

## NAMA VIVIENDA NUEVA

# Ejecución de Pruebas de Estandeidad para Viviendas Energéticamente eficientes. Prototipos de Morelia



*Cooperación Técnica entre México y Alemania.  
Programa Mexicano-Alemán para NAMAs.*

*EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD PARA  
VIVIENDAS ENERGETICAMENTE EFICIENTES. PROTOTIPOS  
DE MORELIA.*



**giz**

On behalf of



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety



of the Federal Republic of Germany

*Ciudad de México-Diciembre 2013*

GIZ a través del Programa Mexicano-Alemán ProNAMA, que ha sido encargado a la GIZ por parte del Ministerio Federal Alemán, para la Conservación de la Naturaleza y del Ambiente y la Seguridad Nuclear (BMU). Está desarrollando junto a CONAVI un conjunto de viviendas prototipo en distintas localizaciones para probar distintas soluciones constructivas que ayuden a definir las políticas en materia de eficiencia energética en edificación, así como desarrollando con instituciones financieras gubernamentales distintos incentivos para la construcción de viviendas sustentables.

El presente documento tiene como objeto analizar el grado de estanqueidad al aire de los proyectos pilotos construidos mediante ensayos de campo.

Las opiniones expresadas, en este documento, no necesariamente reflejan los puntos de vista de GIZ y/o BMU. La reproducción parcial, o total, de este documento, queda autorizada para propósitos no lucrativos, siempre y cuando la fuente sea una fuente reconocida.

Un proyecto dentro del marco de trabajo de la Iniciativa Internacional para el Cambio Climático.

Supervisión:

GIZ: Andreas Gruner y Ana Milena Avendaño Páez

Autor:

*Antonio Peláez Ortega. Consultor Externo de GIZ. Arquitecto Técnico, Experto en Eficiencia Energética y Energías Renovables.*

## Tabla de Contenidos

1. Antecedentes, Programa Mexicano-Alemán Nama Vivienda Nueva.....	04
a. Proyectos Piloto.....	05
2. Introducción a la estanqueidad en edificios.....	06
a. Desarrollo de proyectos y obras con alto grado de hermeticidad.....	08
b. Normativa actual.....	14
i. EN 13829.....	15
c. Influencia de la estanqueidad de edificios en su eficiencia energética.....	20
3. Ensayos de Estanqueidad al aire en Prototipos. Preparación de la documentación para la realización de los test.....	22
a. Viviendas prototipo en Morelia.....	22
i. Sistema constructivo.....	23
ii. Superficies y volúmenes.....	25
4. Ejecución de ensayos de estanqueidad en Morelia.....	26
a. Equipos para la realización de los Ensayos.....	26
b. Resumen de ensayos realizados.....	28
c. Elementos influyentes en la estanqueidad de las viviendas de Morelia y correcciones realizadas.....	30
d. Análisis de los resultados.....	35
5. Bibliografía.....	41
Anexo I. Certificados ensayos.....	42

## 1. Antecedentes, Programa Mexicano-Alemán Nama Vivienda Nueva.

### Cooperación Técnica entre México y Alemania: Programa Mexicano-Alemán para NAMAs (PN 11.9037.0-006.00)

Las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs por sus siglas en inglés) son actividades voluntarias dirigidas a reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) llevadas a cabo por países en desarrollo bajo el “contexto de desarrollo sustentable, apoyadas y habilitadas por tecnología, financiamiento y construcción de capacidades, de una manera medible, reportable y verificable”, y acorde al nivel de desarrollo, crecimiento económico y capacidades de cada país.

En 2010 México presentó la meta voluntaria para reducir sus emisiones de GEI hasta en un 30% para el 2020 con respecto a un escenario habitual y completar la implementación del Programa Especial de Cambio Climático (PECC), adoptado en 2009, que incluye más de 100 actividades a nivel nacional para la reducción de GEI. El cumplimiento de estas acciones está condicionado al apoyo financiero y tecnológico que se pueda recibir de los países desarrollados. Adicionalmente, la reciente adopción de la Ley General de Cambio Climático apoya este compromiso y promueve, entre otras actividades, la creación de pautas de formulación, regulación, dirección e instrumentación de acciones de mitigación.

Así, los gobiernos mexicano y alemán ven el concepto de las NAMAs apoyadas como un medio importante para alcanzar los objetivos establecidos en el PECC, ayudar a cumplir la Ley de Cambio Climático y cumplir los compromisos internacionales de ambos países referentes al cambio climático. El Programa Mexicano-Alemán para NAMAs (ProNAMA) tiene por objetivo la preparación para la implementación de un paquete de NAMAs en las áreas de vivienda nueva y existente, pequeñas y medianas empresas y transporte de carga, además de la preparación de un cofinanciamiento internacional.

Se estima que el sector vivienda concentra el 32 por ciento del total de la energía que se consume en el país. Por lo tanto, y con la finalidad de contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector, durante las COP16 y 17 México presentó el programa NAMA para vivienda nueva, que actualmente se encuentra en la primera fase de implementación de pilotos.

La NAMA de Vivienda Sustentable de México es la primera iniciativa en su ámbito de actuación a nivel mundial, actualmente está siendo desarrollada e implementada a través de diversas actuaciones, que darán como resultado conclusiones ciertas sobre la mejora de la eficiencia energética en el sector residencial. Permitirán la disminución de GEI, disminución del consumo de combustibles fósiles y disminución del consumo de agua, y a la vez establecerá una serie de instrumentos que permitirán la financiación de medidas en mejora de la eficiencia energética en el sector residencial, tanto de obra nueva como de rehabilitación.

La NAMA complementa y amplía los programas nacionales en curso, que financian eco-tecnologías en México, tales como la instalación de calentadores solares para agua caliente sanitaria, aislamiento térmico en fachadas y cubiertas, electrodomésticos y equipos de alta eficiencia energética. Medidas encaminadas a la disminución del consumo de energía y agua en el uso de las viviendas.

El Programa NAMA Mexicano-Alemán, ha desarrollado un estándar de calidad energética en edificación, además de los mecanismos necesarios para su cálculo y verificación. Siendo los estándares de calidad Energética en edificios los siguientes:

1. Eco Casa 1
2. Eco Casa 2
3. Eco Casa Max

Siendo Eco Casa Max el estándar de calidad energética más restrictivo y ambicioso. Este programa de viviendas cuenta con los mecanismos necesarios para la redacción de proyectos y el cálculo de los consumos de energía y agua, DEEVi y SAAVI (SISEVIVE) son los software de cálculo reconocido.

Los ciudadanos que adquieran en este tipo de construcciones pueden solicitar y recibir ayudas suplementarias para el financiamiento de las mejoras de eficiencia energética y de disminución de consumo de agua.

#### **a. Proyectos Piloto**

##### **“Programa Mexicano-Alemán ProNAMA”**

GIZ mediante el Programa ProNAMA apoya a CONAVI, mediante la financiación de apoyo técnico y de medias de mejora de la eficiencia energética, desde la visión de “desempeño global de las viviendas” con proyectos Piloto.

El proyecto Piloto de GIZ tiene como objetivo la implementación de medidas de eficiencia energética, desarrollar e implementar un sistema de MRV para el monitoreo de las viviendas una vez estén construidas, además de desarrollar distintos documentos de lecciones aprendidas para la difusión y formación de los distintos agentes presentes en el sector (Instituciones, Desarrolladores Inmobiliarios, Contratistas, Técnicos y Usuarios)

El proyecto se compone de la construcción de aproximadamente 73 viviendas sociales de bajo consumo energético, estando presentes todos los estándares de calidad energética definidos; Eco Casa 1, Eco Casa 2 y Eco Casa Max.

El sistema de monitoreo (MRV), en colaboración con distintas Administraciones Públicas, permitirá conocer los consumos de energía y agua de los propietarios en el uso y disfrute de las viviendas. Esta monitorización se prolongará durante dos años desde la fecha de terminación de las viviendas, y servirá para la comparación, entre los distintos tipos de Eco Casa entre sí y a la vez estas con la vivienda Línea Base, de consumos, confort y calidad de aire interior de las viviendas, estableciendo los siguientes parámetros de medición y monitoreo:

- Consumo de agua.
- Consumo de electricidad.
- Consumo de gas.

Además se mantendrán diversas entrevistas con los usuarios de las viviendas Eco Casa para que indiquen y explique cuáles son las ventajas de vivir en viviendas de alto ahorro de energía y agua, en las que se incrementa el confort interior.

### **“Desarrolladores Inmobiliarios”**

Tras un estudio de las zonas climáticas y las tipologías constructivas de diversas zonas del País, GIZ y CONAVI, seleccionaron Morelia, Guadalajara y Hermosillo para el desarrollo de los proyectos Piloto.

#### **“Morelia”**

En Morelia, con un clima templado, se optó por el desarrollo de 30 viviendas Eco Casa Max, en tipología vertical. Contando el Prototipo con tres edificios adosados de 5 plantas de altura, cada edificio con dos viviendas por planta, siendo socios en el proyecto:

- El Instituto de Vivienda del Estado de Michoacán (IVEM) y la desarrolladora HERSO ([www.hogaresheroso.mx/](http://www.hogaresheroso.mx/)).

#### **“Hermosillo”**

En Hermosillo, con un clima cálido seco, se optó por el desarrollo de 25 viviendas Eco Casa (Eco Casa 1, Eco Casa 2 y Eco Casa Max) en tipología unifamiliar adosada y aislada, de 1 y 2 alturas. Siendo socios del proyecto:

- La Comisión de Vivienda en el Estado de Sonora (COVES) y la desarrolladora de vivienda DEREK ([www.derek.com.mx](http://www.derek.com.mx))

## **2. Introducción a la estanqueidad en edificios.**

Los edificios están en contacto directo con su entorno, y desde el punto de vista holístico del consumo de energía en el uso de edificios, la permeabilidad o estanqueidad al aire de los edificios, es un parámetro a tener en cuenta en el “desempeño global de las viviendas”.

En determinados climas la estanqueidad al aire de las edificaciones puede ser clave para el ahorro de energía.

La transferencia de calor (energía) de una edificación con su entorno, se produce a través de todos los elementos que componen la envolvente.

En muchos países se establece un número de renovaciones hora del volumen de aire interior de la edificación, bien sea por medios mecánicos o naturales. A estas renovaciones se deben añadir las renovaciones de aire incontroladas a través de la envolvente de la edificación, para saber cuál es realmente el número de renovaciones hora del volumen interior de aire.

La renovación de aire es una de las condiciones fundamentales de salubridad de una edificación, un habitáculo mal ventilado puede generar gran número de problemas, tanto patologías en edificación como problemas de salubridad para sus usuarios.

A la vez la ventilación y la infiltración de aire incontrolada (en numerosos climas) puede ser una fuente de pérdida energética.

A este caudal de ventilación en cierto modo conocido y controlado hay que sumarle además el caudal de aire debido a las infiltraciones, flujos descontrolados del aire exterior que ingresan en el edificio por rendijas u otras aberturas no intencionales.

Por un lado, las causas esperables de que se produzcan infiltraciones de aire a través de la envolvente, tienen que ver con la calidad de la carpintería que se haya colocado; se debería indicar cuál debe ser la permeabilidad al aire de la carpintería según la zona climática en la que nos encontremos.

Por otro lado, las causas indeseables, son debidas a posibles vicios constructivos relacionados con la calidad del trabajo realizado y la supervisión de este.

Los lugares típicos donde aparecen dichas infiltraciones son: el empalme del techo/suelo con el muro exterior, el empalme de las paredes interiores con el muro exterior y el techo, el paso de las instalaciones eléctricas y de fontanería a través de la pared, el paso de chimeneas y conductos de ventilación a través de la pared, alrededor y a través de enchufes eléctricos e interruptores, alrededor y a través de ventanas y puertas.

Son numerosas las consecuencias debidas a la infiltración del aire exterior; rendimiento higrotérmico, salud, consumo energético, rendimiento de los sistemas de ventilación, confort térmico, ruido y resistencia al fuego.

El dato que va a diferenciar una vivienda hermética al aire de otra que no lo es tanto, es la tasa de infiltración o intercambio de aire a través de la envolvente, valor  $n_{50}$ , que es el número de renovaciones-hora (ren/h) del volumen de aire interior del edificio a una diferencia de presión de 50Pa entre el exterior y el interior.

#### **Teorías de influencia de infiltración de aire incontrolado en edificios.**

- Jokisalo realizó un estudio centrándose en factores como el clima, las condiciones del viento, el balance del sistema de ventilación y la distribución de las fugas.



- Mattsson B. analizó la influencia de la velocidad del viento, el terreno y el sistema de ventilación utilizado.
- Chan que contempla más de 70,000 mediciones, considera que los factores más significantes son el año de construcción del edificio y el área de suelo útil.
- Kalamees concluyó, gracias a su trabajo de investigación, que el número de plantas del edificio junto con la calidad y supervisión del trabajo juegan un papel significativo en el hermetismo de la vivienda.

#### a. Desarrollo de proyectos y obras con alto grado de hermeticidad.

Dentro de las distintas teorías de edificaciones de alto ahorro de energía, se encuentra la vertiente de edificios con alto grado de hermeticidad a la infiltración de aire incontrolado. Como se ha descrito en puntos anteriores la estanqueidad puede ser una fuente importante de pérdidas energéticas.

Para el desarrollo y construcción de edificaciones de alta hermeticidad, se deben tener algunas consideraciones previas a la ejecución de las obras y se debe tener un alto grado de seguimiento durante la fase de construcción.

Podemos establecer la siguiente metodología, que tendrá tres fases durante el desarrollo global del proyecto y obra:

- Desarrollo del Proyecto Arquitectónico.
- Ejecución de las obras de Construcción.
- Realización de Test y Ensayos.

#### ***“Desarrollo del Proyecto Arquitectónico”***

**Previo al comienzo del proyecto de arquitectura** se deberá establecer cuál será el grado de hermeticidad óptimo para el proyecto.

En el caso de existir normativa local, federal o estatal en materia de hermeticidad al aire de edificios se deberá contemplar al menos los requisitos mínimos establecidos en la normativa.

En el caso de no existir normativa o en el desear un mayor grado de estanqueidad al aire de las edificaciones, se deberá fijar cual será el grado óptimo en función del clima en el que se ubique la edificación.

Durante la realización del proyecto arquitectónico se deberá tener en cuenta:

- **Geometría de la edificación.** Las infiltraciones incontroladas son las pérdidas y/o ganancias de aire entre el interior y el exterior de los edificios. Las pérdidas se producen a través de la envolvente del edificio, por lo que un edificio compacto tendrá menores puntos débiles a estudiar durante la realización del proyecto.

- **Estudio de los materiales de la envolvente del edificio.** Se deberá analizar cuáles son los materiales que componen la envolvente del edificio (cimentaciones, muros de fachada, cubiertas planas o inclinadas, carpinterías, etc.) con el fin de determinar cuáles serán las estrategias en proyecto para evitar las entradas de aire incontroladas a la edificación. Se prestará especial importancia a las carpinterías y puertas exteriores, elementos constructivos con mayores posibilidades de pérdida por infiltración.

### “Carpinterías exteriores”

Actualmente en México se está redactando la normativa sobre **“Ventanas y Productos Arquitectónicos para el cerramiento exterior de Fachadas, Clasificaciones y especificaciones”**. PROYECTO DE NORMA MEXICANA PROY-NMX-R-060-2013.

Las puertas y ventanas son elementos constructivos con posibilidades de fuga de aire incontrolado, para asegurar la calidad del tipo de sistema de carpintería elegido y para lograr que éste cumpla con sus funciones se estudiarán los siguientes parámetros, relacionados directamente con la estanqueidad al aire de la edificación:

- **Permeabilidad al aire de carpinterías.** La permeabilidad al aire define la cantidad de aire que pasa (por causa de la presión) a través de una ventana o una puerta cerrada. Se mide en m<sup>3</sup>/h. Tiene en cuenta las fugas producidas en las carpinterías en la superficie total y las fugas por las juntas de apertura.

Una carpintería ensayada pertenece a una clase dada si la permeabilidad al aire medida no sobrepasa el límite superior a cualquier presión de ensayo en esa clase. La ventana queda clasificada con un grado que va desde “Sin Clasificar” (sin ensayar) a “Clase 4” (la de menor permeabilidad).

CLASE DE PERMEABILIDAD AL AIRE	Presión (Pa)	Q (m <sup>3</sup> / h / m <sup>2</sup> )
Sin Clasificar	100 Pa	> 50
Clase 1		27 < Q ≤ 50
Clase 2		9 < Q ≤ 27
Clase 3		3 < Q ≤ 9
Clase 4		Q ≤ 3

- **Resistencia al impacto del viento.** Es un índice que indica la capacidad de soportar una carga de viento determinada sin deformarse notablemente o destruirse. Tiene en cuenta la carga mínima que deben resistir, la flecha frontal relativa máxima admisible. Este parámetro se deberá tener muy en cuenta en localizaciones con fuertes vientos y en edificios de altura.

Se deberá solicitar al fabricante y/o proveedor del sistema de carpinterías la clasificación del sistema a instalar según la normativa. Aunque en la actualidad se trata de un Proyecto de Norma, los fabricantes y proveedores deberán realizar el esfuerzo de dar datos en caso de ser posible.

- **Definición de la capa hermética del edificio.** Una vez hemos estudiado la geometría y los materiales de la envolvente se deberá definir cuál es la capa estanca de la edificación, para estudiar cualquier posible entrada de aire entre el exterior y el interior del edificio. Se puede usar la regla del Rotulador (Passivhaus Institut) para definirla.

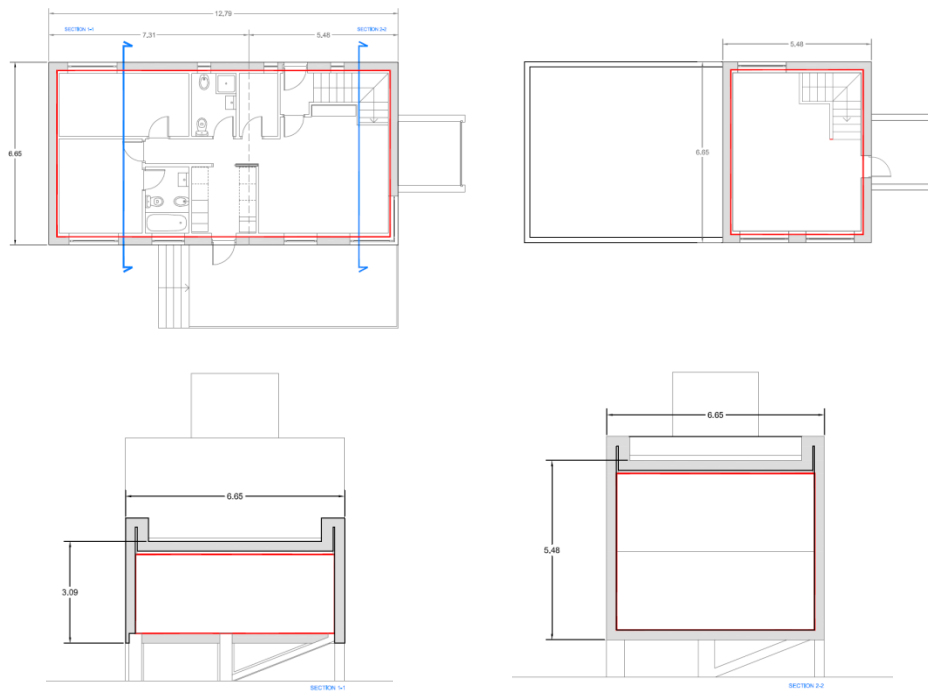


Imagen 1.- Ejemplo de definición de capa de hermeticidad (línea roja). Fuente: Antonio Peláez Ortega.

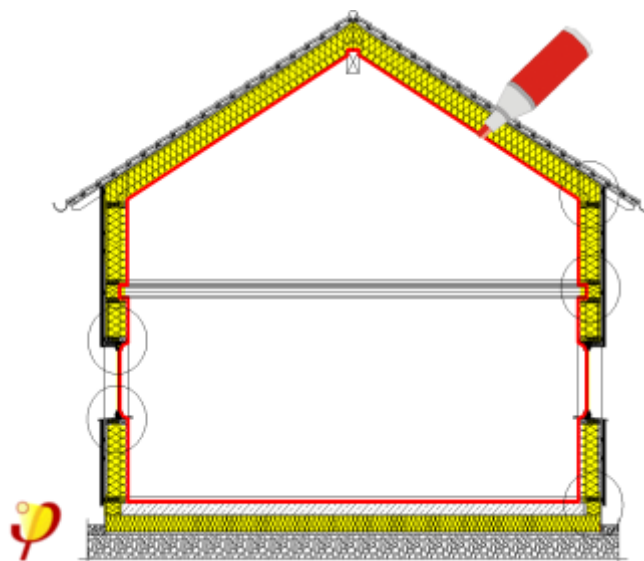


Imagen 2.- Ejemplo de definición de capa de hermeticidad (línea roja). Fuente: Passivhaus Institut.

- **Análisis de los encuentros entre los distintos materiales que componen la envolvente del edificio.** Entre los puntos débiles, en materia de hermeticidad al aire en los edificios, podemos destacar las uniones entre los elementos que componen su envolvente, estos pueden ser:

1. Uniones de cimentación y muros de fachada.
2. Uniones de muros de fachada y forjados estructurales (entrepisos).
3. Uniones de muros de fachada y forjados de cubierta.
4. Uniones de muros de fachada con carpinterías exteriores.
5. Discontinuidades de muros de fachada, fisuras en fábricas de ladrillo, bloque o cualquier otro material.

- **Análisis de las instalaciones que perforan la envolvente de la edificación.** Quizás este es el punto menos cuidado en las construcciones tradicionales a nivel global. Cualquier instalación que penetre la envolvente deberá ser estudiada para definir cuál es la solución óptima para evitar la entrada de aire incontrolado. Los puntos más conflictivos habitualmente son:

- **Canalizaciones eléctricas y de comunicaciones:** Son puntos de entrada de aire directo a través de las canalizaciones por las que discurren los conductores eléctricos, además de ser puntos de ruptura de la envolvente. Se deberán estudiar las soluciones para sellar las uniones de las canalizaciones con la envolvente y las uniones entre las canalizaciones y los conductores (cableados).

Como ejemplos a estudiar:

1. Acometida eléctrica desde el contador hasta el cuadro general de protección de la edificación.
2. Puntos de luz exteriores con interruptores de encendido y apagado en el interior de la edificación.
3. Cajas de paso de instalaciones que comuniquen el interior y el exterior de la edificación.
4. Timbres y pulsadores.
5. Bases de enchufes (contactos) alimentados desde el interior de la edificación.
6. Entradas de conducciones y cableado de televisión por cable.
7. Entradas de conducciones y cableado de teléfono.
8. Entradas de conducciones y cableado de antenas de televisión.
9. Entradas de alimentación eléctrica a equipos exteriores, por ejemplo equipos de aire acondicionado.

- **Instalaciones de fontanería y saneamiento (drenajes).** Se deberá tener en cuenta durante la fase de proyecto arquitectónico todas las instalaciones que penetran en la envolvente de la edificación, con el fin de evitar entradas incontroladas en los encuentros entre las instalaciones y la envolvente. Los puntos débiles más usuales son:

1. Encuentros de acometida de fontanería y muros de fachada (en su caso).

2. Encuentros de acometida de fontanería y losas de cimentación (en su caso).
3. Encuentro de tuberías de puntos de agua (grifos) en patios y/o pilas lavadero.
4. Encuentro de tubos de alimentación de agua de tinacos y forjado de cubierta (losa de azotea)
5. Encuentros de desagües (drenajes) con cimentaciones o forjados sanitarios elevados, tales como; encuentros de tuberías de evacuación de aguas fecales de WC, fregaderos, desagües de duchas y bañeras, desagües de equipos de aire acondicionado, red de tuberías pluviales que discurran por el interior de la edificación.

- **Diseño y detalle de soluciones constructivas.** Durante la fase de redacción del proyecto arquitectónico se desarrollarán todas las soluciones constructivas para evitar los problemas de infiltraciones indeseadas. Se definirán los materiales a usar, se dibujarán y detallarán las soluciones para la instalación de los materiales y el procedimiento de control en la ejecución de obra.

***Es muy importante que las soluciones y materiales a emplear sean compatibles con el sistema constructivo, las soluciones constructivas deben emplear materiales locales.***

Algunos ejemplos de detalles constructivos:

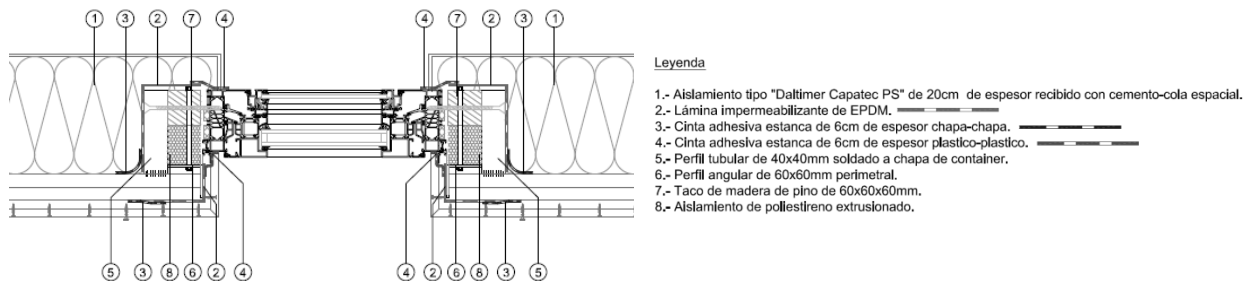
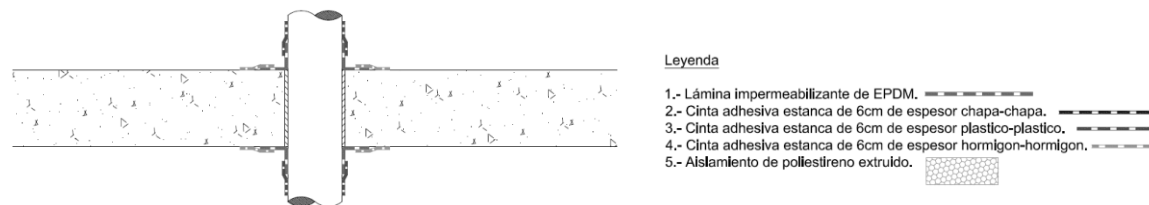


Imagen 3.- Detalle de estanqueidad, unión de ventana con fachada (corte horizontal) . Fuente: Antonio Peláez Ortega.



F. Estanqueidad para tubo de instalaciones pasante por losa de hormigón.

Imagen 4.- Detalle de estanqueidad, unión paso de tubo interior-externo edificio (corte vertical). Fuente: Antonio Peláez Ortega.

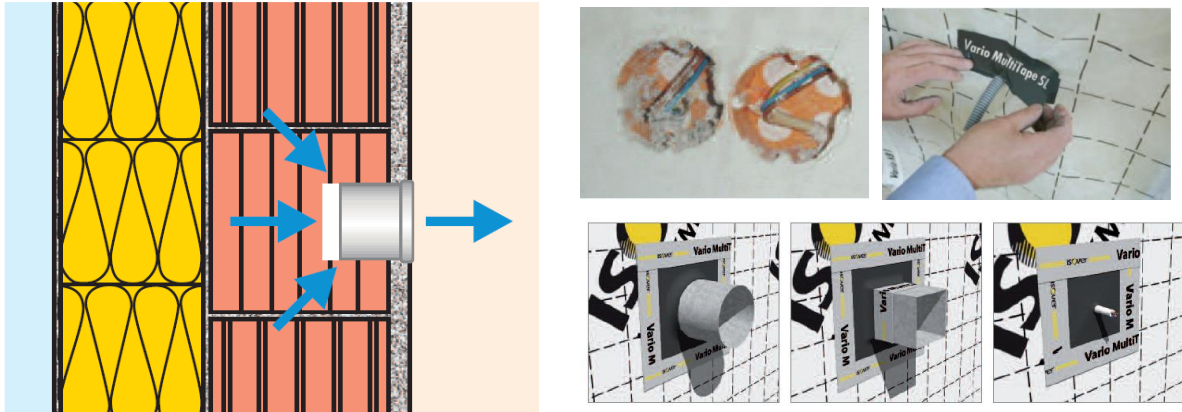


Imagen 5.- Detalle de estanqueidad, paso de instalaciones. Fuente: Isover.

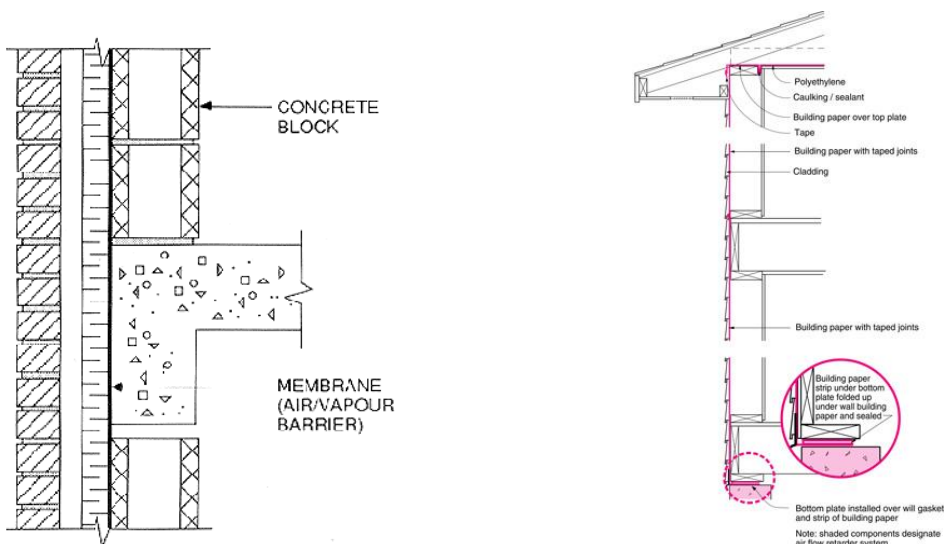


Imagen 6.- Detalle de estanqueidad tipo de distintos sistemas constructivos.

### “Ejecución de obras”

Durante la ejecución de las obras de construcción de cualquier tipo de edificación es de vital importancia el cuidado del detalle, se hace más necesario e importante en las edificaciones pensadas para lograr el objetivo de disminución del consumo de energía durante su uso.

En el campo de la hermeticidad, el cuidado en el detalle será la clave para obtener los resultados establecidos en proyecto. Si partimos de un proyecto detallado, con soluciones constructivas pensadas para evitar las infiltraciones incontroladas, la supervisión en obra será más sencilla.

Es conveniente comprobar en obra todos los puntos débiles de la construcción detallados en el proyecto arquitectónico, supervisar los puntos débiles que no hayan sido documentados en proyecto, con el fin de diseñar las soluciones constructivas óptimas para la resolución de los puntos de filtraciones de aire.

Durante el desarrollo de la obra y previo a la ejecución de los acabados finales interiores, es recomendable realizar ensayos de comprobación. Estos ensayos permitirán realizar las modificaciones necesarias para lograr el objetivo marcado en proyecto, en referencia a la estanqueidad al aire de edificios, sin realizar actuaciones agresivas y/o roturas. Estos ensayos se deben realizar tras la ejecución completa de la envolvente de la edificación, incluida la colocación de carpinterías exteriores e instalaciones de todo tipo.

Las mediciones realizadas durante el proceso de ejecución de obra no son mediciones certificables, aunque son las mediciones más importantes a realizar en materia de estanqueidad al aire en edificios sino se tiene experiencia previa en este campo.

En determinadas ocasiones las soluciones constructivas estudiadas en proyecto por motivos propios de la ejecución de las obra pueden sufrir modificaciones durante el proceso constructivo. En estos casos será necesario reportar las modificaciones realizadas al área de proyectos, para ser introducidas en la documentación final de obra (planos asbuilt, memorias técnicas, libro de uso y mantenimiento del edificio, etc.).

#### **b. Normativa actual.**

Existen varias normativas para el desarrollo de los test de infiltración al aire en edificios, como normas de referencia encontramos la norma EN 13829 (de aplicación en la Unión Europea), la norma CSGB (norma Canadiense), ASTM E779 y RESNET Test Standard de aplicación en Estados Unidos de América.

El ámbito de estudio del presente documento se basa en los Proyectos Prototipos promovidos por GIZ dentro del Programa México-Alemania NAMA. Estos Prototipos han sido calculados energéticamente mediante la herramienta PHPP (Passivhaus Institut).

El software de cálculo PHPP, establece los valores de estanqueidad de la envolvente del edificio mediante el ensayo de estanqueidad realizado según la norma EN 13829.

## **i. EN 13829, Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.**

A continuación se resume la norma de referencia usada en la realización de los ensayos objeto del presente documento.

### **“INTRODUCCION**

La norma fue aprobada y elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 89, Prestaciones térmicas de los edificios y sus componentes, cuya Secretaria desempeña SIS.

### **1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta norma está dirigida a la medición en campo de la permeabilidad al aire de edificios o parte de los mismos. Se especifica el uso de presurización o despresurización mecánica de un edificio o parte del mismo. Describe la medición de la tasa de flujo de aire resultante, sobre un rango de diferencias de presión estática interior-exterior.

Esta norma está orientada hacia la medición de la fuga de aire a través de la envolvente de una construcción en una única zona. Para el propósito de esta norma, numerosas construcciones multi-zona, pueden considerarse como construcciones uni-zona, abriendo los compartimentos interiores (puertas, ect.), o considerando presiones iguales en zonas adyacentes.

Esta norma no está dirigida a la evaluación de la permeabilidad al aire a través de componentes individuales.

### **5 PROCEDIMIENTO DE MEDICION**

#### **5.1 Condiciones de medición.**

**5.1.1 Generalidades.** La precisión de este procedimiento de medición, es muy dependiente de la instrumentación y de los aparatos utilizados y de las condiciones ambientales bajo las que se toman los datos.

**5.1.2 Extensión medida.** La extensión del edificio o parte del mismo medido, se define como sigue.....

Las partes individuales de un edificio pueden ser medidas por separado, por ejemplo, en un edificio de apartamentos, cada uno de ellos puede ser medido individualmente. De cualquier forma, la interpretación de los resultados debe considerar que el aire filtrado medido de esta manera, debe incluir el flujo de filtrado a través de las partes adyacentes del edificio.

NOTA 1- Es posible que un edificio de apartamentos comparta los requisitos de hermeticidad al aire, pero uno o más apartamentos individuales no lo harán....



**5.1.3 Tiempo de Medición.** La medición únicamente puede ser tomada después de que la envolvente del edificio, o parte mismo, que debe ser ensayada, haya sido completada.

NOTA – Una medición preliminar de la permeabilidad de la barrera del aire permitirá que sean reparadas más fácilmente, las causas de filtración de aire, que cuando el edificio este finalizado.

## 5.2 Preparación.

**5.2.1 Generalidades.** Esta norma describe dos tipos de método de ensayo dependiendo del propósito. Ambos tipos necesitan diferentes preparaciones del edificio:

### Método A (ensayo de un edificio en uso):

La condición de la envolvente de un edificio debería representar su condición durante la temporada en la que se usa el sistema de calefacción o de frío.

### Método B (ensayo de la envolvente del edificio):

Cualquier abertura intencionada realizada en la envolvente del edificio, debe ser cerrada o sellada.

**5.2.2 Componentes del edificio.** Cerrar todas las aberturas intencionadas del edificio al exterior o de las partes del mismo que deban ser ensayadas (ventanas, puertas, cortafuegos, ect.).

Para el propósito del método A (edificio en uso), no tomar medidas adicionales para incrementar la hermeticidad.

Para el propósito del método B (envolvente del edificio), todas las aberturas ajustables, deben ser cerradas y el resto de aberturas realizadas deben ser selladas.

### **5.2.3 Sistemas de calefacción, ventilación y de aire acondicionado.**

**5.2.4 Equipo de movimiento de aire.** Conectar el equipo de aire a la envolvente del edificio, utilizando una ventana, puerta o abertura de ventilación. Asegurarse de que las uniones entre el equipo y el edificio se encuentran selladas para evitar cualquier fuga.

**5.2.5 Mecanismos para la medida de la presión.** La diferencia de presión en el interior/exterior se mide normalmente en el nivel de la planta más baja de la envolvente del edificio bajo consideración.

Asegurarse de que en el interior y el exterior, las caídas de presión no son influenciadas por el equipo de movimiento de aire. La toma exterior de presión deberá estar protegida de los efectos de la presión dinámica, por ejemplo, fijando

una tubería en forma de “T” o conectándola a una caja perforada. Especialmente en condiciones de viento, es una buena práctica situar la toma exterior de presión a una cierta distancia lejos del edificio, pero no cerca de otros obstáculos.

Los tubos de presión, no deben de estar alineados verticalmente. Se debe evitar que la tubería este expuesta a grandes diferencias de temperatura (por ejemplo, debido a la exposición al sol).

### 5.3 Pasos del Procedimiento

**5.3.1 Inspección Preliminar.** Se deberá controlar la envolvente total del edificio en, aproximadamente, la mayor diferencia de presión utilizada en el ensayo para grandes filtraciones y fallos en las aberturas temporalmente selladas. Si tales filtraciones son detectadas, se deberán tomar notas detalladas.

Controlar que los sifones, en sistemas de tuberías, se encuentran llenos o sellados.

**5.3.2 Condiciones de temperatura y viento.** Para corregir la mediciones de la tasa del flujo de aire, para la densidad del aire (ver Anexo B), leer las temperaturas en el interior y exterior del edificio, antes, durante y después del ensayo. Registrar la velocidad o fuerza del viento. Determinando la fuerza del viento por una valoración visual de árboles, agua, etc., así como por la escala de Beaufort.....

**5.3.3 Diferencia de presión con flujo-cero.** Corto circuitar el mecanismo de medida de presión y controlar o ajustar la lectura a cero.

Conectar el mecanismo de presión, para medir la diferencia de presión en el interior-exterior y cubrir temporalmente la abertura del equipo de movimiento de aire. Observar y registrar la media de los valores positivos para el flujo cero, con una diferencia de presión  $\Delta P_{01+}$ , para un periodo de al menos 30 segundos. Observar y registrar la media de los valores positivos para el flujo cero, con una diferencia de presión  $\Delta P_{01-}$ , para un periodo de al menos 30 segundos. Si cualquiera de estos valores medios, con flujo cero y si la diferencia de presión es mayor de 5 Pa, no realizar el ensayo.

Observar y registrar la media de los valores positivos para el flujo cero, con una diferencia de presión  $\Delta P_{01}$ , para un periodo de al menos 30 segundos.

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

**5.3.4 Secuencia de la diferencia de presión.** Descubrir y conectar el equipo de movimiento de aire.

El ensayo se lleva a cabo tomando mediciones de la tasa de flujo de aire y las diferencias de presión interior/exterior sobre el rango de las diferencias aplicada con incrementos no mayores a 10 Pa. La diferencia de presión mínima debe ser 10 Pa o cinco veces la diferencia de presión con flujo cero (mayor que la media positiva y negativa) que siempre es mayor.

Se recomienda realizar dos conjuntos de mediciones, para presurización y despresurización. Aunque se permite realizar solamente un conjunto de mediciones bien para presurización o para despresurización para cumplir con los requisitos de esta norma. Para cada ensayo se debe definir al menos cinco puntos de cada dato, con una separación aproximadamente igual, y entre las diferencias de presión más alta y más baja.

## 6 EXPRESION DE LOS RESULTADOS

### 6.1 Valores de referencia

**6.1.1 Volumen interno.** Volumen interno de aire, resultado de multiplicar el área neta del piso por la altura neta del techo. El volumen del mobiliario no se deduce.

**6.1.2 Área de envolvente.** Es el área total de todos los suelos, paredes y techos que bordean el volumen interno.

**6.1.3 Área neta del suelo.** La suma de todos los suelos pertenecientes al volumen de aire interno.

### 6.2 Cálculo de la tasa de filtrado.

#### 6.3 Cantidades derivadas.

**6.3.1 Tasa de cambio de aire con referencia a la diferencia de presión.** La tasa de aire filtrado con referencia a la diferencia de presión  $\Delta P_r$ , normalmente 50 Pa,  $V \Delta P_r$ .

**6.3.2 Permeabilidad al aire.** La permeabilidad al aire a 50 Pa,  $q_{50}$ , es calculada mediante la división de la media de la tasa de aire filtrada a 50 Pa por el área de la envolvente.

**6.3.3 Tasa específica de filtrado.** La tasa específica de filtrado,  $w_{50}$ , se calcula a través de la división de la media de la tasa de aire filtrado a 50 Pa por el área neta del suelo.

**6.3.4 Tasa del aire filtrado con referencia de la diferencia de presión.** La tasa de aire filtrado con referencia específica de la presión diferencial  $V \Delta P_r$ , expresada en m<sup>3</sup>/h.

## 7 INFORME DEL ENSAYO.

El informe deberá contener al menos, la siguiente información:

- a) Todos los detalles necesarios para identificar el objeto ensayado: propósito del ensayo (método A o B); domicilio postal y fecha estimada de construcción del edificio.
- b) Una referencia a esta norma y cualquier desviación a ella.
- c) Objeto del ensayo
  - Descripción de las partes del edificio que están sujetas a ensayo; número del apartamento.
  - Área neta del suelo y volumen interno.
  - Documentación de los cálculos.
  - Estado de todas las aberturas de la envolvente del edificio.
  - Descripción detallada de todas las aberturas selladas temporalmente, si las hay.
  - Tipo de calefacción, ventilación y sistema de acondicionamiento.
- d) Aparato y procedimiento.
  - Equipo y técnica empleada.
- e) Datos del ensayo:
  - Diferencias de presión con flujo cero  $\Delta P_{01+}$ ,  $\Delta P_{01-}$ ,  $\Delta P_{02+}$ ,  $\Delta P_{02-}$ ,  $\Delta P_{01}$  y  $\Delta P_{02}$ , para el ensayo de presurización y despresurización.
  - Temperaturas en el interior y en el exterior.
  - Velocidad del viento y presión barométrica, si es parte del cálculo.
  - Tabla de diferencias de presión inducida y tasas de flujo de aire correspondientes.
  - Gráfico de aire filtrado
  - Coeficiente  $C_{env}$ , de flujo de aire, exponente “n” del flujo de aire y el coeficiente CL, correspondiente al aire filtrado para ensayos de presurización, despresurización, que están determinados por el método indicado.
  - Tasa de cambio de aire “n50” a 50 Pa, para presurización y/o despresurización y valor medio
  - Cantidad derivada de acuerdo con la regulación nacional.
- f) Fecha del ensayo.”

### c. Influencia de la estanqueidad de edificios en su eficiencia energética.

De partida cualquier edificio que este diseñado y pensado para cumplir con el objetivo de ahorrar energía en su uso, está diseñado en función de las condiciones medio ambientales que lo rodean. Ningún edificio funciona igual en climas distintos, el edificio siempre de debe adaptar a su entorno.

Uno de los parámetros que influyen en la eficiencia energética de una edificación es su grado de estanqueidad al aire, siendo este parámetro importante en cualquier tipo de clima.

En todos los climas es importante saber cuál es el número de renovaciones hora del volumen interior de aire de la edificación y saber cuáles son las pérdidas o ganancias energéticas a través del aire filtrado y no controlado.

En climas extremos, ya sean fríos o cálidos, la estanqueidad al aire de una edificación cobra mayor importancia desde la visión del ahorro de energía. Ya que en la edificación estará entrando incontroladamente aire a temperaturas extremas y por lo tanto se necesitara más aporte de energía a los equipos activos de climatización para lograr las temperaturas de confort.

Podemos analizar, los casos que van a ser objeto de ensayo en el presente documento, las viviendas Prototipo NAMA de GIZ y sus socios en Morelia.

#### **Prototipos de Morelia.**

Para realizar este análisis, vamos a modificar los parámetros de estanqueidad en los cálculos energéticos del Proyecto Nama, cálculos realizados con PHPP (software del Passivhaus Institut).

Resultados de los cálculos energéticos originales. Valor n50 según planificación, n50= 1,5 h<sup>-1</sup>.

Specific building demands with reference to the treated floor area		use: Monthly method	
	Treated floor area	383,2 m <sup>2</sup>	
Space heating	Annual heating demand	2 kWh/(m <sup>2</sup> a) 91 kWh/a	Requirements: 15 kWh/(m <sup>2</sup> a) Fulfilled?*: yes
	Heating load	16 W/m <sup>2</sup> 5983 W	Requirements: 10 W/m <sup>2</sup> Fulfilled?*: -
	Overall specific space cooling demand	kWh/(m <sup>2</sup> a)	Requirements: - Fulfilled?*: -
Space cooling	Cooling load	13 W/m <sup>2</sup> 5021 W 17142 BTU	Requirements: - Fulfilled?*: -
	Frequency of overheating (> 25 °C)	0,0 %	Requirements: - Fulfilled?*: -
	Primary Energy	99 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Requirements: 120 kWh/(m <sup>2</sup> a) Fulfilled?*: yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Requirements: - Fulfilled?*: -
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m <sup>2</sup> a)	Requirements: - Fulfilled?*: -
Total Emissions CO2-Equivalent		25 kg/(m <sup>2</sup> a)	
		9487 kg/a	
Airtightness	Pressurization test result n <sub>50</sub>	1,5 1/h	Requirements: 0,6 1/h Fulfilled?*: no

Resultados de los cálculos energéticos modificados. Valor n50 modificado, n50= 5,5 h<sup>-1</sup>.

Specific building demands with reference to the treated floor area		use: Monthly method	
	Treated floor area	383,2 m <sup>2</sup>	
Space heating	Annual heating demand	4 kWh/(m <sup>2</sup> a) 115 kWh/a	15 kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>yes</b>
	Heating load	34 W/m <sup>2</sup> 12870 W	10 W/m <sup>2</sup> -
	Overall specific space cooling demand	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
Space cooling	Cooling load	15 W/m <sup>2</sup> 5559 W 18980 BTU	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	0,3 %	-
	Primary Energy	105 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>yes</b>
	DHW, space heating and auxiliary electricity	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
Total Emissions CO2-Equivalent		26 kg/(m <sup>2</sup> a) 10097 kg/a	
Airtightness	Pressurization test result n <sub>50</sub>	5,5 1/h	0,6 1/h <b>no</b>

Análisis aumento de consumos de energía por infiltraciones (pérdidas y ganancias por ventilación):

Analicemos las pérdidas energéticas por ventilación y las pérdidas totales:

Calefacción/ Refrigeración	Pérdidas	n50= 1.50 h <sup>-1</sup>	n 50=5.50 h <sup>-1</sup>	% Disminución por mejora estanqueidad
Calefacción	Qv (KWh/a)	1.184	3.398	66%
	QL (KWh/a)	5.598	8.023	30%
Refrigeración	Qv (KWh/a)	28.610	37.542	23%
	QL (KWh/a)	58.919	66.816	12%
Consumo de energía en calefacción KWh/m2a		2,00	4,00	50%
Consumo de energía en Refrigeración KWh/m2a		1,00	1,00	0%
Consumo de Energía Primaria KWh/m2a		99,00	105,00	5%

Qv= Perdidas por ventilación.  
QL= Pérdidas Totales.

Tras el análisis de resultados se concluye que existe una disminución considerable de las pérdidas de energía y como consecuencia la disminución del consumo de energía de la edificación, disminuyendo las emisiones de CO2 a la atmosfera. Cierto es que la disminución del consumo en este ejemplo particular sólo reduce 2kWh/m2a, pero debemos tener en cuenta la bondad de la zona climática.

### 3. Ensayos de Estanqueidad al aire en Prototipos. Preparación de la documentación para la realización de los test.

Para la realización de las pruebas de estanqueidad a los Prototipos Nama se debe comenzar por el análisis de la edificación a ensayar, para lograr tener el máximo conocimiento del sistema constructivo a analizar.

#### a. Viviendas prototipo en Morelia

Se realizaran ensayos en un conjunto edificado de 30 viviendas, desarrolladas por HERSO HOGARES, en Morelia (Estado de Michoacán). El conjunto se desarrolla en tres edificios adosados, de planta baja y cuatro alturas, contando cada edificio con 10 viviendas, 2 viviendas por planta.



Imagen 7.- Fotografías de los edificios Nama a ensayar. Fuente propia

Con los ensayos se pretende tener una muestra representativa del grado de estanqueidad del conjunto edificado, se ensayan 9 viviendas del Proyecto Prototipo Nama, representando el 30% del total de viviendas construidas. Para establecer cuál ha sido la mejora en estanqueidad en las viviendas Prototipo Nama, se ensayará una vivienda Línea Base (vivienda comúnmente construida por el Desarrollador Inmobiliario).

Mediante esta muestra se podrá conocer si el sistema constructivo ha sido en mismo en todas las viviendas y si el cuidado por el detalle en la resolución de problemas constructivos ha estado presente durante la ejecución de la obra.

Para la elección de las viviendas representativas a ensayar se estudió el conjunto edificado, concluyendo ensayar tres viviendas por edificio, tomando como viviendas objeto de ensayo tres de planta baja, tres de planta intermedia y tres de planta cubierta (una de cada ubicación en cada uno de los edificios).



Imagen 8.- Alzado con detalle de viviendas a ensayar

## ii. Sistema constructivo.

El consultor o técnico encargado de realizar cualquier tipo de ensayo en edificación, que no haya estado presente durante el proceso constructivo, deberá estudiar la documentación de proyecto.

Para este caso de estudio el Desarrollador Inmobiliario HERSO HOGARES, entregó planos arquitectónicos de detalle, en los que se incluían el trazado de todas las instalaciones de fontanería, saneamiento (drenajes), electricidad, gas, comunicaciones e instalación de captadores solares para agua caliente sanitaria.



Se mantuvieron reuniones con los Asesores de GIZ, para obtener mayor información acerca de las viviendas Prototipo.

Se entregaron los cálculos energéticos de las viviendas, realizados con el software PHPP (Passivhaus Institut), para el estudio de las soluciones constructivas en materia de eco-tecnologías y eficiencia energética. En los cálculos de PHPP se pudo analizar cuál es el grado de estanqueidad requerido para el proyecto y obra.

Previo a la realización de los ensayos se mantuvo una reunión con los Técnicos responsables designados por la Desarrolladora Inmobiliaria HERSO HOGARES para conocer el método de construcción usado, conocer las soluciones constructivas ejecutadas en la colocación de carpinterías, detalles de estanqueidad de instalaciones y su paso por la envolvente estanca del edificio.

El sistema constructivo usado para la ejecución de las obras se basa en la construcción monolítica con hormigón armado, mediante el sistema de encofrado (moldes) continuos.

El procedimiento de ejecución fue el siguiente:

- Excavación y nivelación del terreno.
- Ejecución de instalaciones enterradas
- Ejecución de cimentación de hormigón armado (concreto armado)
- Colocación de moldes (encofrado continuo) para dos viviendas por planta y dos niveles.
- Colocación de armaduras de hierro.
- Colocación de canalizaciones de electricidad, telecomunicaciones, sin inclusión de conductores
- Colocación de tuberías de fontanería y saneamiento (drenajes)
- Colocación de tuberías de gas
- Vertido de hormigón.
- Colocación de Aislamientos y carpinterías
- Terminaciones interiores y de instalaciones.

Este modelo constructivo permite realizar construcciones monolíticas (de una pieza) siendo un sistema constructivo que permite eliminar problemas de estanqueidad al aire de los edificios, debido a que el hormigón (concreto) fluido y su lechada de cemento cierran la mayor parte de las uniones.

Tras el vertido del hormigón se taparon con mortero especial, los tubos pasantes en los moldes de encofrado necesarios para la ejecución de los trabajos.

Este sistema constructivo permite tener una envolvente estanca con grandes prestaciones ante las filtraciones de aire.

Las viviendas Prototipo del Proyecto Nama, incorporan como medidas de eficiencia energética las siguientes:

Eco Casa Max

Elementos constructivos	Medidas
	<b>a) medidas pasivas</b>
Aislante en muros exteriores	Aislante térmico min. 25 mm
Aislante en azotea	Aislante min. 25 mm (techo sombreado)
Ventanas y puertas	PVC, doble vidrio
	<b>b) medidas activas</b>
Acondicionamiento	Electrodomésticos de alta eficiencia
Agua caliente	Calentadores solares; aislamiento de tuberías

**iii. Superficies y volúmenes.**

Para la realización de los ensayos es necesario disponer de los datos de área neta útil, volumen interior neto y superficie total de la envolvente. Siendo los datos de las viviendas a ensayar los siguientes:

Vivienda Tipo

Planta Baja

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	108,60
m2	Área neta útil	44,33
m2	Superficie de la envolvente	183,91
m1	Altura libre	2,45

Planta

Vivienda Tipo

Intermedia

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	100,30
m2	Área neta útil	40,94
m2	Superficie de la envolvente	176,12
m1	Altura libre	2,45

Vivienda Tipo

Planta Ultima

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	100,30
m2	Área neta útil	40,94
m2	Superficie de la envolvente	176,12
ml	Altura libre	2,45

#### 4. Ejecución de ensayos de estanqueidad en Morelia.

Se comienza los ensayos el 3 de Diciembre de 2013, el orden en la realización de los ensayos en las viviendas será el siguiente:

- |              |              |               |
|--------------|--------------|---------------|
| - Edificio 1 | - Edificio 2 | - Edificio 3  |
| • Vivienda 1 | • Vivienda 1 | • Vivienda 2  |
| • Vivienda 5 | • Vivienda 5 | • Vivienda 6  |
| • Vivienda 9 | • Vivienda 9 | • Vivienda 10 |

Los ensayos se realizaron conforme a la Norma EN 13829, mediante el método B.

Método B (ensayo de la envolvente del edificio):

Cualquier abertura intencionada realizada en la envolvente del edificio, debe ser cerrada o sellada, tal como se especifica en los apartados de referencia de la norma EN 13829.

##### a. Equipos para la realización de los Ensayos.

Sistema automático para test de infiltración y calidad de la construcción en edificios de acuerdo con los requerimientos de distintos estándares de calidad energética.

**Marca:** The Energy Conservatory

**Modelo:** Minneapolis Blower Door™

Equipos y accesorios Incluidos:

- Ventilador Blower Door con diafragmas A-E. Rango de medidas: de 19 m<sup>3</sup>/h a 7,200 m<sup>3</sup>/h.
- Dispositivo digital de control de presiones DG-700, 2 canales de presión.
- Estructura de montaje y panel de nylon Blower Door. Dimensiones desde 0.70 x 1.30 m hasta 1.14 x 2.41 m.

- Controlador de velocidad (conexión a 110 v.).
- Software TECTITE Express. Software para calcular los valores característicos de acuerdo con la EN 13829.
- Tubos de silicona para detección de presiones.
- Accesorios de montaje para realizar el test.
- Anemómetro y termómetro.



Imagen 9.- Equipo Blower Door. Fuente propia.



Imagen 10.- Anemómetro termómetro. Fuente propia.

#### Equipos y accesorios usados para la detección de infiltraciones:

Para la detección de las infiltraciones, se usa lápiz de humo, cámara termografía (propiedad de GIZ) y el conocimiento de las soluciones constructivas y puntos débiles de la edificación.



Imagen 11.- Lápiz Humo



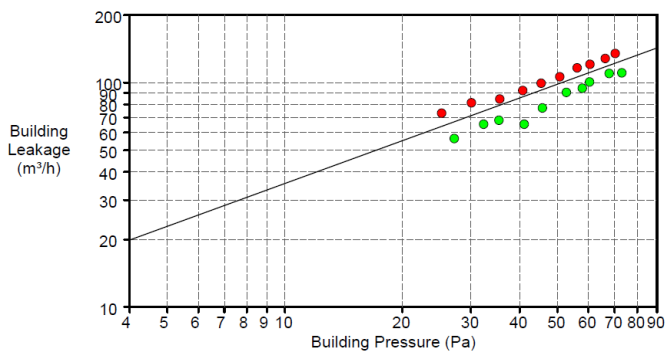
Imagen 12.- Cámara Termográfica

## b. Resumen de ensayos realizados

Previo a la realización final de los ensayos, se procedió a examinar exhaustivamente la primera vivienda, Edificio 1 Vivienda 1. Con el fin de conocer cuáles eran los puntos débiles de las viviendas y determinar que materiales de construcción se necesitarían para ejecutar las mejoras en estanqueidad. El primer ensayo realizado arrojó una tasa de infiltración al aire  $n_{50}=0.91 \text{ h}^{-1}$ , se realizó el test de despresurización, con el fin de determinar las filtraciones.

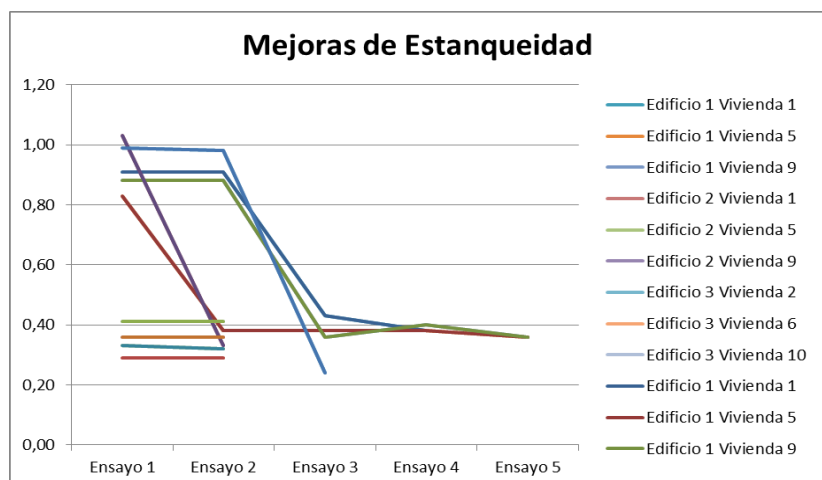
Los resultados del primer ensayo a despresurización fueron los siguientes:

Inside Temperature:	23 °C	Volume:	109 m <sup>3</sup>
Outside Temperature:	23 °C	Surface Area:	184 m <sup>2</sup>
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	44 m <sup>2</sup>
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	Nonen	Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:	Nonen		
Type of Ventilation:	None		



Gracias a este ensayo los operarios de HERSO HOGARES ejecutaron las mejoras detectadas, avanzándose al ritmo de ejecución de los ensayos, y por consiguiente mejorando el resultado de infiltración al aire de las viviendas.

En el grafico siguiente podemos observar que la capacitación al personal de obra de HERSO HOGARES fue mejorando tras la realización de la misma actuación repetidamente. Como consecuencia a la mejora en la ejecución y conocimiento de concepto de estanqueidad al aire en edificios, se alcanzaron valores similares de estanqueidad en todas las viviendas con relativa facilidad.



En la tabla de resultados se reflejan los resultados de los ensayos realizados durante 4 días de medición.

Ensayos Blower Door Morelia

Edificio	Vivienda	Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3			Ensayo 4			Ensayo 5		
		Depresión	Presión	Media	Depresión	Presión	Media	Depresión	Presión	Media	Depresión	Presión	Media	Depresión	Presión	Media
1	1	0,91			0,91			0,43	0,50	0,46	0,38	0,36	0,37			
1	5		0,83		0,38			0,38			0,38			0,36	0,34	0,35
1	9	0,88			0,88	0,64	0,76	0,36			0,40			0,36	0,37	0,37
2	1	1,03	0,73	0,88	0,33	0,33	0,33									
2	5	0,33	0,32	0,33	0,32	0,30	0,31									
2	9	0,36	0,33	0,34												
3	2	0,99			0,98	0,52	0,75	0,24	0,22	0,23						
3	6	0,29	0,25	0,27												
3	10	0,41	0,33	0,37												
	Línea base	5,27	6,43	5,85												

	Resultado Final
	Resultado provisional

Durante las mediciones se encontraron problemas con la variación de presión exterior, debido a las condiciones climáticas, se tuvieron que desechar muchos ensayos por presión excesiva.

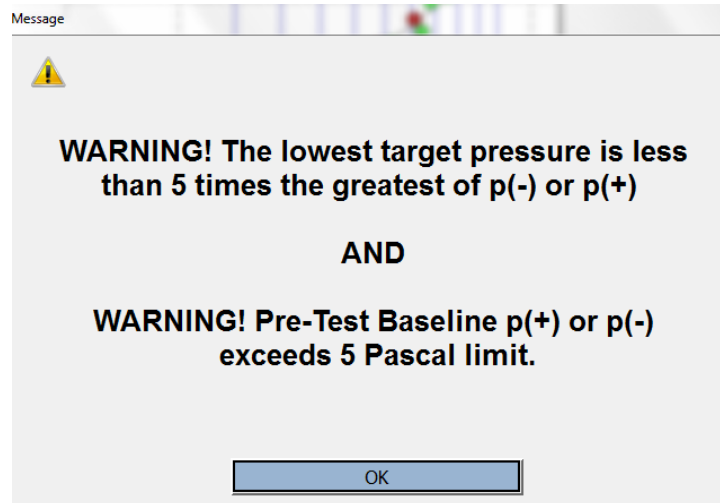


Imagen 13.- Aviso de exceso de presión en el cálculo de línea base. Fuente propia.

### c. Elementos influyentes en la estanqueidad de las viviendas de Morelia y correcciones realizadas.

Los lugares típicos donde aparecen las infiltraciones son: el empalme del techo/suelo con el muro exterior, el empalme de las paredes interiores con el muro exterior y el techo, el paso de las instalaciones eléctricas y de fontanería a través de la pared, el paso de chimeneas y conductos de ventilación a través de la pared, alrededor y a través de enchufes eléctricos e interruptores, alrededor y a través de ventanas y puertas.

En el caso de Morelia analizamos los lugares típicos de filtración y su solución constructiva:

- Empalme del techo/suelo con el muro exterior. En este caso se evitan infiltraciones al ser una construcción monolítica, siendo el vertido del hormigón continuo y por lo tanto no existiendo unión entre estos elementos. En el caso de las uniones frías entre losas y muros de hormigón armado (concreto), la lechada de cemento elimina los problemas de infiltraciones.
- Empalme de las paredes interiores con el muro exterior y el techo. Se evitan infiltraciones al ser una construcción monolítica, siendo el vertido del hormigón continuo y por lo tanto no existiendo unión entre estos elementos. En el caso de las uniones frías entre losas y muros de hormigón armado (concreto), la lechada de cemento elimina los problemas de infiltraciones.
- Paso de las instalaciones eléctricas y de fontanería a través de la pared. Son evitadas al estar integradas en la masa de concreto, solucionando el sistema constructivo los posibles problemas.

Se encontraron problemas en la colocación de los WC en las viviendas en planta baja, las filtraciones se deben a la manipulación de los desagües del WC, y la falta de sellado entre el WC y el suelo. Podemos observar el cambio de temperatura en el perímetro del WC. La solución adoptada fue el sellado con silicona la unión entre el WC y el suelo.

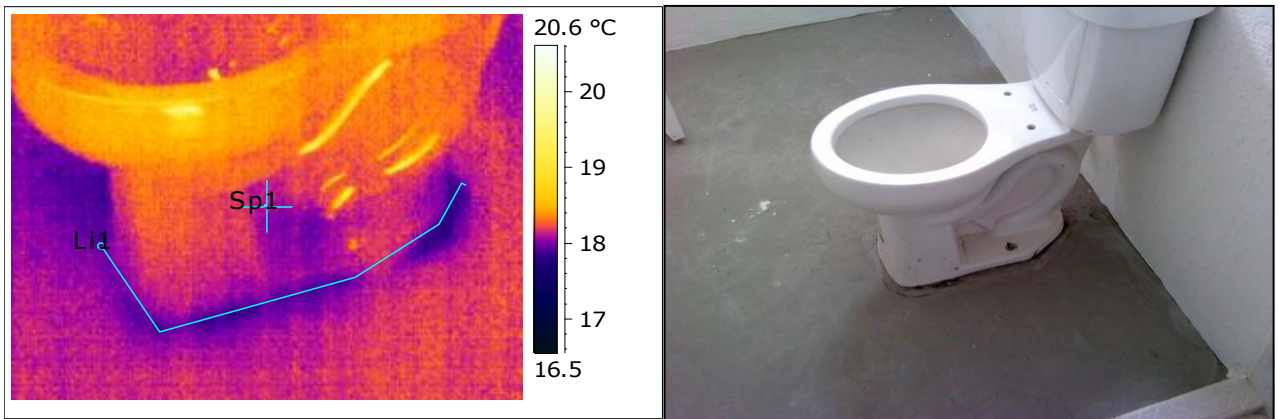


Imagen 14.- Aire de infiltración en la unión entre el WC y el suelo en vivienda de planta baja. Fuente propia.

- Alrededor y a través de enchufes eléctricos e interruptores. En este caso se encontraron infiltraciones en los tubos de paso de instalaciones, la solución que se adopto fue sellar con espuma de poliuretano y/o silicona.

En la imagen 15 podemos ver la entrada de infiltración por la acometida eléctrica de la vivienda

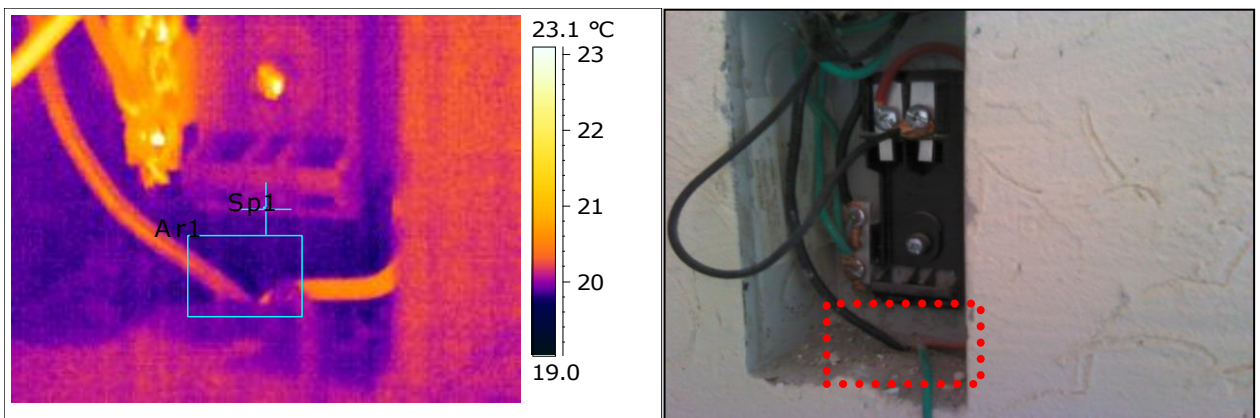


Imagen 15.- Aire de infiltración a través de las canalizaciones de electricidad. Fuente propia.

El la imagen 16 podemos ver la entrada de infiltración por la parte inferior de la caja del contacto (base de enchufe), la parte superior fue sellada evitando la entrada de aire.



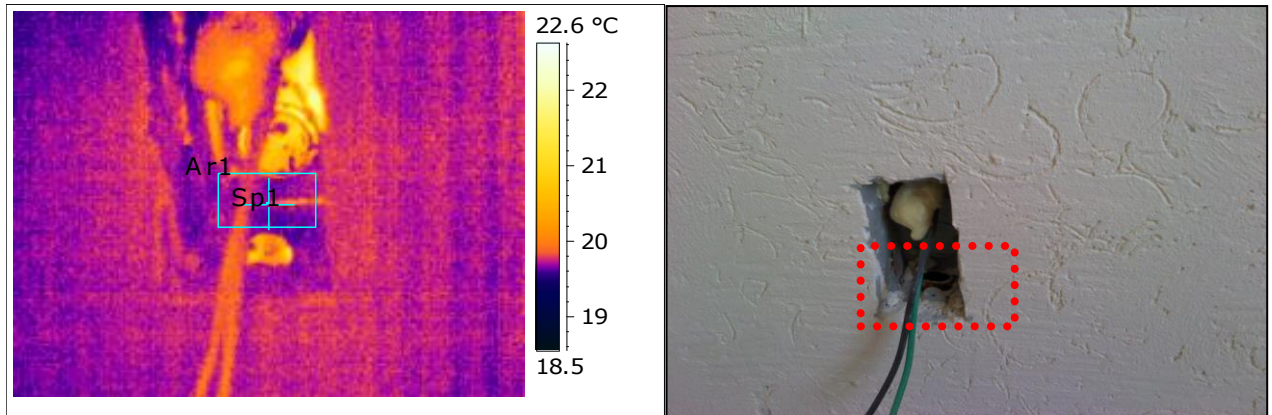


Imagen 16.- Aire de infiltración a través de las canalizaciones de electricidad, canalización inferior. Fuente propia.

- Alrededor y a través de ventanas y puertas. Las carpinterías instaladas en las viviendas del Prototipo Nama, son carpinterías de PVC abatibles con doble vidrio. Las carpinterías poseen un doble cierre en puertas, siendo un cierre sencillo en ventanas.

Durante la ejecución de los test se encontraron algunos problemas de ajustes en las puertas de acceso a los patios. Se encontraron pequeñas infiltraciones en las bisagras de las carpinterías, junquillos interiores para montaje y desmontaje de vidrios, cerraduras de las puertas de PCV.

En la imagen 17, se observa el punto de entrada de aire de infiltración en los junquillos de colocación de los vidrios de la carpintería, este tipo de filtraciones son habituales ya que los junquillos son piezas que se colocan a presión, siendo la unión entre los perfiles el punto débil. La solución por la que se optó fue la de sellar con silicona transparente las uniones.

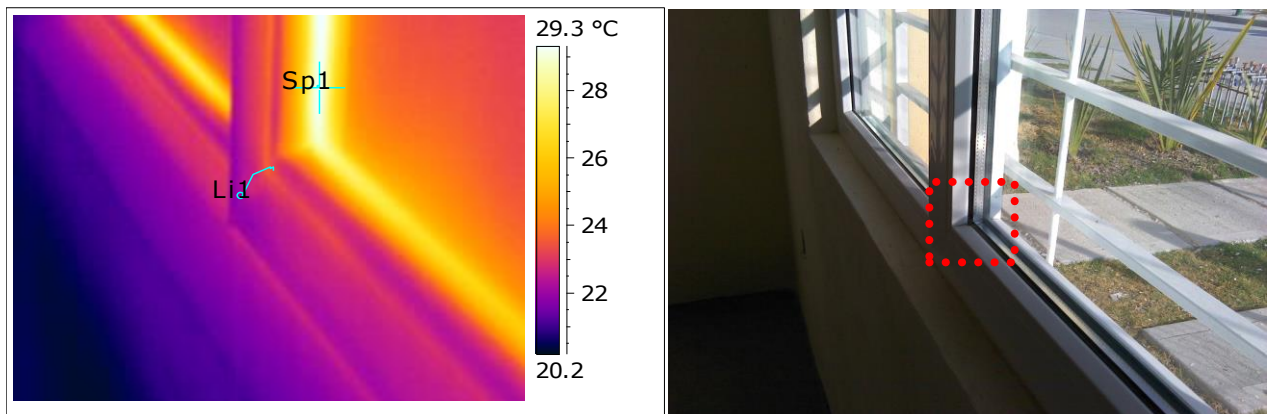


Imagen 17.- Aire de infiltración a través de los junquillos de colocación de vidrios. Fuente propia.

En la imagen 18 se observa la infiltración por la bisagra superior de la carpintería. Esta infiltración es difícil eliminarla, es debida al sistema de cierre de la carpintería.

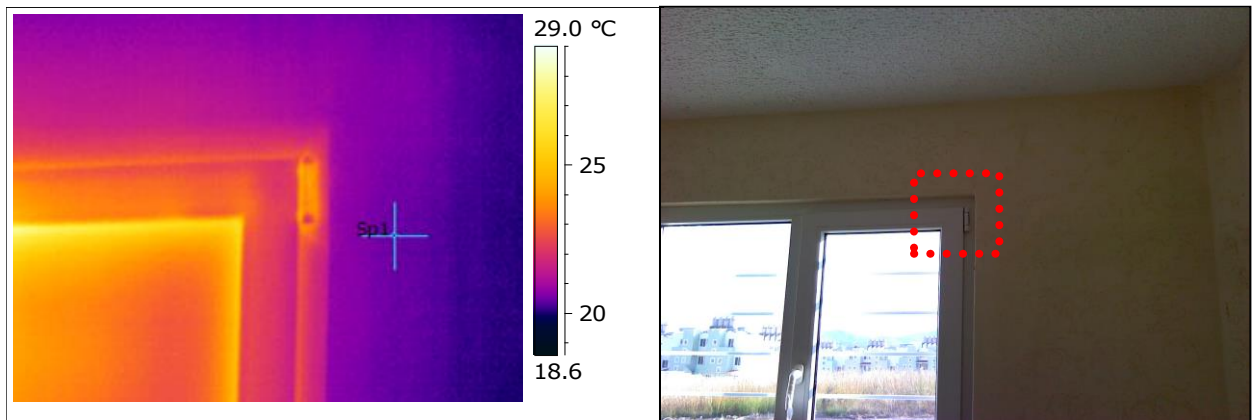


Imagen 18.- Aire de infiltración a través de las bisagras. Fuente propia.

En la imagen 19, 20, 21, 22 y 23 se observa la infiltración por la parte inferior de la carpintería por un mal cierre. La solución fue ajustar correctamente los cierres.

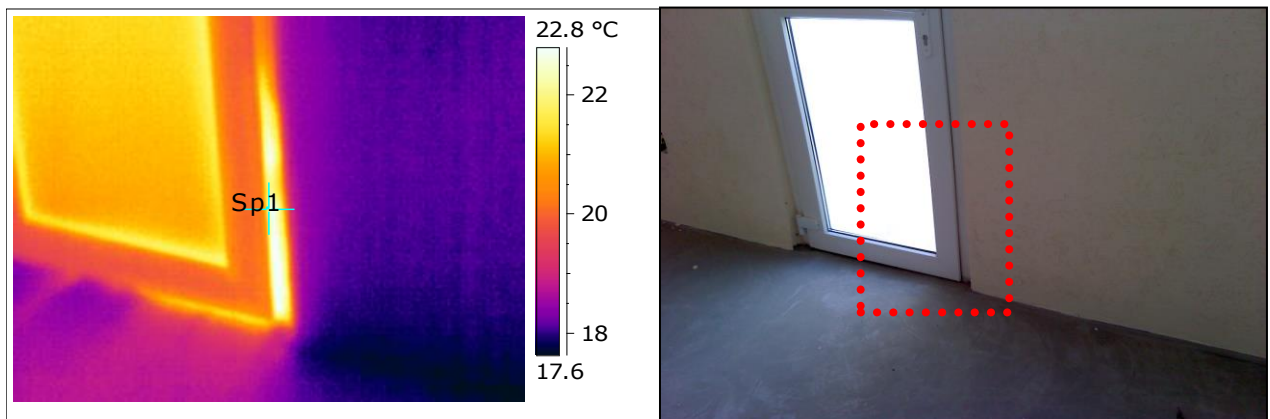


Imagen 19.- Aire de infiltración por mal ajuste de puerta de salida a patios. Fuente propia.

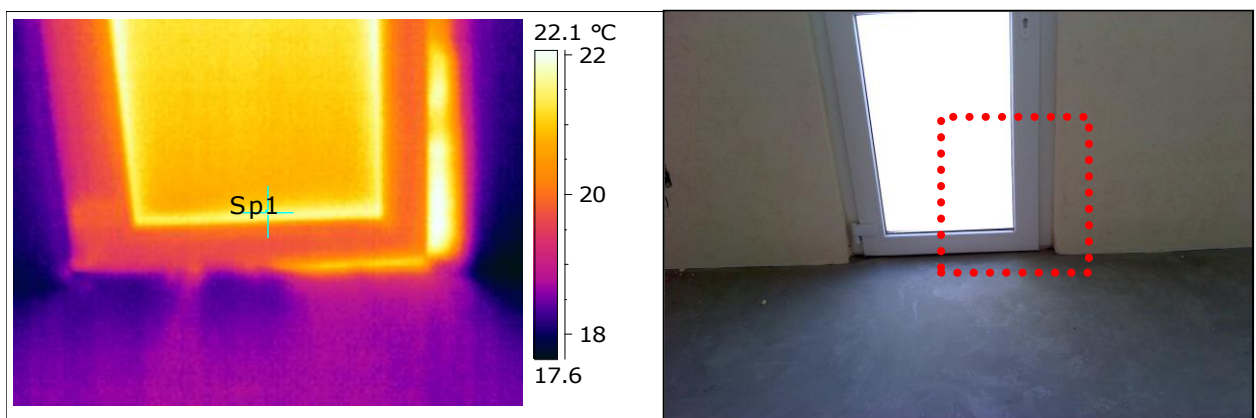


Imagen 20.- Aire de infiltración por mal ajuste de puerta de salida a patios. Fuente propia.

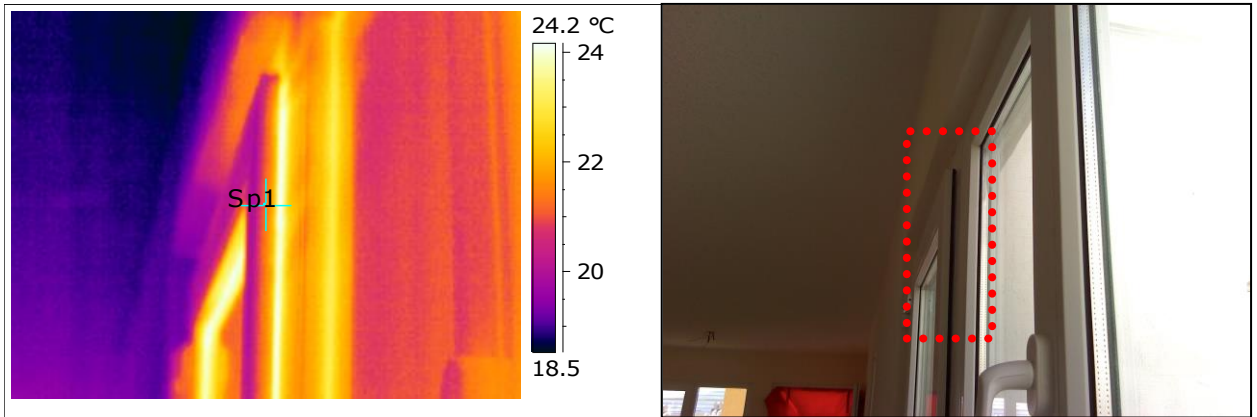


Imagen 21.- Aire de infiltración por mal ajuste de puerta de salida a patios. Fuente propia.

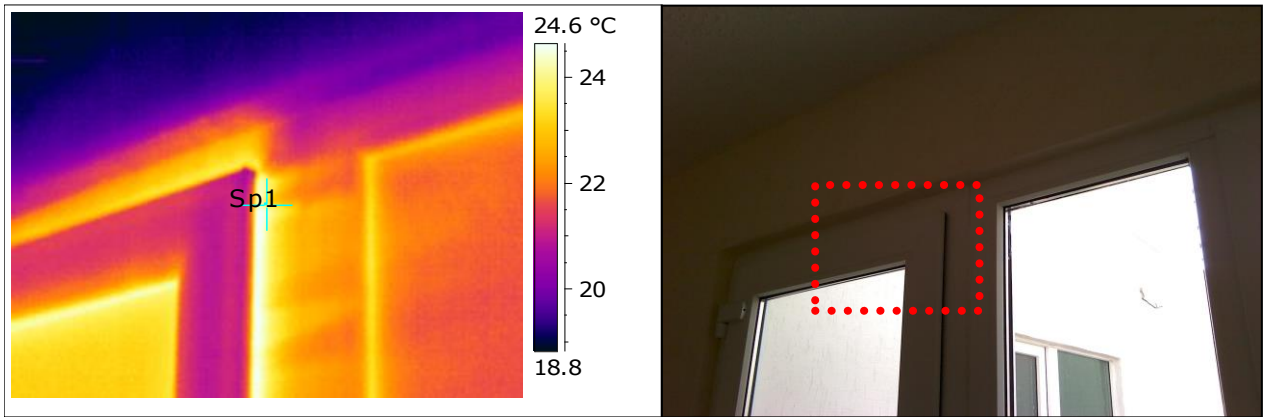


Imagen 22.- Aire de infiltración por mal ajuste de puerta de salida a patios. Fuente propia.

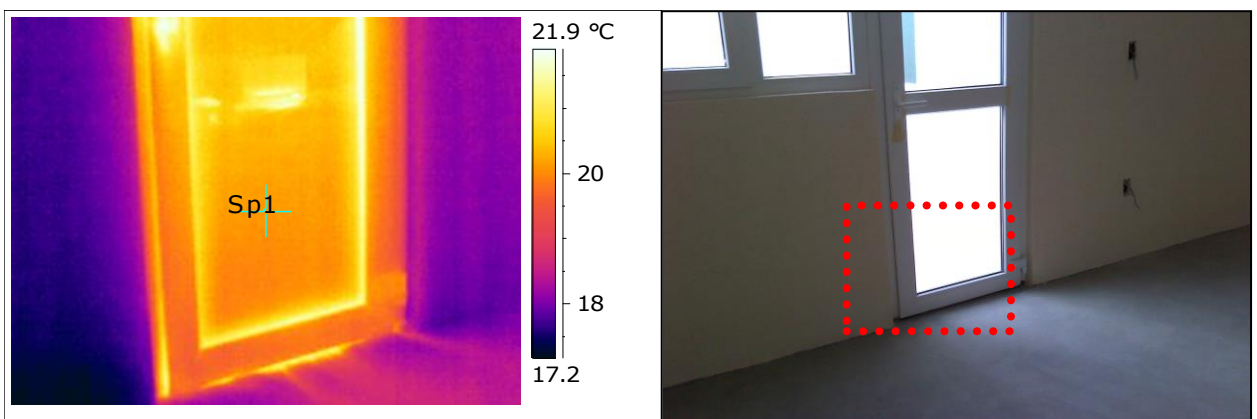


Imagen 23.- Aire de infiltración por mal ajuste de ventanas de baños. Fuente propia.

En la imagen 24 se observa la infiltración por mal ajuste en la ventana del baño. La solución adoptada fue el correcto ajuste del cierre, también se puede observar la filtración de aire por la bisagra superior, difícil de eliminar debido al sistema de cierre de la carpintería.

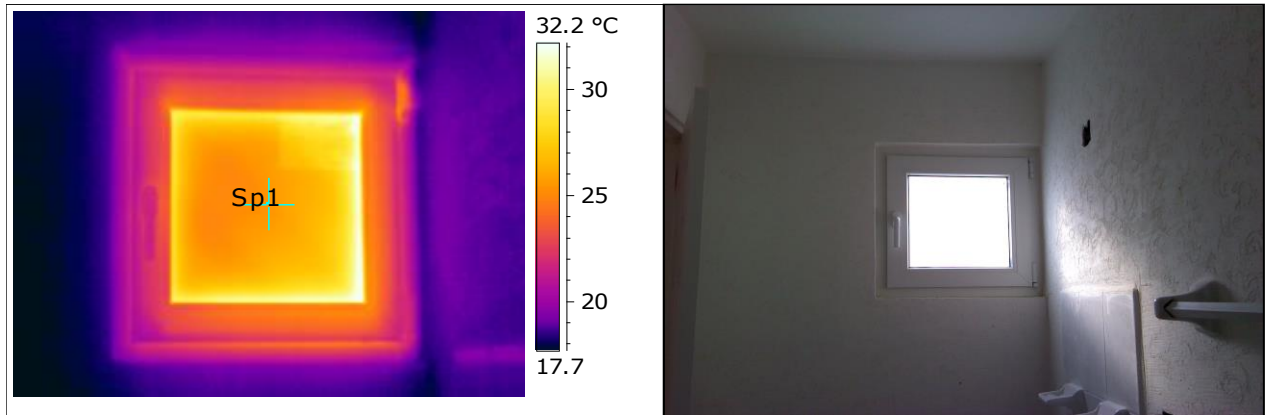


Imagen 24.- Aire de infiltración por mal ajuste de ventanas de baños. Fuente propia.



Imagen 25.- Infiltración por sellado exterior insuficiente.

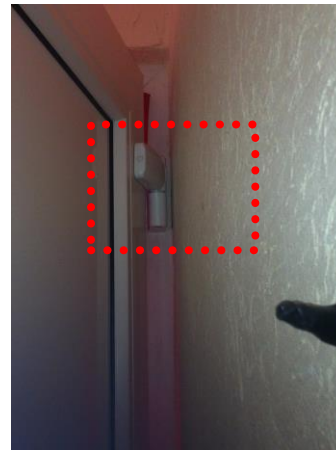


Imagen 26.- Sellado interior insuficiente.

#### d. Análisis de los resultados

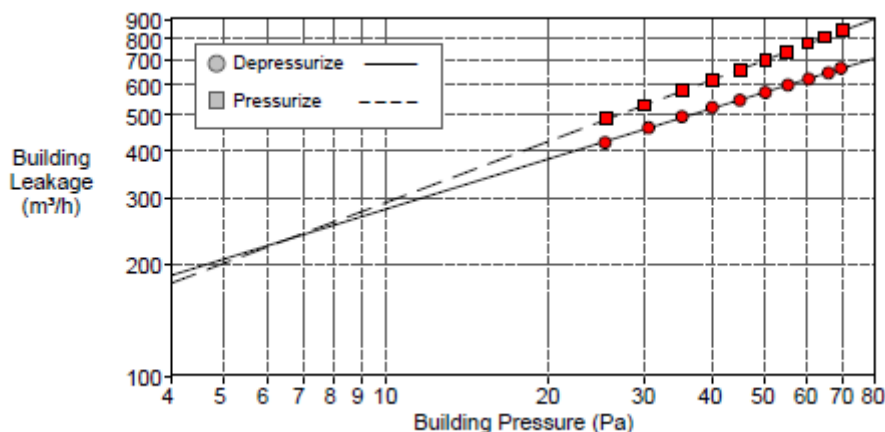
Para establecer un parámetro claro de comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de estanqueidad, se realizó un ensayo a una vivienda de referencia, Línea Base, vivienda construida habitualmente por la Desarrolladora Inmobiliaria HERSO HOGARES.

La vivienda, Línea Base, ensayada no incorpora ninguna de las eco-tecnologías que incorporan las viviendas del Proyecto Piloto Nama. Es muy importante reseñar el tipo de carpintería usado en la línea base; carpintería de aluminio de 1 vidrio corredera y puerta de acceso a patio de acero laminado en frío, ambas sin cierre hermético.

Los resultados obtenidos en el ensayo de estanqueidad de la Línea Base fueron muy superiores a los obtenidos en las viviendas del Proyecto Piloto Nama.

Resultados de los ensayos de la vivienda Línea Base.

	Depressurization	Pressurization	Average
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	573 (+/- 0.1 %)	698 (+/- 0.1 %)	635
n50: Air Changes per Hour (1/h)	5.27	6.43	5.85
w50: m³/(h·m² Floor Area)	12.92	15.75	14.33
q50: m³/(h·m² Surface Area)	3.11	3.80	3.45
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	312.3 (+/- 0.7 %)	325.5 (+/- 0.7 %)	318.9
cm²/m² Surface Area	1.70	1.77	1.73
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	200.4 (+/- 1.1 %)	191.0 (+/- 1.1 %)	195.7
cm²/m² Surface Area	1.09	1.04	1.06
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	100.1 (+/- 1.7 %)	83.7 (+/- 1.6 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	100.5 (+/- 1.7 %)	83.7 (+/- 1.6 %)	
Exponent (n)	0.445 (+/- 0.004)	0.542 (+/- 0.004)	
Correlation Coefficient	0.99963	0.99977	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with: UNE 13829	
Type of Test Method:	B		



Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-0.6	n/a				
-89.6	88.5	667	665	0.3	Ring B
-86.0	84.7	648	646	-0.1	Ring B
-80.7	59.9	624	622	-0.2	Ring B
-55.6	55.7	602	600	0.1	Ring B
-50.5	50.8	575	573	-0.2	Ring B
-45.3	46.1	548	546	-0.1	Ring B
-40.3	42.2	524	523	0.7	Ring B
-35.5	37.5	495	493	0.6	Ring B
-30.8	32.7	462	461	0.2	Ring B
-25.6	27.2	422	421	-0.7	Ring B
0.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.6 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.1

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
69.6	108.0	836	839	0.5	Ring B
64.7	99.1	801	804	0.2	Ring B
60.0	92.0	772	775	0.6	Ring B
54.9	82.5	732	734	0.1	Ring B
50.2	74.5	695	698	-0.2	Ring B
45.1	66.2	656	658	-0.2	Ring B
39.9	58.1	615	617	-0.0	Ring B
35.1	51.3	578	580	0.7	Ring B
29.8	42.7	527	529	0.4	Ring B
25.3	36.2	486	488	1.2	Ring B
-0.4	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.0 p01+ = 0.1 p02- = -0.4 p02+ = 0.0

El valor medio obtenido en el ensayo, realizando ambos test de presurización y despresurización, arrojo un valor  $n_{50} = 5.85 \text{ h}^{-1}$  (número de renovaciones del volumen interior de aire neto de la vivienda)

Los ensayos de la muestra ensayada de los Prototipos del Proyecto Nama, nos indica que todas las viviendas ensayadas obtuvieron un resultado similar:

Edificio	Vivienda	Ensayo Final		
		Depresión	Presión	Media
1	1	0,38	0,36	0,37
1	5	0,36	0,34	0,35
1	9	0,36	0,37	0,37
2	1	0,33	0,33	0,33
2	5	0,32	0,30	0,31
2	9	0,36	0,33	0,34
3	2	0,24	0,22	0,23
3	6	0,29	0,25	0,27
3	10	0,41	0,33	0,37
	Línea base	5,27	6,43	5,85

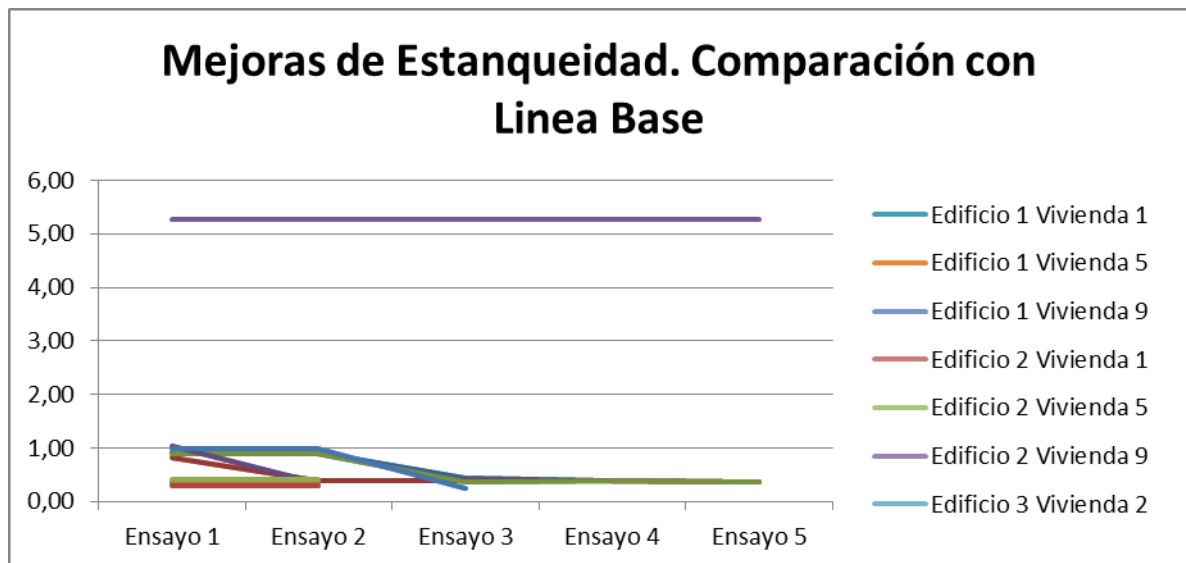
Podemos establecer una media entre todas las mediciones realizadas:

Media		
Depresión	Presión	Media
0,34	0,31	0,33

Los resultados de los ensayos han sido muy similares, obteniendo el resultado más favorable en la vivienda 2 del Edificio 2 y obteniendo el más desfavorable en la vivienda 10 del Edificio 3.

La diferencia de estanqueidad al aire entre las viviendas del Proyecto Piloto Nama y la Línea Base, se encuentra fundamentalmente en la calidad de las carpinterías abatibles de PVC, y el cuidado del sellado de las instalaciones.

La mejora de estanqueidad de la muestra ensayada con la línea base, supone un incremento de la estanqueidad de  $5,52 \text{ h}^{-1}$  (número de renovaciones de aire a la hora de la vivienda a una diferencia de presión de 50 Pa).



Esto supone una mejora en la eficiencia energética de las viviendas y sobre todo un avance importante en el sistema constructivo, debido al cuidado en el detalle de las soluciones constructivas y su ejecución en obra.

El aumento de la calidad de las carpinterías y el sellado de instalaciones ha sido la mejora cualitativa en cuanto a la estanqueidad de estas viviendas.

En la imagen 27 se pueden observar algunas deficiencias en el sistema constructivo convencional, se observan diferencias de temperaturas en la fachada de hormigón (concreto), así como problemas de infiltración de aire (perdidas energéticas) por las carpinterías de fachada. Se observa igualmente puentes térmicos dentro de la fachada de hormigón, por diferencias de temperaturas en la masa de concreto (inercia térmica material).

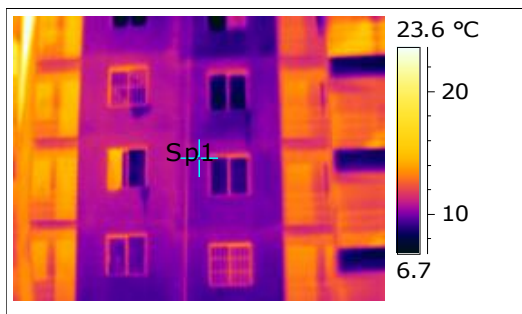


Imagen 27.- Edificio de viviendas línea base

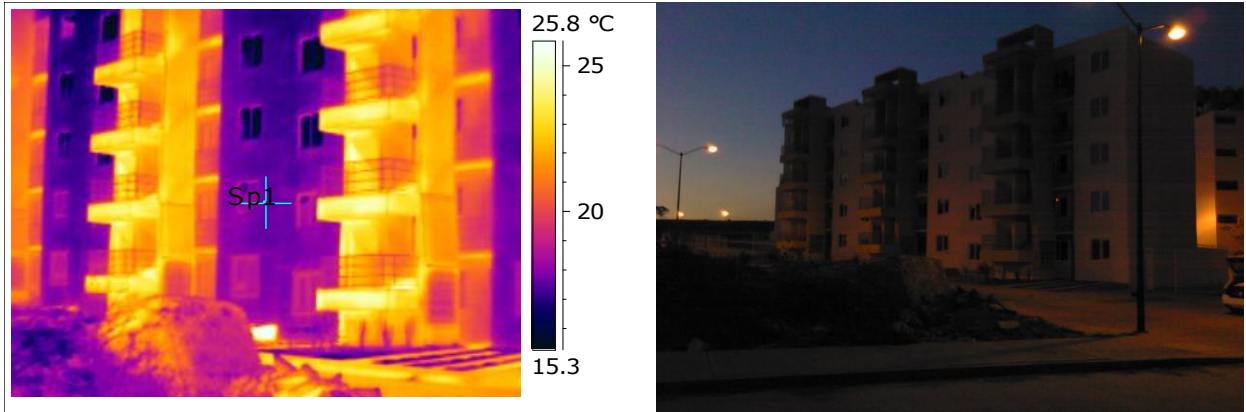


Imagen 28.- Edificio del Proyecto Piloto Nama

En la imagen 28 se aprecia una mayor calidad térmica de la envolvente, no observándose puentes térmicos importantes en la envolvente del edificio. Cabe destacar que los techos y suelos de los pasillos de entrada a las viviendas (zona de escaleras) no están aislados, y por lo tanto se producen puentes térmicos lineales en los encuentros de la zona aislada y la zona sin aislar.

Es de destacar que aunque que el avance en el sistema constructivo ha sido importante, hay posibilidad de mejora en cuestiones como los puentes térmicos descritos en el párrafo anterior. De especial importancia es la formación (capacitación) a Profesionales del sector de la construcción en la ejecución de distintas soluciones constructivas, por ejemplo:

- Colocación de aislamientos. Las uniones entre los bloques de aislamiento térmico exterior de poliestireno expandido deben ser selladas con materiales de baja conductividad, estos materiales deberán ser material fáciles de encontrar en el mercado local, por ejemplo espuma de poliuretano.

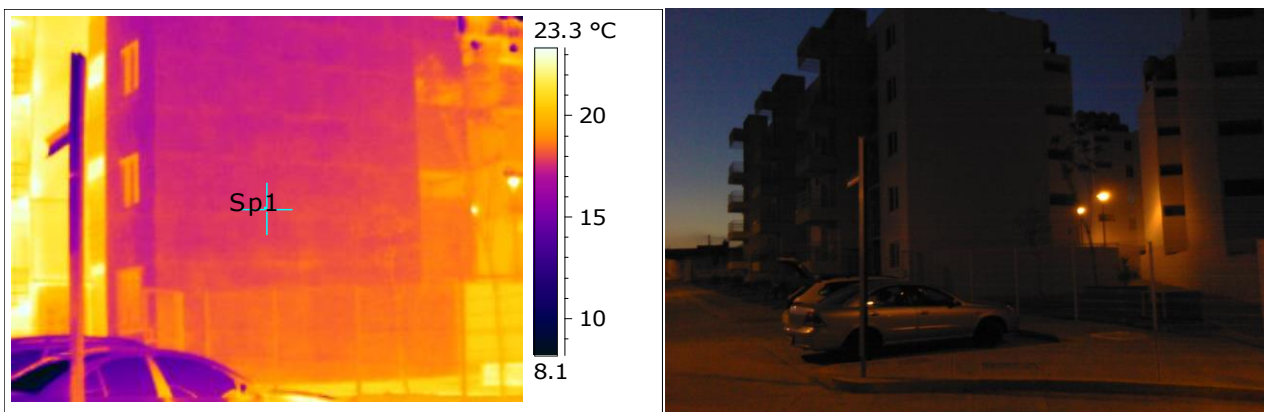


Imagen 29.- Fachada de Edificio Proyecto Piloto Nama



En la imagen 29 se observan los bloques de aislamiento térmico y las uniones sin sellar con material aislante.

- Colocación de las carpinterías de PVC. Las carpinterías de PVC por prescripción del fabricante se colocan de manera flotante, dejando una separación de aproximadamente 1,5 cm muro de fachada. Este tipo de unión permite la dilatación del material de la carpintería PVC, muy distinto al material del muro de fachada.



Imagen 30.- Colocación de carpintería de PVC

## 5. Bibliografía

- NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros. Marzo 2013.
- Air – Tightness of US Dwelling. Max Sherman. Darryl Dickerhoff
- Air Tightness of New U.S. Houses. A Preliminary Report. Max H. Sherman. Nance E Matson.
- The ISOVER System for Airtightness and Moisture Protection.
- A Proposed Test Procedure for Separating Exterior Envelope Air Leakage from Interior Partition Air Leakage. Garry Proskiw, P.Eng, Member ASHRAE. Anil Parekh, P. Eng.
- Jokisalo. Estudio del clima, las condiciones del viento, el balance del sistema de ventilación y la distribución de las fugas.
- Mattsson B. Influencia de la velocidad del viento, el terreno y el sistema de ventilación utilizado.
- Chan. Estudio y mediciones sobre los factores más importantes sobre estanqueidad al aire de, año de construcción y el área de suelo útil.
- Kalamees. Trabajo de investigación, sobre el hermetismo de la vivienda.
- Passivhaus Institut.
- Presentación Proyecto Piloto Nama vivienda nueva. GIZ.
- “ Ventanas y Productos Arquitectónicos para el cerramiento exterior de Fachadas, Clasificaciones y especificaciones”. PROYECTO DE NORMA MEXICANA PROY-NMX-R-060-2013.
- EN 13829.
- Blower Door Testing. David Keefe.
- Proyecto Arquitectónico Morelia (HERSO HOGARES), Proyecto Piloto Nama Vivienda México.
- Cálculos PHPP Proyecto Piloto Nama Vivienda México.
- Web consultadas:
  - <http://www.airbarrier.org>
  - <http://www.attma.org/>



## Anexo 1. Certificados de Ensayos

**Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40  
53113 Bonn/ Alemania  
Telefon: +49 228 44 60-0  
Fax: +49 228 4460-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn/ Alemania  
Telefon: +49 6196 79-0  
Fax: +49 6196 79-11 15  
E [info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

**Agencia de la GIZ en México**  
Torre Hemicor, PH  
Av. Insurgentes Sur No. 826  
Col. Del Valle  
C.P. 03100, México D.F.  
T +52 55 55 36 23 44  
E [giz-mexiko@giz.de](mailto:giz-mexiko@giz.de)  
I [www.giz.de/mexico](http://www.giz.de/mexico)

---

---