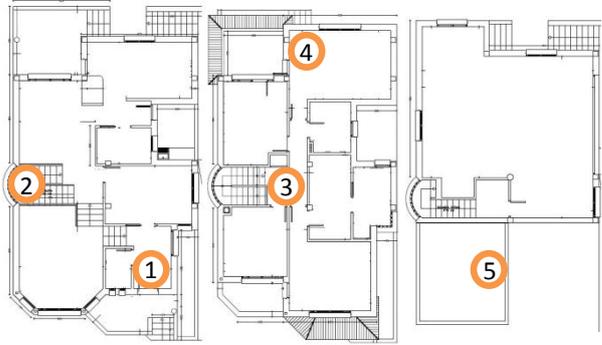
	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m ³ /h	511 (+/- 0.7 %)	522 (+/- 0.5 %)	517
n50: ACH (1/h)	3.54	3.61	3.57
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	8.71	8.89	8.80
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	2.51	2.56	2.54
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	192.8 (+/- 3.9 %)	192.8 (+/- 2.9 %)	192.8
cm ² /m ² Surface Area	0.95	0.95	0.95
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	100.3 (+/- 6.0 %)	99.0 (+/- 4.4 %)	99.7
cm ² /m ² Surface Area	0.49	0.49	0.49
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	36.6 (+/- 9.3 %)	35.5 (+/- 6.8 %)	
Exponent (n)	0.674 (+/- 0.024)	0.687 (+/- 0.017)	
Correlation Coefficient	0.99509	0.99749	



Estudios en Valladolid:

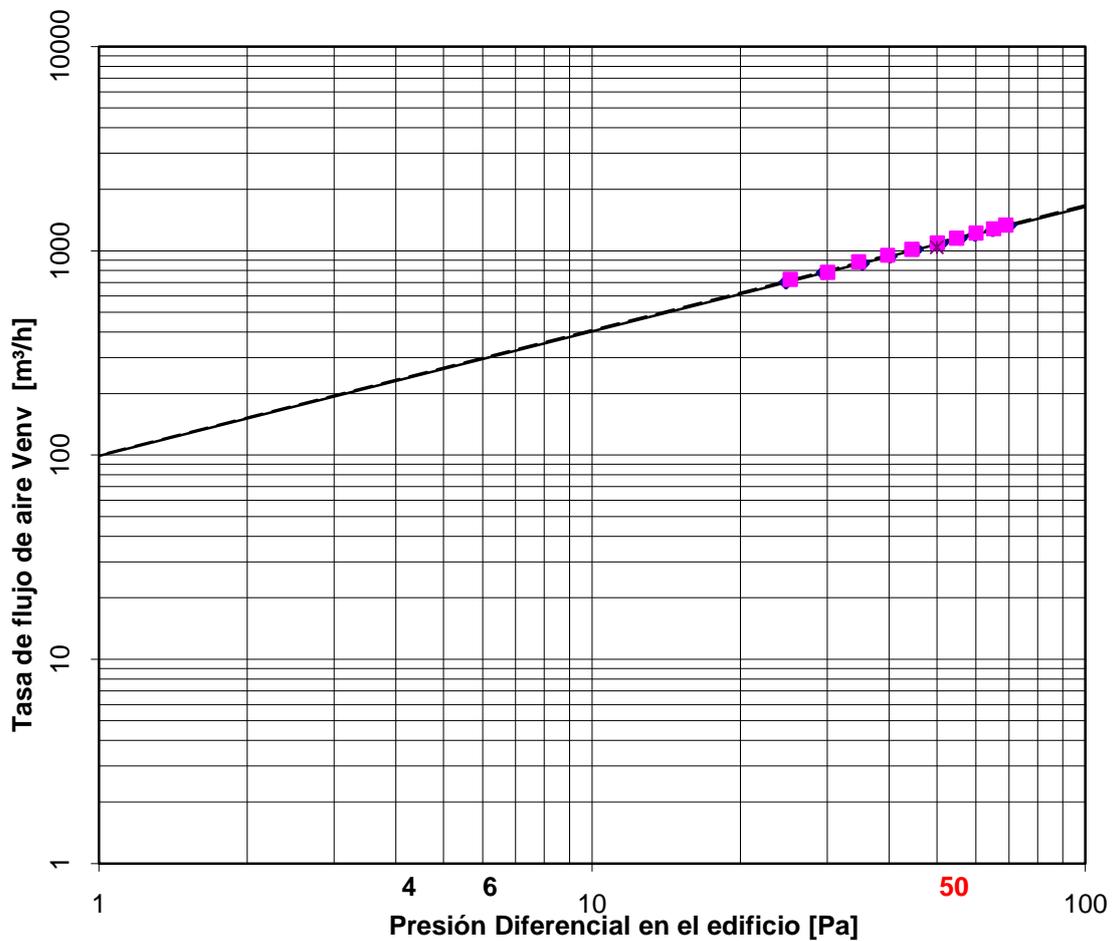
Edificio de 20 viviendas. c/ Sargento Provisional, Portal 5, Valladolid. Vivienda 3ºH			Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 19/04/2013	
					
Valladolid	Año 1979	B+5	Situación Parcialmente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 87,66m ²	Altura media = 2,41m	Volumen = 216,02m ³	Área envolvente = 356,22m ²	Error ≈ 5%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 24,5°	18:00 hs	T _{ext} = 13,6°	U _{media} = 14 km/h	Nordeste	U _{racha} = 44 km/h
	19:00 hs	T _{ext} = 12,7°	U _{media} = 15 km/h	Este	U _{racha} = 35 km/h
	20:00 hs	T _{ext} = 11,0°	U _{media} = 13 km/h	Nordeste	U _{racha} = 34 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 685 m ³ /h	+/- 11%		V ₅₀ = 712 m ³ /h	+/- 10%	
w ₅₀ = 7,8 m ³ /m ² ·h	+/- 12%		w ₅₀ = 8,1 m ³ /m ² ·h	+/- 12%	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 3,2 h ⁻¹		q ₅₀ = 1,9m ³ /m ² ·h	n ₅₀ = 3,3 h ⁻¹		q ₅₀ = 2,0m ³ /m ² ·h
C _{env} = 49 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 48 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,68	C _{env} = 55 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 53 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,66
Zona climática	Carpinterías			n50 media	n medio
D2	Área 16,08 m ²	Perímetro junta 44,20 m		3,23 h ⁻¹	0,67



Vivienda aislada C/ Hoces de Riaza, nº 12, Aldeamayor de San Martín. (Valladolid)				Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 13/07/2013
					
Valladolid	Año 2011	2 Plantas + SS	Situación Altamente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 209,64m ²	Altura media = 2,56m	Volumen = 536,67m ³	Área envolvente = 509,38m ²	Error ≈ 3%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 26,0°	11:00 hs	T _{ext} = 24,3°	U _{media} = 4 km/h	Sudeste	U _{racha} = 8 km/h
	12:00 hs	T _{ext} = 26,2°	U _{media} = 6 km/h	Sudeste	U _{racha} = 13 km/h
	13:00 hs	T _{ext} = 28,2°	U _{media} = 8 km/h	Nordeste	U _{racha} = 12 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 1259 m ³ /h	+/- 5%		V ₅₀ = 1261 m ³ /h	+/- 5%	
w ₅₀ = 6,0 m ³ /m ² ·h	+/- 6%		w ₅₀ = 6,0 m ³ /m ² ·h	+/- 6%	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 2,3 h ⁻¹	q ₅₀ = 2,5m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 2,3 h ⁻¹	q ₅₀ = 2,5m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 101 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 97 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,65	C _{env} = 102 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 99 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,65
Zona climática	Carpinterías			n50 media	n medio
D2	Área 61,86 m ²	Perímetro junta 159,20 m		2,35 h ⁻¹	0,65

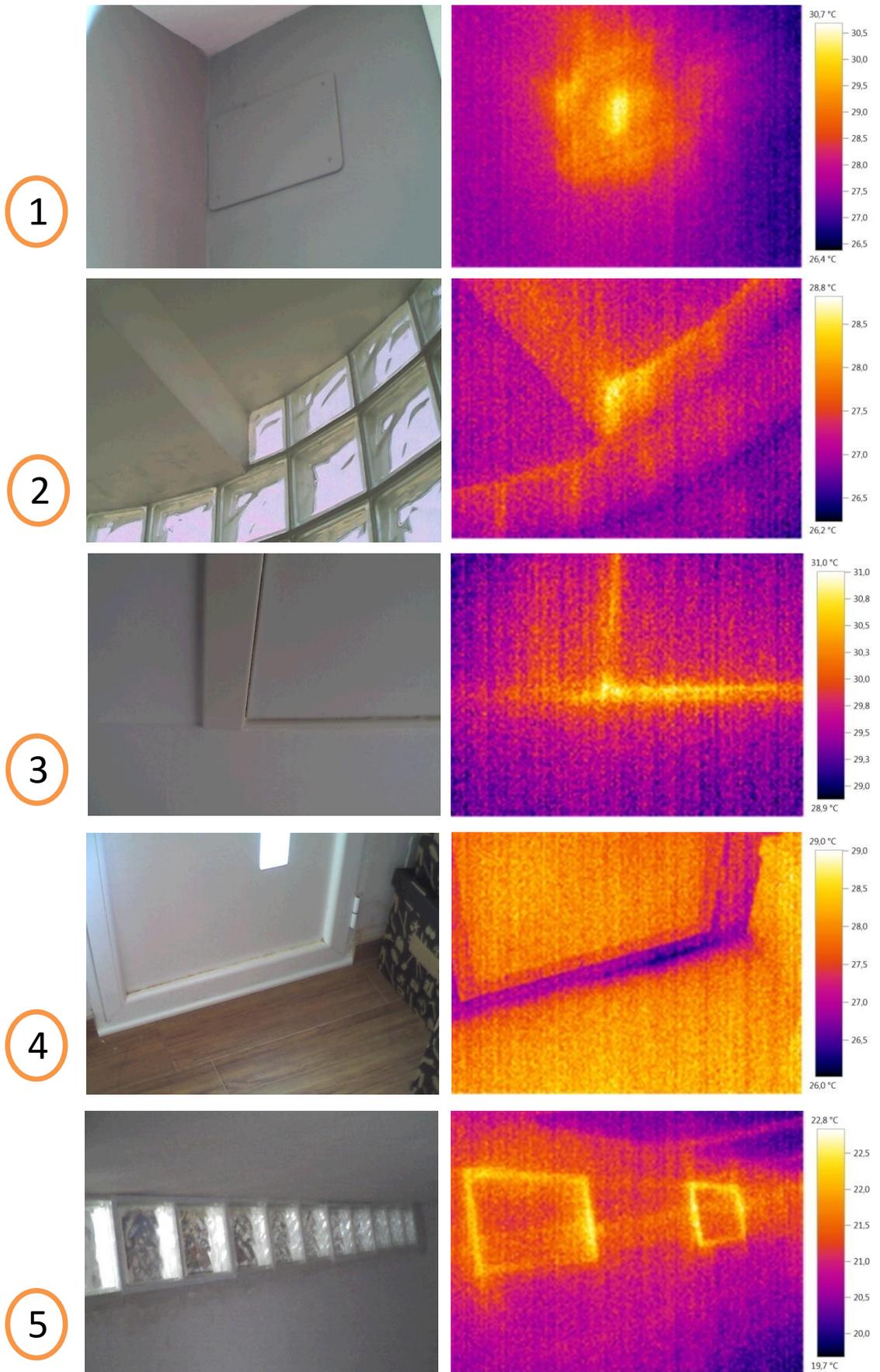
Vivienda aislada C/ Hoces de Riaza, nº 12, Aldeamayor de San Martín. (Valladolid)				Técnico: A.Sordo	Fecha del ensayo: 13/07/2013
					
Valladolid	Año 2011	2 Plantas + SS	Situación Altamente Expuesta		
Dimensiones Zona					
Sup. útil = 209,64m ²	Altura media = 2,56m	Volumen = 536,67m ³	Área envolvente = 509,38m ²	Error ≈ 3%	
Condiciones meteorológicas					
T _{int} = 26,0°	12:00 hs	T _{ext} = 26,2°	U _{media} = 6 km/h	Sudeste	U _{racha} = 13 km/h
	13:00 hs	T _{ext} = 28,2°	U _{media} = 8 km/h	Nordeste	U _{racha} = 12 km/h
	14:00 hs	T _{ext} = 30,5°	U _{media} = 5 km/h	Sur	U _{racha} = 17 km/h
Resultados					
V ₅₀ = 1031 m ³ /h	+/- 5%		V ₅₀ = 1049 m ³ /h	+/- 5%	
w ₅₀ = 4,9 m ³ /m ² ·h	+/- 6%		w ₅₀ = 5,0 m ³ /m ² ·h	+/- 6%	
Despresurización			Presurización		
n ₅₀ = 1,9 h ⁻¹	q ₅₀ = 2,0m ³ /m ² ·h		n ₅₀ = 2,0 h ⁻¹	q ₅₀ = 2,1m ³ /m ² ·h	
C _{env} = 99 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 95 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,61	C _{env} = 100 m ³ /h·Pa ⁿ	C _L = 96 m ³ /h·Pa ⁿ	n = 0,61
Zona climática	Carpinterías			n50 media	n medio
D2	Área 59,34 m ²	Perímetro junta 149,40 m		1,94 h ⁻¹	0,61

Gráfico de Infiltraciones BlowerDoor Vivienda aislada



- ◆ (Flujo de aire) Despresurización [m³/h]
- ◆ (Flujo de aire) Presurización [m³/h]
- Línea de Regresión Despresurización [m³/h]
- - - Línea de Regresión Presurización [m³/h]
- * Tasa de flujo de aire a 50 Pa [m³/h]

	Depressurization	Pressurization	Average
Airflow at 50 Pascals			
V50: m³/h	1032 (+/- 0.1 %)	1050 (+/- 0.2 %)	1041
n50: ACH (1/h)	1.92	1.96	1.94
w50: m³/(h*m² Floor Area)	4.92	5.01	4.96
q50: m³/(h*m² Surface Area)	2.03	2.06	2.04
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	429.2 (+/- 0.6 %)	437.4 (+/- 1.2 %)	433.3
cm²/m² Surface Area	0.84	0.86	0.85
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	236.0 (+/- 0.9 %)	240.8 (+/- 1.9 %)	238.4
cm²/m² Surface Area	0.46	0.47	0.47
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	93.7 (+/- 1.3 %)	95.8 (+/- 3.0 %)	
Exponent (n)	0.613 (+/- 0.003)	0.612 (+/- 0.008)	
Correlation Coefficient	0.99988	0.99939	

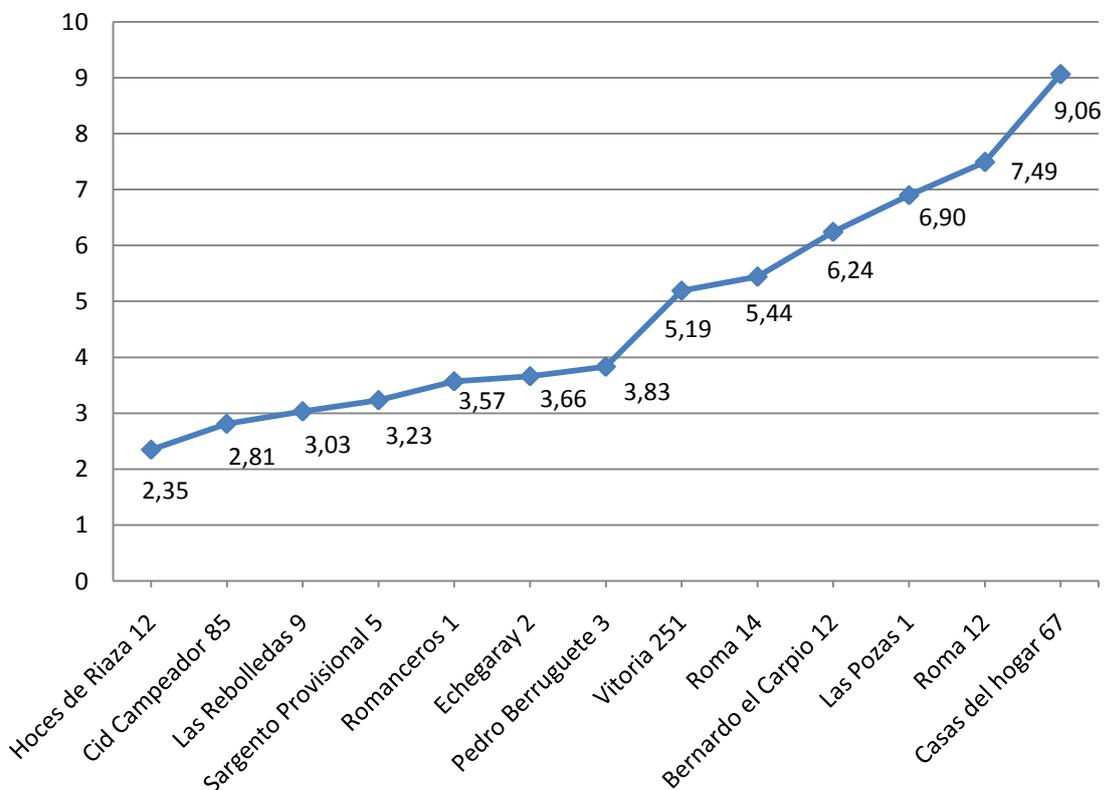


8. Análisis de resultados

El estudio se ha elaborado en 13 viviendas, con una realización de 21 ensayos (de los cuales 13 son realizados en condiciones “normales” de la vivienda, 7 con diferentes propuestas como aberturas de terrazas o sellado de determinados elementos, y 1 de ellos se ha repetido para comprobar que los resultados se encuentren comprendidos en los márgenes de error proporcionados, siendo el caso del segundo ensayo realizado en la localidad de Saldaña).

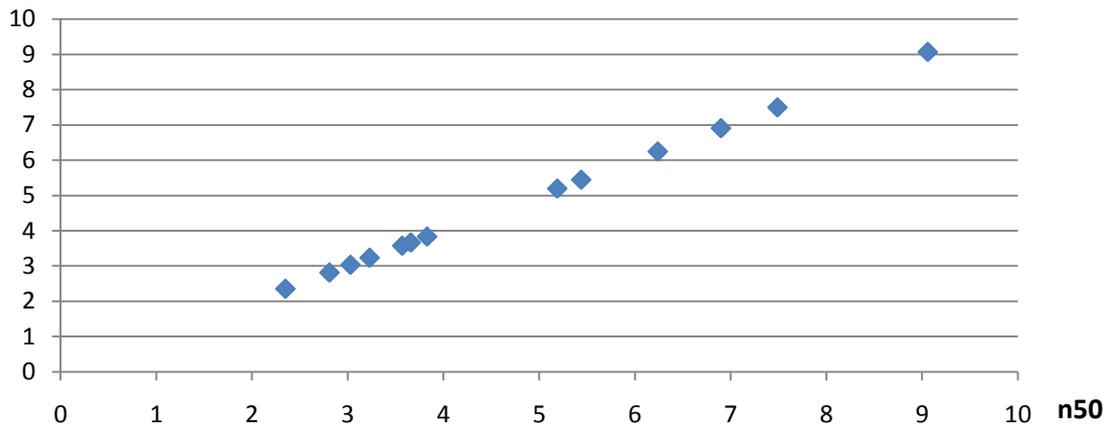
En una primera aproximación se puede observar cómo del total, el 10% se corresponde con valores próximos a $2,0 \text{ h}^{-1}$, 20% a valores próximos a 3 h^{-1} , 30% a $4,0 \text{ h}^{-1}$, 15% a $5,0 \text{ h}^{-1}$, 10% a 6 h^{-1} , y a un 5% para los casos de 7 h^{-1} , 8 h^{-1} , y 9 h^{-1} . Si se generaliza un poco más el 10% estará en el intervalo entre $0-2 \text{ h}^{-1}$, el 50% entre $2-4 \text{ h}^{-1}$, el 25% entre $4-6 \text{ h}^{-1}$, el 10% entre $6-8 \text{ h}^{-1}$, y el 5% para valores superiores a 9 h^{-1} . Esto aporta que el grueso de viviendas analizadas se encuentra en un ámbito de entorno a $3-5 \text{ h}^{-1}$, tal como se muestra en la media de todas las viviendas dando como resultado $4,54$ renovaciones de aire por hora (h^{-1}).

Gráfico 1: Valores de n_{50} obtenidos de los ensayos ordenados ascendentemente (sin considerar variaciones en la envolvente):



Fuente: Elaboración propia.

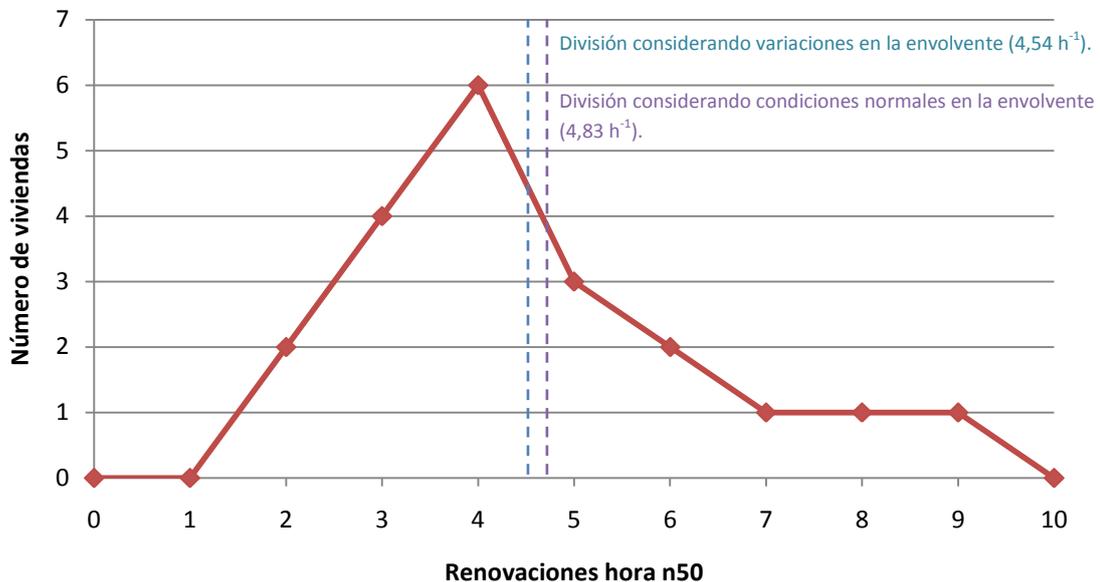
Gráfico 2: Dispersión de valores de n50 (sin considerar variaciones en la envolvente):



Fuente: Elaboración propia.

Si se tienen en cuenta solamente los datos de las viviendas sin tener en cuenta aspectos tales como el estudio de las contraventanas en la vivienda de Las Rebolledas 9, la apertura de terrazas en Echegaray 2, el sellado de la ventana con ajuste deficiente en Pedro Berruguete 3, o sobre todo la mejora producida en el Grupo Casas del Hogar 67, se obtiene una tasa de renovación de aire de $4,83 \text{ h}^{-1}$. Para este cálculo se han tomado los ensayos marcados con * en la tabla de la siguiente página.

Gráfico 3: Muestra del número de viviendas para cada valor de n50 (establecido un redondeo a números enteros):



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se representan de nuevo los valores de n50, pero se procede a un redondeo de los datos para poder realizar una clasificación más general, y poder establecer unos márgenes en los resultados obtenidos. Así los valores comprendidos entre números enteros se representan en el grupo de redondeo más cercano. Por ejemplo en el grupo de $n50 = 2 \text{ h}^{-1}$ estarán los valores 1,94 y 2,35.

Tabla 4: Resumen de los datos obtenidos en los ensayos.

Localidad	Dirección	Año const.	Despresurización				Presurización				n50 media	Tipo ensayo		
			V50	w50	q50	n50	n	V50	w50	q50			n50	n
Palencia	Roma 14	1997	1115	13,8	4,2	5,5	0,54	1072	13,2	4,1	5,3	0,56	5,44	*
	Echegaray 2	1969	691	9,5	2,8	3,9	0,63	619	8,5	2,5	3,5	0,55	3,66	*
	Roma 12	1997	622	9,3	2,6	3,8	0,63	667	9,9	2,8	4,1	0,67	3,92	***
	P. Berruguete 3	1999	1510	18,7	5,7	7,5	0,59	1523	18,8	5,8	7,6	0,49	7,49	*
	Casas del Hogar 67	1950	667	8,8	2,7	3,6	0,66	680	8,9	2,7	3,6	0,67	3,59	**
	Bernardo el Carpio 12	1900	695	9,4	2,8	3,8	0,59	703	9,5	2,8	3,9	0,57	3,83	*
	Las Pozas 1	2007	1023	24,8	6,4	9,6	0,58	903	21,9	5,6	8,5	0,64	9,06	*
	Cid Campeador 85	1960	474	12,9	3,1	4,9	0,61	356	9,7	2,3	3,7	0,71	4,34	**
	Vitoria 251	1965	864	14,4	4,1	6,0	0,59	926	15,5	4,4	6,4	0,63	6,24	*
	Las Rebolledas 9	1997	856	14,3	4,0	6,0	0,63	931	15,5	4,4	6,5	0,64	6,22	+
Burgos	Romanceros 1	2003	842	14,1	4,0	5,9	0,63	-	-	-	-	-	5,85	**
	Sargento Provisional 5	1979	1670	16,8	4,7	6,9	0,61	1681	16,9	4,7	6,9	0,58	6,90	*
	Hoces de Riaza 12	2011	562	7,5	2,0	2,9	0,62	534	7,1	1,9	2,7	0,63	2,81	*
			1214	13,3	4,2	5,3	0,60	1162	12,7	4,0	5,1	0,62	5,19	*
			1129	13,3	4,1	5,3	0,64	1184	13,9	4,3	5,5	0,60	5,40	***
Valladolid			509	7,6	2,2	3,1	0,68	481	7,1	2,0	2,9	0,79	3,03	*
			542	8,0	2,3	3,3	0,67	538	8,0	2,3	3,3	0,63	3,28	***
			510	8,7	2,5	3,5	0,67	523	8,9	2,6	3,6	0,70	3,57	*
			685	7,8	1,9	3,2	0,68	712	8,1	2,0	3,3	0,66	3,23	*
			1259	6,0	2,5	2,3	0,65	1261	6,0	2,5	2,3	0,65	2,35	*
			1031	4,9	2,0	1,9	0,61	1049	5,0	2,1	2,0	0,61	1,94	**

* Ensayos de viviendas en condiciones normales.

** Ensayos de viviendas donde se mejoran la hermeticidad.

*** Ensayos de viviendas donde se empeora la hermeticidad.

+ Ensayo que se ha realizado para la comprobación de la veracidad de resultados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los porcentajes de variación de la tasa de renovación por hora nos encontramos varios casos de estudio. Por ejemplo en las viviendas situadas en Calle Echegaray 2, Casas Grupo del Hogar 67, Vitoria 251 se procedió al estudio del test de presurización con las terrazas cerradas y con ellas abiertas, los resultados indican que no existe una relación directa por la que al cerrar o abrir las terrazas se mejore la hermeticidad puesto que en los resultados obtenidos se pone de manifiesto que en el caso de Grupo Casas del Hogar 67 se mejora en un 52,1% el valor n_{50} al proceder a la apertura de la terraza, sin embargo en los otros dos casos se empeora la hermeticidad entre un 4,0% y un 7,1% con la terraza abierta. Esto es debido a que los componentes del cerramiento que separan la vivienda con la terraza pueden ser más o menos herméticos comparados con el cerramiento de las propias terrazas.

Sin embargo en los dos casos estudiados que disponen escotillas interiores de acceso a espacio no acondicionado de cubierta, se contempla que existe una mejoría de la hermeticidad al sellar estos elementos. En ambos casos se ha procedido también al sellado de otros elementos como una ventana balconera donde existía un desperfecto o la puerta que da acceso al garaje, mejorando entre un 6,3% y un 17,4%.

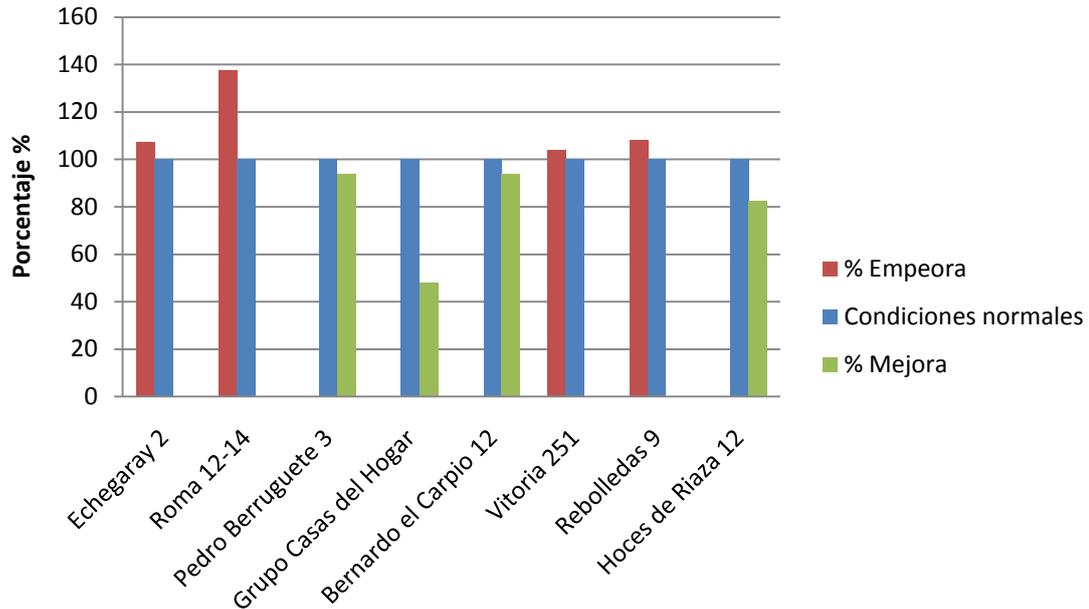
La gran importancia de las ventanas para la hermeticidad se ha comentado en la parte teórica, pero tras la realización de los ensayos se corrobora, puesto que en varios casos como en la vivienda de la calle Pedro Berruguete, el sellado correcto de la ventana reduce un 6,3% la tasa de infiltración. Otro aspecto es la colocación de una doble ventana, en la vivienda situada en la calle Las Rebolledas 9 se realizó un test con las contraventanas abiertas obteniendo una tasa de $3,28 \text{ h}^{-1}$, anteriormente se había procedido a la realización de otro test con todas las contraventanas cerradas obteniendo $3,03 \text{ h}^{-1}$, o lo que es lo mismo, una reducción de un 8,3%.

En las viviendas situadas en la calle Roma (portales 12 y 14), se puede realizar una comparación entre la estanqueidad de las ventanas puesto que ambas viviendas disponen de idénticas características de construcción, lo único que difieren es que el usuario del portal 12 no ha realizado un cambio de ventanas situadas en la orientación sureste, sin embargo en el portal 14 si se ha realizado el cambio por ventanas más herméticas pasando de $7,49 \text{ h}^{-1}$ para el portal 12 a $5,44 \text{ h}^{-1}$ para el portal 14, con una diferencia de un 37,7%.

Cuando se estudian las ventanas hay que tener en cuenta que gran parte de las infiltraciones se producen a través de las cajoneras de persianas, así como de las aberturas que se dejan para la instalación de la cinta de persiana.

En el primer gráfico de la página siguiente se pueden ver los valores de los porcentajes anteriormente citados.

Gráfico 4: Variación en porcentaje de las variaciones en los ensayos.



Fuente: Elaboración propia.

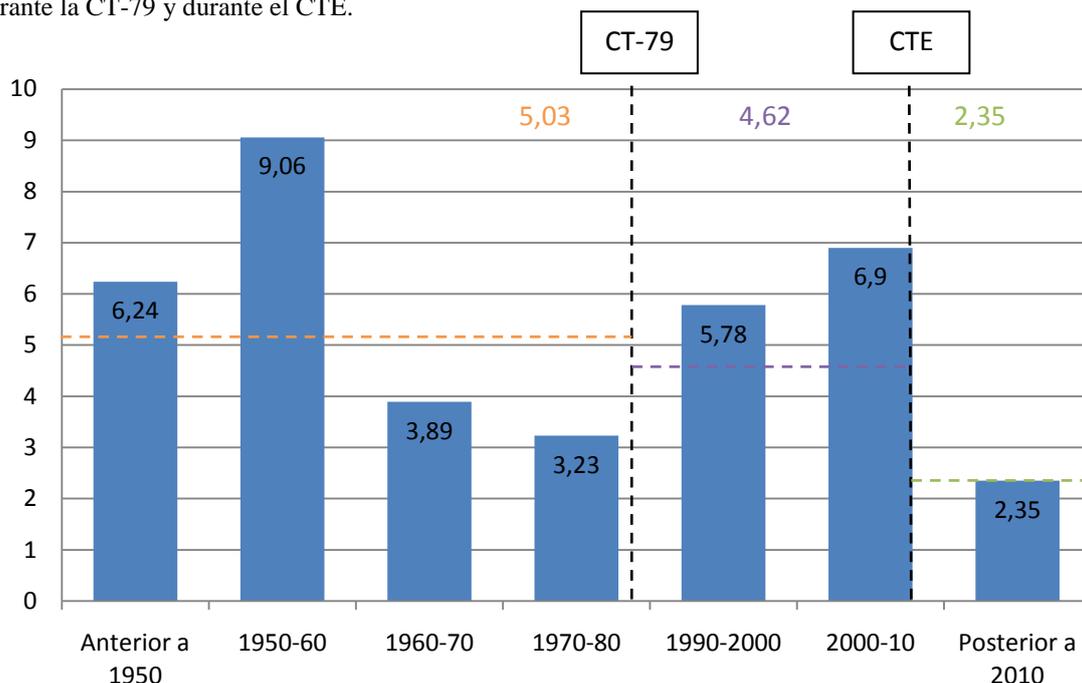
A priori cuanto mayor sea la superficie de carpinterías así como el perímetro de juntas, mayor será la tasa de infiltración, este hecho se puede demostrar en las viviendas de las calles Bernardo el Carpio 12 y Hoces de Riaza 12 donde se pasa de una tasa por infiltraciones de $6,24 \text{ h}^{-1}$, a $5,85 \text{ h}^{-1}$, y de $2,35 \text{ h}^{-1}$, a $1,94 \text{ h}^{-1}$ respectivamente. Estas mejoras se sitúan en torno al 12% de media mediante un sellado medio del 5% del área de huecos o un 6% si se considera el perímetro para estos casos.

Lógicamente se han sellado los puntos de entrada que se han establecido por medio de la cámara termográfica e inspección visual como de mayor importancia, puesto que si se procede al sellado de una ventana que sea totalmente hermética no se producirá una mejora en ese porcentaje, es decir, si se sellan las juntas de una ventana por donde no existan infiltraciones, el resultado de la tasa de infiltración no se verá afectado.

8.1 Resultados por año de construcción:

- Como conclusión general se sacan 3 valores de la tasa de infiltraciones: anterior a CT-79, durante CT-79 y posterior a CT-79 (CTE), expuestos en la gráfica de la página siguiente.
- Si analizamos por décadas (excepto 1980-1990 que no se ha realizado ningún ensayo), se puede comprobar cómo durante la década anterior al estallido de la burbuja inmobiliaria y anterior a la entrada del CTE se ha construido “a destajo” donde no importaba el tema de la hermeticidad. Por supuesto se deberían realizar muchos más ensayos para conclusiones más detalladas.

Gráfico 5: Valores n50 medios para diferentes décadas, media con normativa anterior a CT-79, durante la CT-79 y durante el CTE.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se debe tener en cuenta que la media realizada es para valores dentro de la misma normativa, de aquí que haya valores pertenecientes a la década de 1970-80 que se contabilicen en el intervalo comprendido entre CT-79 y CTE, y valores de la década 2000-2010 que se contabilicen posteriores al CTE. La vivienda construida en 2007 se ha proyectado con la normativa anterior al CTE aunque ya hubiese entrado en vigor en el momento de su construcción.

Con un análisis por tipología constructiva: del total de viviendas 11 de ellas corresponden a edificios multifamiliares, mientras que dos de ellas son unifamiliares (concretamente las dos más recientemente construidas). Los valores obtenidos son una media de 4,85 h⁻¹ para edificios multifamiliares estando los valores comprendidos entre un mínimo de 2,81 h⁻¹, y 9,06 h⁻¹, y de 4,63 h⁻¹ para viviendas unifamiliares, con valor mínimo de 2,35 h⁻¹ y máximo de 6,90 h⁻¹.

8.2 Resultados por zonas climáticas:

- Zona D1 (Palencia – 7 viviendas): el valor medio es de 6,05 h⁻¹, con un máximo de 9,06 h⁻¹ y un mínimo de 3,59 h⁻¹.
- Zona E1 (Burgos – 4 viviendas): el valor medio es de 3,65 h⁻¹, con un máximo de 5,40 h⁻¹ y un mínimo de 2,81 h⁻¹.
- Zona D2 (Valladolid – 2 viviendas): el valor medio es de 2,79 h⁻¹, con un máximo de 3,23 h⁻¹ y un mínimo de 1,94 h⁻¹.

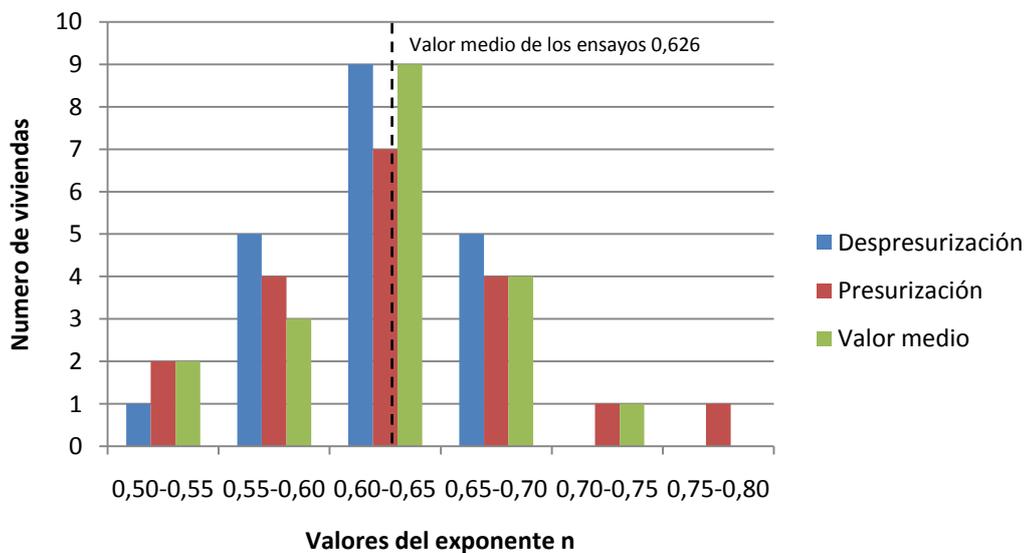
8.3 Resultados por valor del exponente n:

Una vez estudiados los valores de n_{50} se procederá al estudio de los valores del exponente n de la ecuación de flujo de aire $Q = C \cdot \Delta P^n$. Con los valores del exponente “ n ” se obtiene una aproximación del tamaño de las aberturas y del régimen de movimiento de aire en el que nos encontramos como se expuso en la parte teórica.

Para los datos del estudio nos encontramos con valores que van desde 0,54 hasta 0,68 para los casos de despresurización, siendo la media 0,624 próximo a 0,65 que es el valor que se considera con carácter general. Si se realiza el mismo procedimiento para el caso de la presurización se obtendrá un valor medio de 0,629, encontrándose entre valores de 0,49 y 0,79 encontrándose en el mismo caso anterior. Y una media total para ambos casos de 0,626 (gráfico siguiente). En el caso de la vivienda de la calle Roma 14 el exponente es de 0,54, este dato nos indica que existe una abertura de grandes dimensiones por las que se filtra el aire comparada con el resto de las aberturas, por lo que si se localiza y se procede a su sellado se podrá disminuir considerablemente la tasa de infiltración. Del mismo modo ocurre en la vivienda de la calle Pedro Berruguete 3, donde como ya se ha explicado existía una ventana que ajustaba mal por lo que se producía una abertura de dimensiones considerables, pasando el exponente de 0,59 con la ventana sin sellar a 0,66 con la ventana sellada, con la correspondiente variación de tasa de renovación de aire de $3,83 \text{ h}^{-1}$, a $3,59 \text{ h}^{-1}$ en el caso del sellado de ventana.

Como curiosidad se encuentra el caso del valor del exponente en la calle Roma 12, que tiene por valor en presurización de 0,49, valor por debajo del mínimo que se marca en la teoría, esto es debido al margen de error que se establece en el software TECTITE EXPRESS, puesto que el valor de n se obtiene de la ecuación: $n = 1/(2-M)$ tomando M valores de 0 para régimen turbulento y 1 para laminar, por lo que se demuestra que el valor debe estar comprendido entre 0,5 y 1.

Gráfico 6: Valores de n obtenidos de los ensayos.



Fuente: Elaboración propia.

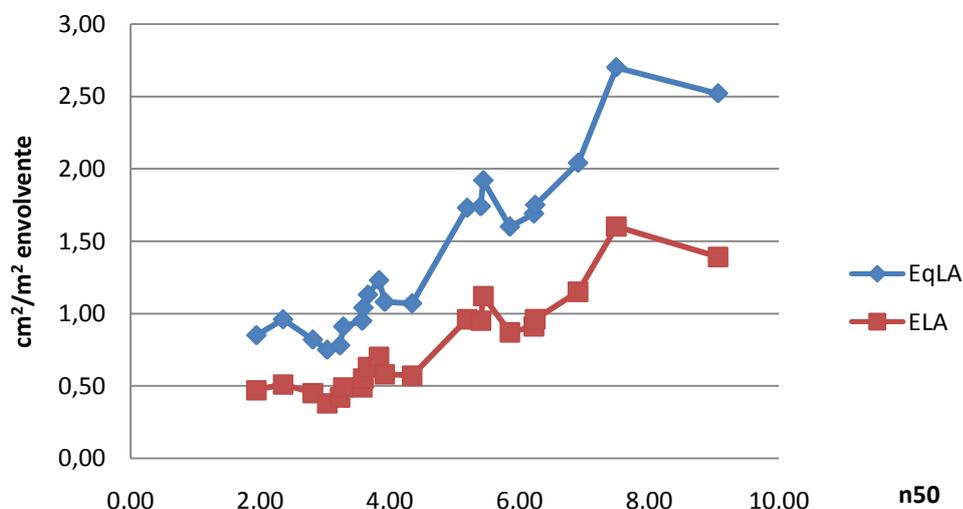
Se debe tener en cuenta que la media realizada es para valores dentro de la misma vivienda, de aquí que en los distintos intervalos no se corresponda la media entre el número de viviendas contando la despresurización y la presurización. Sirva de ejemplo la vivienda situada en la calle Las Rebolledas 9 donde para despresurización está contabilizada en el intervalo 0,65-0,70, para presurización está contabilizada en el intervalo 0,75-0,80, y sin embargo su media se encuentra en el intervalo 0,70-0,75.

8.4 Resultados según el área de la abertura equivalente:

Los valores medios del tamaño de las aberturas para cada ensayo se mostrarán en la tabla siguiente, ambas unidades tanto Canadian EqLA como LBL ELA están expresadas en cm^2/m^2 de área de envolvente.

Tabla 5 y gráfico 7: Resumen de datos y gráfico entre la tasa n50 y la relación de cm^2 de aberturas por m^2 de área de envolvente.

Localidad	Dirección	Año const.	Despresurización		Presurización		Media	
			EqLA (10Pa)	ELA (4Pa)	EqLA (10Pa)	ELA (4Pa)	EqLA (10Pa)	ELA (4Pa)
Palencia	Roma 14	1997	2,01	1,19	1,83	1,05	1,92	1,12
	Echegaray 2	1969	1,13	0,61	1,13	0,65	1,13	0,63
			1,06	0,57	1,10	0,59	1,08	0,58
	Roma 12	1997	2,43	1,36	2,97	1,84	2,70	1,60
	P. Berruguete 3	1999	1,05	0,55	1,04	0,54	1,04	0,55
			1,20	0,67	1,27	0,73	1,23	0,70
	Casas del Hogar 67	1950	2,79	1,57	2,25	1,21	2,52	1,39
			1,31	0,73	0,82	0,41	1,07	0,57
Bernardo el Carpio 12	1900	1,74	0,97	1,76	0,95	1,75	0,96	
		1,62	0,88	1,76	0,95	1,69	0,91	
		1,60	0,87	-	-	1,60	0,87	
Las Pozas 1	2007	1,99	1,11	2,09	1,19	2,04	1,15	
Burgos	Cid Campeador 85	1960	0,85	0,47	0,79	0,43	0,82	0,45
	Vitoria 251	1965	1,80	1,00	1,67	0,91	1,73	0,96
			1,62	0,87	1,85	1,04	1,74	0,95
	Las Rebolledas 9	1997	0,82	0,42	0,68	0,33	0,75	0,38
			0,87	0,45	0,95	0,52	0,91	0,49
Romanceros 1	2003	0,95	0,49	0,95	0,49	0,95	0,49	
Valladolid	Sargento Provisional 5	1979	0,76	0,41	0,79	0,42	0,78	0,42
	Hoces de Riaza 12	2011	0,96	0,51	0,96	0,51	0,96	0,51
			0,84	0,46	0,86	0,47	0,85	0,47



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se observa cómo a mayores tasas de infiltración la tendencia es que existan mayor superficie de fugas con relación a la envolvente. En el caso de la vivienda de la calle Roma 12 se encuentran los mayores valores de superficies de aberturas, tal como expresaba el exponente “n” que al ser un valor bajo indicaba la presencia de grandes aberturas.

Recordemos que el área de fuga equivalente (EqLA) está definida como el área de una abertura de borde afilado por la cual se filtrará la misma cantidad de aire que el medido a una diferencia de presión de 10 Pascales. Y el área de fuga efectiva (ELA) se define como el área de una abertura de borde redondeado por la cual se filtrará la misma cantidad de aire que el medido a una diferencia de presión de 4 Pascales. Así como que EqLA se aproxima más a los cambios que puedan surgir en la envolvente y afecten a la hermeticidad, como ya se dijo si se realiza una prueba de infiltraciones y, a continuación, se hace una abertura de $X \text{ cm}^2$ y se repite la prueba, el EqLA estimado habrá aumentado en la misma cantidad el resultado de la prueba inicial. El área de fuga equivalente también es más fácil de medir, sobre todo en ocasiones con mucho viento, puesto que la medición se realiza a una presión más alta que en el caso del área de fuga efectiva.

9. Conclusiones

9.1 Relevancia actual del tema:

Como se ha desarrollado a lo largo de este trabajo se ha analizado la hermeticidad tanto de forma teórica como práctica, siendo éste el aspecto más importante para evitar pérdidas de energía a través de las fugas de aire en la envolvente.

El alto consumo de energía hace que sea imprescindible una mejora en la envolvente que evite esas fugas de aire no deseadas. Los estándares actuales en España no contemplan estos requisitos, sin embargo en la actualidad si se está empezando a trabajar en estos temas para cumplir con los requisitos dispuestos en la directiva europea 20/20/20, cuyas exigencias están en valores muy lejanos a los actuales y posiblemente inaccesibles en el período establecido:

A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben tener un consumo de energía casi nulo, y los edificios que estén ocupados y que sean propiedad de las autoridades públicas deben cumplir esos mismos criterios después del 1 de enero de 2019.

Esto obliga a la puesta en marcha de planes nacionales, que incluyan:

- La aplicación detallada en la práctica por el Estado miembro de la definición de edificios de consumo de energía casi nulo.
- Unos objetivos intermedios para mejorar la eficiencia energética de los edificios nuevos en 2015 a más tardar, y planes de mejora e incentivos para los existentes que dispongan de buena calificación energética.
- Información sobre las políticas y medidas financieras o de otro tipo adoptadas para promover los edificios de consumo energético casi nulo.

Desgraciadamente el coste de la energía seguirá ascendiendo un año tras otro, por este motivo al conocer los puntos por donde se nos escapa la energía se pueden aplicar unas medidas de mejora (que no tienen porqué ser grandes obras de rehabilitación) para disminuir el consumo.

Como anécdota, recientemente ha entrado en vigor el RD 235/2013, que obliga a todas las viviendas que sean objeto de venta o alquiler a disponer de un certificado energético. Para obtener este documento se puede hacer uso de distintos tipos de software como por ejemplo el CE3x donde cabe la posibilidad de introducir el nivel obtenido en un test de hermeticidad como los expuestos en este trabajo.

9.2 Conclusiones a partir de los ensayos realizados:

Como se ha visto la hermeticidad se entiende como aquella cualidad de la envolvente del edificio capaz de evitar la entrada de aire u otros elementos tales como agua, ruido, contaminantes, etc, desde un ambiente exterior a uno interior. Para lograr un buen aislamiento acústico y térmico, se considera necesario que la envolvente sea hermética.

Independientemente de una buena hermeticidad la entrada de aire exterior hacia el interior de una edificación es necesaria por varias razones, entre las cuales destaca la disminución de contaminantes del ambiente interior para proporcionar confort y condiciones de aire saludables, así como para controlar la concentración de vapor de agua para prevenir condensaciones. La consecuencia de esta entrada de aire es el gasto de energía que se intercambia entre ambos ambientes, pudiéndose producir a través de la ventilación (de una forma controlada) o a través de las infiltraciones (considerándolas no controladas).

Anteriormente se definió la filtración como una corriente de aire que circula a través de grietas, intersticios y aberturas no deseadas, que es producida por una diferencia de presión, producto del viento, de diferencias de temperaturas o del propio sistema de ventilación. Como se vio, esta corriente incontrolada de aire puede producirse desde el exterior hacia al interior (las infiltraciones, que son la forma común en los edificios) o en sentido inverso (las exfiltraciones, poco habituales, producto de condiciones exteriores e interiores singulares).

Para comprobar la hermeticidad de las viviendas para este trabajo se ha procedido a la realización del test de hermeticidad mediante el método de presurización con ventilador (Blower-Door) consistiendo tal como se vio en la parte teórica en un ventilador colocado en una puerta o ventana exterior que genera una diferencia de presión, bien sea presurizando el ambiente o despresurizándolo, por medio de la inyección o extracción de un caudal de aire. El resultado de dividir el caudal a una presión de 50 Pa por el volumen del aire interior da como resultado las renovaciones/hora del edificio.

En este estudio se ha acompañado los ensayos con la termografía infrarroja, donde se ha tenido en cuenta el análisis cualitativo de las imágenes, puesto que lo que se pretendía era encontrar los puntos de entrada de aire más que la cuantificación en cada abertura no intencionada. A cada ensayo se ha adjuntado un total de cinco imágenes para representar las peculiaridades de cada vivienda.

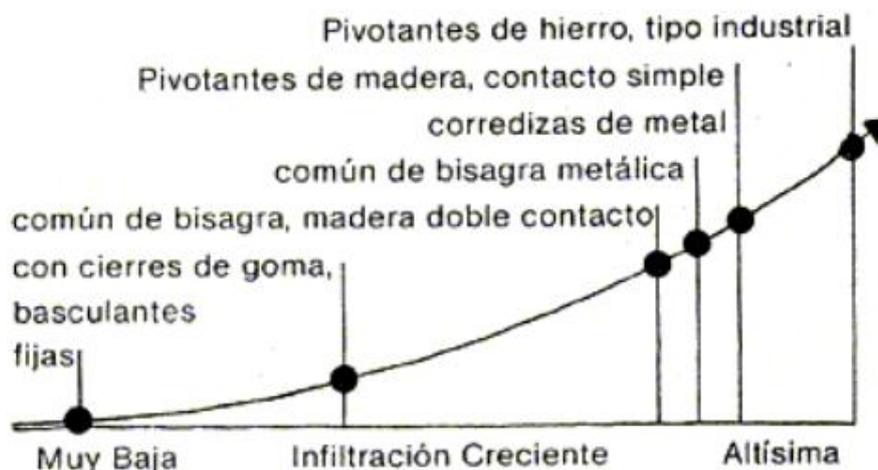
En cuanto a la investigación, las viviendas analizadas no son cantidad suficiente para sacar conclusiones concretas, sin embargo si se ha podido obtener datos generales en esta investigación como para establecer unos márgenes de valores medios como la

cantidad de renovaciones por hora, o como para la comprobación del valor del exponente “n”.

Se ha comprobado que un punto muy importante de entrada de aire es a través de las cajoneras de persianas, siendo necesario un buen aislamiento térmico y acústico, lo que llevaría aparejado una mejora en la hermeticidad.

Otro de los grandes puntos son las ventanas y puertas, existiendo mayor variación en las fugas por el tipo de ventana (oscilobatiente, correderas, guillotina, etc) que por ventanas que sean del mismo tipo pero de diferentes fabricantes. Aquellas ventanas que disponen cierre hermético mediante burletes comprimidos presentan una cantidad de fugas más bajas que las que disponen de junta de estanqueidad deslizante, como indica la imagen siguiente. Para la metodología del ensayo de permeabilidad al aire de puertas y ventanas se debe seguir lo establecido por la norma UNE-EN 12207.

Imagen 12: Relación de la cantidad de infiltraciones por el tipo de ventana:



Fuente: Evaluación de la demanda energética real de un grupo de viviendas (Israel Pérez Clemente)

En el análisis por años de construcción el gráfico 5 nos marca como a partir del año 1960 se produjo el fin de la autarquía, mediante el plan de estabilización de 1959, lo que supuso una liberalización de la economía española. Se mejoró el proceso constructivo y junto con las mejoras actuales en carpinterías en viviendas de esa época, supone un salto importante en el tema de la hermeticidad. En el mismo gráfico se puede observar como las viviendas estudiadas a partir de 1960 han mejorado significativamente por las intervenciones a posteriori que se han realizado.

Estas mejoras como cambios de las carpinterías se encuentran más motivadas en viviendas construidas hasta la década de los 80, puesto que en las viviendas actuales las mejoras no son tan cuantiosas, por lo que al usuario puede no serle tan rentable adoptar estas medidas.

Así mismo se ha podido comprobar cómo durante la década anterior al estallido de la burbuja inmobiliaria y anterior a la entrada del CTE se ha procedido a un tipo de construcción donde la hermeticidad no era un requisito a considerar.

Del mismo modo se ha podido comprobar la repercusión que tienen elementos como la doble ventana instaladas en alguna de las viviendas, la presencia de corrientes de aire por falsos techos, su entrada a la vivienda a través de luminarias, así como el movimiento de aire que se puede producir en las particiones interiores.

En cuanto a la zona climática, Castilla y León se encuentra en un clima mediterráneo continental, con inviernos fríos y largos y veranos calurosos y cortos. El clima general en cuanto a velocidades de vientos, precipitaciones y temperaturas son similares aunque lo suficientemente distintos como para generar varias zonas climáticas tal como marca el CTE.

En este aspecto los resultados de este trabajo no son conclusivos, puesto que de las tres zonas estudiadas no se han realizado el mismo número de ensayos, y difiere también la tipología constructiva de las viviendas analizadas. Por otra parte los ensayos se han realizado bajo unas condiciones climáticas prácticamente idénticas, con velocidades de viento bajas y un margen de temperaturas similar.

También se ha visto que la realización del ensayo en una vivienda perteneciente a un bloque supone una fuente de error producida por las viviendas adyacentes del edificio. Para la realización de los ensayos se ha considerado que todas las particiones interiores que pertenecen a varias viviendas forman parte de la envolvente, produciéndose unas filtraciones desde la vivienda contigua que no proceden del ambiente exterior.

En el estudio mencionado en el capítulo correspondiente se calcula el error que puede suponer realizar el ensayo considerando como una sola zona o como varias, llegando a unos márgenes de error del 20 % mayores en el caso de estudio de viviendas individuales.

Este error puede subsanarse en gran medida si se procede a la apertura de las ventanas y puertas de las viviendas en contacto con la de estudio, creando solamente una zona de presiones alrededor de la falsa envolvente de la vivienda.

9.3 Medidas de mejora propuestas:

Como medidas básicas (al alcance de cualquier usuario) puede servir de ejemplo la colocación de unos burletes en puertas y ventanas para proporcionar una mayor hermeticidad de estos elementos.

Para un sellado de ventanas existen otras opciones, las más básicas como una protección adhiriendo canales adhesivos de plástico alrededor del marco de la ventana, o la colocación de unos paneles compuestos por marcos firmes de aluminio que se montan en el lado interior de la ventana (el sellado alrededor del perímetro del marco hace hermética la ventana, eliminando las corrientes de aire y creando una barrera térmica), hasta soluciones más permanentes y efectivas como son los sellados de alto rendimiento y espumas expansivas.

Si lo que se desea es una rehabilitación de la envolvente por existir por ejemplo una falta de aislamiento se puede optar por utilización de una inyección de aislante en el interior de muros de doble hoja o paneles aislantes tanto por el exterior como por el interior del edificio.

Para la inyección del aislante previamente se deben realizar unos orificios que deberán ser del tamaño en función de las características de la pared a perforar, y del diámetro de la boquilla para evitar causar daños en el cerramiento tales como desconches o roturas.

9.4 Líneas de investigación futuras:

La realización de ensayos en un mayor número de viviendas hace posible un análisis de datos más detallado y con mayor precisión, así como una aportación de resultados más extensa al poder sacar conclusiones más concretas en cuanto a años de construcción, tipología constructiva, zonas climáticas, tipos de carpinterías, etc. Del mismo modo sería interesante la realización de algunos ensayos mediante otros métodos para una comprobación de los resultados y conocimiento práctico de otras técnicas.

Por último, este trabajo sirve como base para una continuación de estudios de viviendas tanto pertenecientes a Castilla y León como al resto de España, mediante la adquisición de nuevos conocimientos, fijación de los previos y puesta en práctica de todos ellos.



10. Bibliografía

A. Blomsterberg, T. Carlsson, C. Svensson, J. Kronvall. "Air flows in dwellings - simulations and measurements". (1999)

A. Sfakianaki, et al. "Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece". (2007)

Alberto Meiss, Jesús Feijó. "Influencia de la ubicación de las aberturas en la eficiencia de la ventilación en viviendas". Informes de la construcción. Vol. 63, 522, 53-60, ISSN: 0020-0883. (2011)

Alberto Meiss, Jesús Feijó. "La necesidad de estudiar las infiltraciones: Estudio de caso en viviendas sociales de la urbanización Zabalgana (Vitoria)". (2013)

ASHRAE. "Chapter 16. Ventilation and Infiltration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta GA". (2009)

ASHRAE. "Chapter 22. Natural Ventilation and Infiltration. Handbook: Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta GA". (1985)

ASTM. "Measured Air Leakage of Buildings". Trechsel/Lagus, editors. (1989)

ATTMA. Technical standard L1. Measuring air permeability of building envelopes (dwellings)". (2010)

Axel Berge. "Analysis of Methods to Calculate Air Infiltration for Use in Energy Calculations". Chalmers university of technology. (2011)

David N. Keast. "Acoustic Location of Infiltration Openings in Buildings. Final Report". BNL 50952. (1978)

Derek Sinnott, Mark Dyer. "Air-tightness field data for dwellings in Ireland". (2011)

Erin L. Hult, Darryl J. Dickerhoff, Phillip N. Price. "Measurement Methods to Determine Air Leakage Between Adjacent Zones". LBNL-5887E. (2012)

F. Ossio, A. De Herde, L. Veas. "Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile". (2012)

F.R.d'Ambrosio Alfano, M. Dell'Isola, G. Ficco, F. Tassini. "Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method". (2011)

François Rémi Carrié. “An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness”. (2008)

François Rémi Carrié, Peter Wouters. “Building airtightness: a critical review of testing, reporting and quality schemes in 10 countries”. (2012)

G. Guyot, Francois Rémi Carrié, et al. “An overview of the market transformation on envelope and ductwork airtightness in 5 european countries”. ASIEPI. (2010)

Hyun-bae Kim, et al. “Influence of Air-tightness on Heat Energy Performance in Post and Beam Building with Exposed Wood Frame”. (2008)

Ingvar Sandberg, Eva Sikander, et al. “Lufttätthetsfragorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler”. (2007)

ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

James L. Repace. “Indoor air pollution”. (1982)

Jesica Fernández-Agüera, Juan José Sendra, Samuel Domínguez. “Protocols for measuring the airtightness of multi-dwelling units in Southern Europe”. (2011)

Jinson J. Erinjeri, Raja Nassar, Myron Katz, Norman M. Witriol. “Empirical Modeling of Air Tightness in Residential Homes in North Louisiana”. (2009)

María I. Montoya, Elsa Pastor, F. Rémi Carrié, Gaelle Guyot, Eulália Planas. “Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions”. (2009)

Marianna Papaglastra, Iro Leivada, Katerina Sfakianaki, François Rémi Carrié, Mat Santamouris. “International comparison of envelope airtightness measurements”. (2008)

Mark P. Modera, David J. Wilson. “The Effects of Wind on Residential Building Leakage Measurements”. LBNL-24195. (1990)

Mc Williams, J. “Review of Airflow Measurement Techniques” LBNL-49747. (2002)

Michael Jaggs, Chris Scivyer. “A practical guide to building airtight dwellings”. NHBC Foundation. (2009)

Minna Korpi, et al. “Airtightness of single-family houses and apartments”.

Minneapolis Blower Door™. “Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems. The Energy Conservatory. Diagnostic Tools to Measure Building Performance”. (Edition: August 2012)

Moises Odriozola Maritorea. “Cálculo y medida de infiltraciones de aire en edificios”. (2008)

Néstor Fonseca Díaz, Jules Hannay. “Determinación experimental del nivel de infiltraciones de aire en un edificio como parte de una auditoria energética en sistemas HVAC/R”. (2009)

Paula Wahlgren, Eva Sikander. “Methods and Materials for an Airtight Building”. (2010)

Samuel Caillou, Dirk Van Orshoven. “Report on the building airtightness measurement method in European countries. ASIEPI. (2010)

Sebastiano DePani. “A Study on Single Blower Door Methods for Multifamily Buildings in Montreal”. (1999)

Sherman M.H, Larry Palmiter. “Uncertainties in fan pressurization measurements”. LBNL-32115. (1995)

Sherman M.H, Rengie Chan. “Building Airtightness: Research and Practice”. LBNL-53356. (2003)

Sherman M.H. “Air Leakage of US Homes: Model Prediction”. (2007)

Sherman M.H. “Air tightness of US Homes: model development”. LBNL-59202. (2006)

Sherman M.H. “Estimation of Infiltration from Leakage and Climate Indicators”. (1986)

Sherman M.H. “The Use of Blower-Door Data”. LBNL-35173. (1998)

Sherman M.H., Dickerhoff D. “Air-tightness of US dwellings”. LBNL-35700. (1998)

Sherman M.H., Matson N.E. “Air Tightness of New US Houses: A Preliminary Report”. LBNL-48671(2002).

Targo Kalamees. “Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia”. (2006)

Targo Kalamees. “The distribution of the air leakage places and thermal bridges in Finnish detached houses and apartment buildings”. (2008)

Terry Brennan, Olson, Nelson. "Pressure Testing Buildings: or three physics majors step out". Summer Camp Westford, MA. (2012)

Terry Brennan. "Whole Building Airtightness Testing". ABAA Annual Conference. Chicago. (2012)

UNE-EN 12207:2000. "Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación". AENOR.

UNE-EN 13829:2002. "Aislamiento Térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996 modificada)". AENOR.

U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. "Building technologies program. Air Leakage Guide". (2011)

W.R. Chan, J. Joh, Sherman M.H. "Air Leakage of US Homes: Regression Analysis and Improvements from Retrofit". LBNL-5966E. (2012)

W.R. Chan, J. Joh, Sherman M.H. "Analysis of Air Leakage Measurements from Residential Diagnostics Database". LBNL-5967E. (2012)

W.R. Chan, Sherman M.H. "Preliminary analysis of US residential air leakage database v.2011". LBNL-5552E. (2011)