

NAMA VIVIENDA NUEVA

Ejecución de pruebas de estanqueidad para viviendas energéticamente eficientes. Prototipos de Hermosillo





Programa NAMA Mexicano-Alemán
Componente Vivienda



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

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



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 Hermosillo.....	22
i. Sistema constructivo.....	25
ii. Superficies y volúmenes.....	32
4. Ejecución de ensayos de estanqueidad en Hermosillo.....	33
a. Equipos para la realización de los Ensayos.....	33
b. Resumen de ensayos realizados.....	35
c. Elementos influyentes en la estanqueidad de las viviendas de Hermosillo y correcciones realizadas.....	39
d. Análisis de los resultados.....	52
5. Bibliografía.....	65
Anexo I. Certificados ensayos.....	66

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/).

“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)

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 m³/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 ³ / h / m ²)
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.

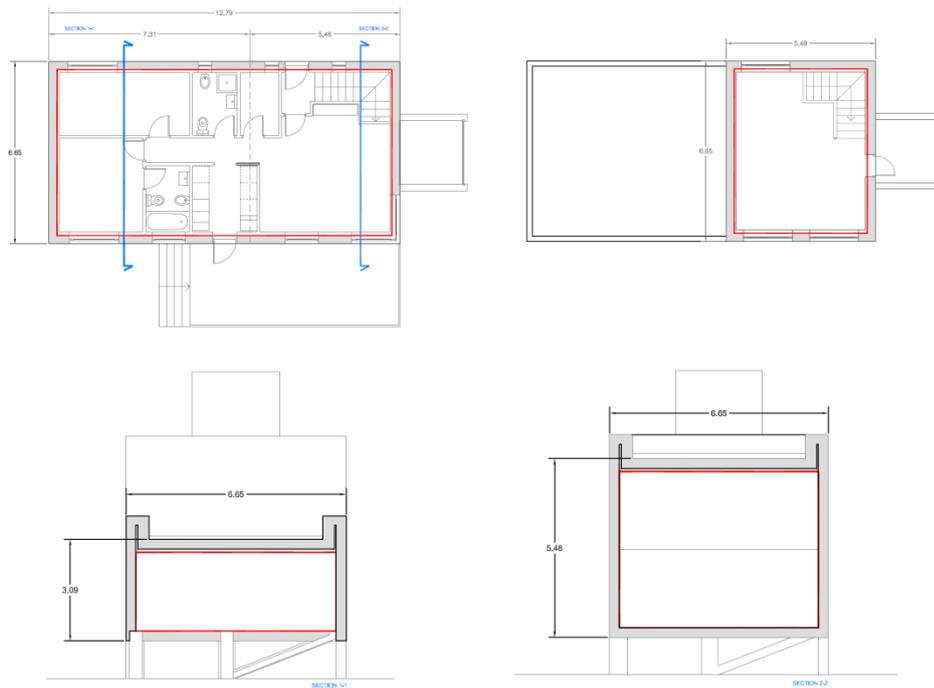


Imagen 1.- Ejemplo de definición de capa de hermeticidad (línea roja). Fuente: Antonio Peláez Ortega.

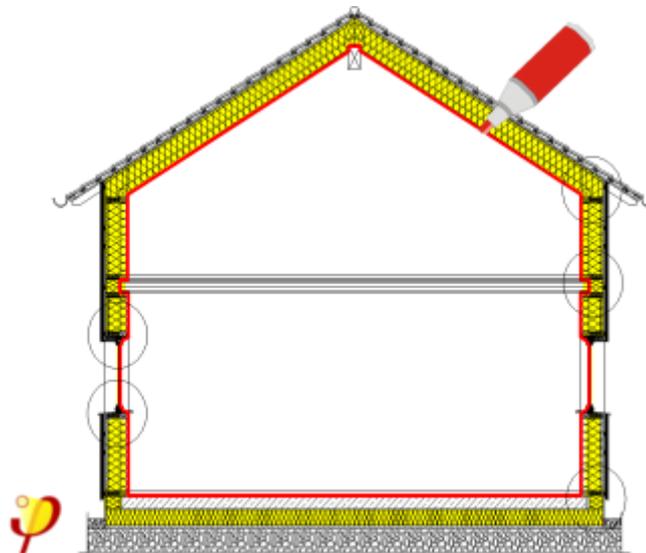


Imagen 2.- Ejemplo de definición de capa de hermeticidad (línea roja). Fuente: Passivhaus Institut.

- **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:

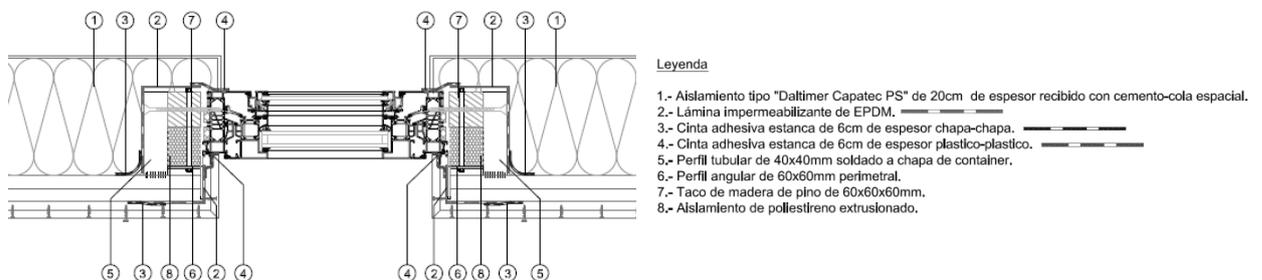
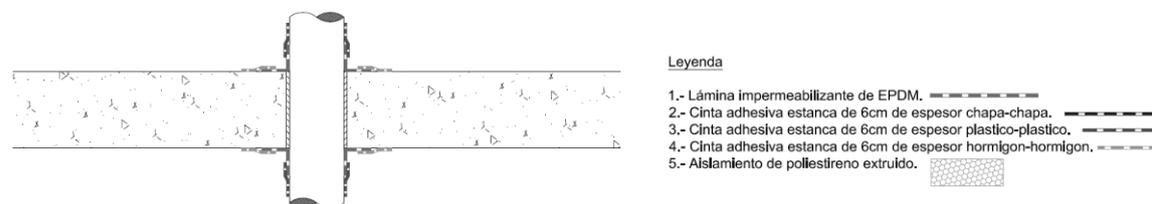


Imagen 3.- Detalle de estanqueidad, unión de ventana con fachada (corte horizontal) . Fuente: Antonio Peláez Ortega.



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.

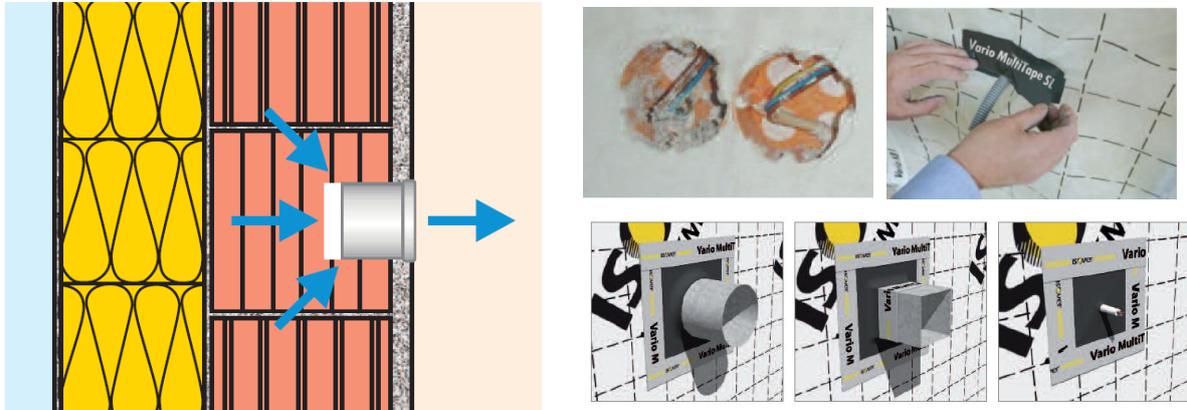


Imagen 5.- Detalle de estanqueidad, paso de instalaciones. Fuente: Isover.

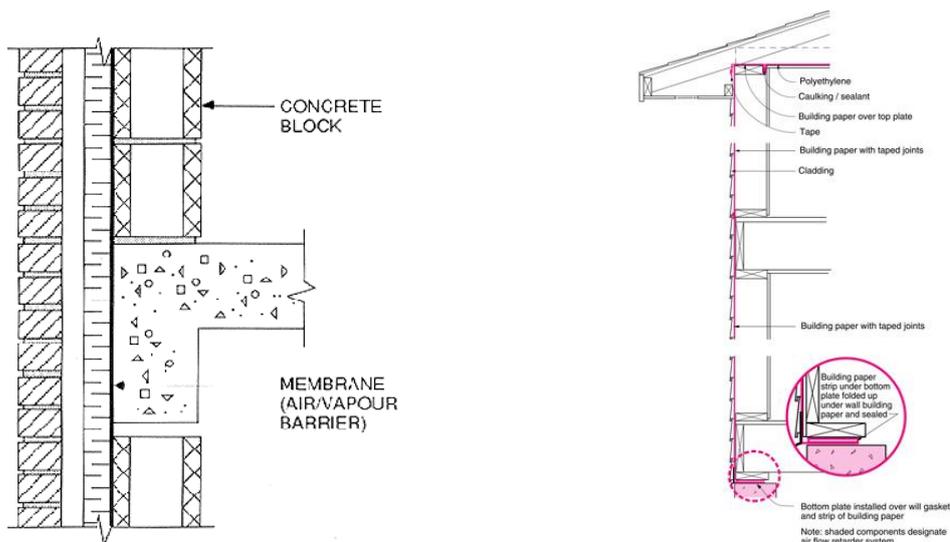


Imagen 6.- Detalle de estanqueidad tipo de distintos sistemas constructivos.

“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 ΔP_{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 ΔP_{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 ΔP_{01} , para un periodo de al menos 30 segundos.

Repetir este proceso al final del ensayo (para obtener ΔP_{02+} , ΔP_{02-} y ΔP_{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 ΔP_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^3/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 ΔP_{01+} , ΔP_{01-} , ΔP_{02+} , ΔP_{02-} , ΔP_{01} y ΔP_{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 Hermosillo.

Prototipos de Hermosillo.

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) para la vivienda tipo de 76 m² Eco Casa Max. La única variación que se realiza en los cálculos es la tasa de infiltración de aire, valores n50 y v50.

Resultados de los cálculos energéticos originales. Valor n50 según planificación, n50= 0,60 h⁻¹.

Specific building demands with reference to the treated floor area		use: Monthly method		
	Treated floor area	57,1 m ²	Requirements	Fulfilled?*
Space heating	Annual heating demand	0 kWh/(m ² a) 4 kWh/a	15 kWh/(m ² a)	yes
	Heating load	10 W/m ² 584 W	10 W/m ²	yes
	Overall specific space cooling demand	53,56 kWh/(m ² a)	35 kWh/(m ² a)	no
Space cooling	Cooling load	18 W/m ² 1056 W 3605 BTU	10 W/m ²	no
	Frequency of overheating (> 25 °C)	90 %	-	-
	Primary Energy	Space heating and cooling, dehumidification, household electricity	192 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)
DHW, space heating and auxiliary electricity		91 kWh/(m ² a)	-	-
Specific primary energy reduction through solar electricity		kWh/(m ² a)	-	-
Total Emissions CO2-Equivalent		47 kg/(m ² a) 2674 kg/a		
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	0,6 1/h	0,6 1/h	yes

Resultados de los cálculos energéticos modificados. Valor n50 modificado, n50= 5,5 h⁻¹.

Specific building demands with reference to the treated floor area		use: Monthly method	
	Treated floor area	57,1 m ²	
Space heating	Annual heating demand	7 kWh/(m ² a) 15 kWh/a	Requirements: 15 kWh/(m ² a) Fulfilled?* yes
	Heating load	61 W/m ² 3465 W	10 W/m ² -
	Overall specific space cooling demand	123,70 kWh/(m ² a)	35 kWh/(m ² a) no
Space cooling	Cooling load	37 W/m ² 2131 W 7277 BTU	10 W/m ² no
	Frequency of overheating (> 25 °C)	57 %	- -
	Primary Energy	Space heating and cooling, dehumidification, household electricity.	262 kWh/(m ² a)
DHW, space heating and auxiliary electricity		109 kWh/(m ² a)	- -
Specific primary energy reduction through solar electricity		kWh/(m ² a)	- -
Total Emissions CO2-Equivalent		65 kg/(m ² a) 3728 kg/a	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	5,5 1/h	0,6 1/h no

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

El comportamiento energético de la vivienda cambia drásticamente variando la tasa de infiltración, cierto es que una vivienda con las prestaciones de aislamiento de Eco Casa Max, tendrá una envolvente menos permeable al aire que los valores que se introducen en las modificaciones del cálculo. Este ejercicio se realiza para estudiar los incrementos de consumo.

	Vivienda Calculada Proyecto	Vivienda Alta Tasa Estanqueidad	Aumento de Consumo Energético
Space heating	Annual heating demand	0 kWh/(m ² a) 4 kWh/a	7 kWh/(m ² a) 15 kWh/a
	Heating load	10 W/m ² 584 W	61 W/m ² 3465 W
Space cooling	Overall specific space cooling demand	53,56 kWh/(m ² a)	123,70 kWh/(m ² a)
	Cooling load	18 W/m ² 1056 W 3605 BTU	37 W/m ² 2131 W 7277 BTU
	Frequency of overheating (> 25 °C)	90 %	57 %
Primary Energy	Space heating and cooling, dehumidification, DHW, household Auxiliary Electricity and electricity.	192 kWh/(m ² a)	262 kWh/(m ² a)
	DHW, space heating and auxiliary electricity	91 kWh/(m ² a)	109 kWh/(m ² a)
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Total Emissions CO2-Equivalent		47 kg/(m ² a) 2674 kg/a	65 kg/(m ² a) 3728 kg/a
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	0,6 1/h	5,5 1/h

De la tabla anterior para climas extremos, como el de Hermosillo, se deduce lo siguiente:

- Una vivienda con buena envolvente térmica y estanca al aire ($n_{50}= 0.60 \text{ h}^{-1}$), pensada para que ahorre energía no necesita calefacción.
- Una vivienda con buena envolvente térmica y mala envolvente estanca ($n_{50}=5.50 \text{ h}^{-1}$), necesita calefacción para garantizar a las condiciones de confort interior.
- Una vivienda con buena envolvente térmica y mala envolvente estanca ($n_{50}=5.50 \text{ h}^{-1}$), aumenta 2,30 veces su consumo en refrigeración (aire acondicionado) para garantizar las condiciones de confort interior.

Tras el análisis de resultados se concluye que existe un aumento muy importante del consumo de energía de la edificación, aumentando las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

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 un grado de conocimiento del sistema constructivo a analizar.

a. Viviendas prototipo en Hermosillo

Se realizarán ensayos en un conjunto edificado de 25 viviendas, desarrolladas por DEREK en Hermosillo (Estado de Sonora) Fraccionamiento de Buena Vista. La tipología del conjunto residencial es unifamiliar, pareado y aislado. Existen dos viviendas tipo en función de la superficie construida; 76 m² y 46 m².



Imagen 7.- Fotografías vivienda Nama 76 m².



Imagen 8.- Fotografías vivienda Nama 46 m².

En el proyecto hay variedad en las eco-tecnologías aplicadas, siendo la muestra de Eco Casa muy representativa. Estando presente Eco Casa 2 y Eco Casa Max. La calificación de las 25 viviendas prototipo es la siguiente:

Unidades	Superficie m2	Calificación Eco Casa	Tipología
4	76,00	Eco Casa Max I	Pareada
4	76,00	Eco Casa Max II	Pareada
6	76,00	Eco Casa 2.1	Pareada
6	76,00	Eco Casa 2.2	Pareada
1	46,00	Eco Casa 2.1	Aislada
2	46,00	Eco Casa 2.2	Pareada
2	46,00	Eco Casa 2.3	Pareada

Con los ensayos se pretende tener una muestra representativa del grado de estanqueidad del conjunto edificado, se ensayan 8 viviendas del Proyecto Prototipo Nama, representando el 32% del total de viviendas construidas. Se ensayan vivienda pareadas de 76 m2 y 46 m2, y una vivienda aislada de 46 m2.

Para establecer cuál ha sido la mejora en estanqueidad en las viviendas Prototipo Nama, se ensayarán dos viviendas Línea Base una de 76 m2 y otra de 46 m2 (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 dos viviendas pareadas Eco Casa Max I de 76 m2 construidos, dos viviendas pareadas Eco Casa 2.2 de 76 m2 construidos, dos viviendas pareadas Eco Casa 2.1 de 76 m2, una vivienda aislada de 46 m2 Eco Casa 2.1 y una vivienda pareada de 46 m2 construidos Eco Casa 2.2, además de las viviendas Línea Base de 76 m2 y 46 m2 construidos. El ensayo en la Línea Base de 46 m2 se realizó en otro Fraccionamiento distinto al de las viviendas Nama, al no disponer en el Fraccionamiento de Buena Vista de una vivienda Línea Base de 46 m2. En ensayo de la Línea Base de 46 m2 se realizó en el Fraccionamiento de Romanza sita en Hermosillo (Estado de Sonora), construido igualmente por DEREX.

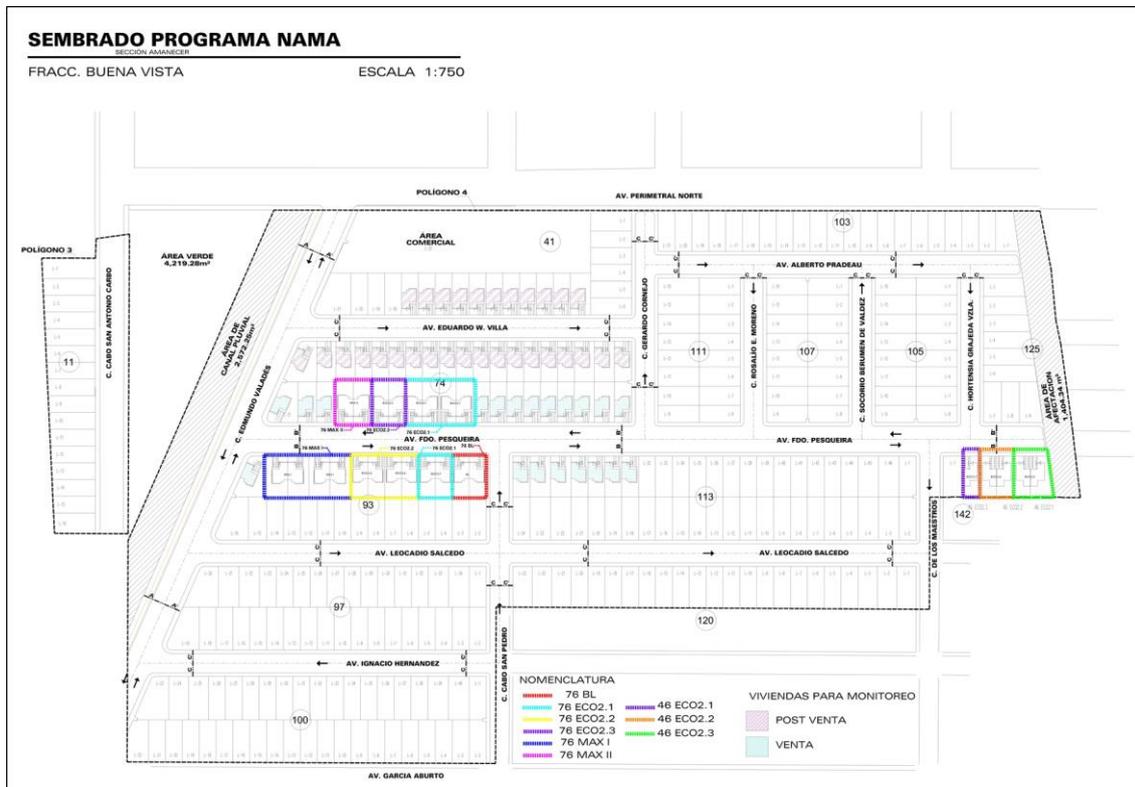


Imagen 8.- Sembrado general con indicación de las viviendas del Proyecto Nama.

Viviendas ensayadas:

Numero Vivienda	Superficie m2	Calificación Eco Casa	Tipología
1488	76,00	Eco Casa Max I	Pareada
1486	76,00	Eco Casa Max I	Pareada
1484	76,00	Eco Casa 2.2	Pareada
1482	76,00	Eco Casa 2.2	Pareada
1476	76,00	Eco Casa 2.1	Pareada
1474	76,00	Eco Casa 2.1	Pareada
1418	46,00	Eco Casa 2.2	Aislada
1416	46,00	Eco Casa 2.2	Pareada
1472	76,00	Línea Base	Pareada
Romanza	46,00	Línea Base	Aislada

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 DEREK, 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 DEREK 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 mediante bloque hormigón prefabricado, losas de hormigón armado y forjados (entrepisos y losas de azoteas).

El procedimiento de ejecución fue el siguiente:

- Excavación y nivelación del terreno.
- Ejecución de instalaciones enterradas.
- Ejecución de cimentación de hormigón armado (concreto armado), 8 cm de espesor, incluso colocación de esperas de acero para el armado de las fábricas de bloque y su conexión a la cimentación.
- Ejecución de fábricas de bloque de hormigón prefabricado, incluso castillos de hormigón (concreto) armado.
- Colocación de canalizaciones de electricidad, telecomunicaciones, sin inclusión de conductores.
- Ejecución de entrepisos y losas de azotea (forjados). El sistema constructivo se basa en cadenas de acero perimetrales (zunchos perimetrales), sobre todas las fábricas de

bloque, viguetas pretensadas de concreto prefabricado y bovedillas de poliestireno expandido.

- Colocación de tuberías de fontanería y saneamiento (drenajes).
- Colocación de Aislamientos y carpinterías
- Terminaciones interiores y exteriores.
- Instalación de canalizaciones de gas.

El sistema constructivo usado es el tradicional de la zona para las viviendas de interés social, siendo un sistema muy optimizado y con facilidades de variación en la producción de viviendas.

El sistema constructivo posee potencialmente puntos débiles ante las filtraciones de aire, debido al gran número de uniones entre distintos materiales constructivos.

A continuación se muestran imágenes del proceso constructivo convencional de DEREX para vivienda social, mediante el sistema constructivo de bloques de hormigón prefabricado, que permitirán ver las diferencias constructivas con los Pilotos Nama.



Imagen 9.- Remate de unión de losa de cubierta con muro de fachada.



Imagen 10.- Unión en esquina de muros.



Imagen 11.- Recibido de base de contactos.



Imagen 12.- Unión en esquina de muros y losa.



Imagen 13.- Paso y recibido de instalaciones de fontanería.



Imagen 14.- Cuadro de Mando y Protección Eléctrica .



Imagen 15.- Unión de muro con losa de cimentación.



Imagen 16.- Ejecución de losa de azotea. Vista interior .



Imagen 17.- Vista interior de losa azotea .



Imagen 18.- Vista interior de tubo para paso de instalación de aire acondicionado.



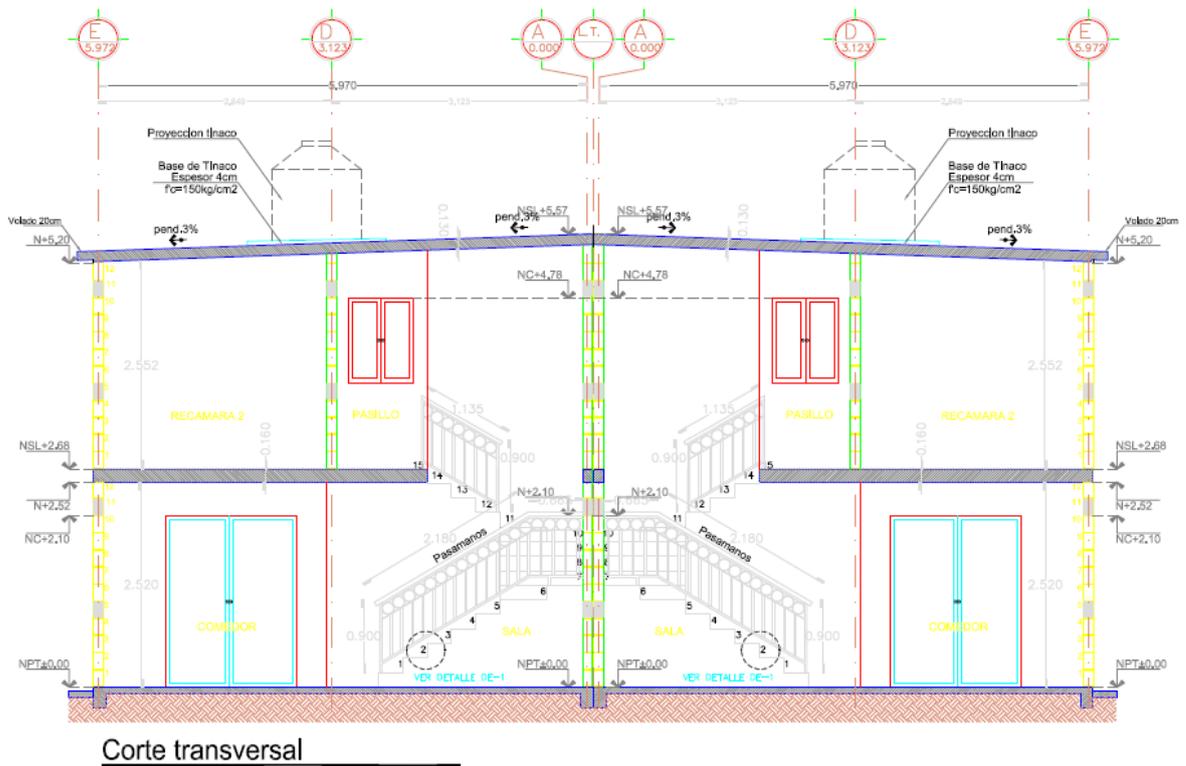
Imagen 19.- Interrupción de muro de para colocación de tubo de paso de instalación de aire acondicionado.



Imagen 20.- Saneamiento enterrado.



Imagen 21.- Paso y recibido de tuberías saneamiento.



Corte transversal

Imagen 22.- Corte transversal de viviendas pareadas

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

Hogar familiar 46 m² en Hermosillo			
	Línea Base	EC 2.1	EC 2.3
Tipo	aislada	duplex	duplex
Medidas pasivas			
Muro	block de concreto	block de concreto	block de cerámica
Aislamiento en muro	no	25mm/0,04	25mm/0,04
Losa	vigueta y bovedilla	vigueta de bovedilla	vigueta y bovedilla
Aislamiento en losa	no	25mm/0,04	25mm/0,04
Firme	concreto reforzado	concreto reforzado	concreto reforzado
Aislamiento en firme	no	no	no
Ventanas	corredizas de aluminio	PVC 1,8	PVC 1,8
Tipo de Vidrio	sencillo	doble 2,7	doble 2,7
Tipo de Puerta	multipanel/aluminio	mejoradas+hermeticidad	mejoradas+hermeticidad
Sombreamiento	no	mallasombra al exterior	mallasombra al exterior
Medidas activas			
Aire acondicionado	no	Si (1x)	Si (1x)
Ventilación	no	no	no
Tuberías	coladas en muro	aisladas	aisladas
Sistema de Agua Caliente	boiler de gas	boiler de gas	boiler de gas
Sist. Solar de Agua Caliente	no	no	no
Calefacción	no/puede ser eléctrico	no/puede ser eléctrico	no/puede ser eléctrico
Nivel de hermeticidad	no	<1,5	<1,5

PROTOTIPO			MUROS DE BLOCK			CANCELERIA		CRISTAL EN VENTANAS		PUERTAS	VENTILACION	MALLA SOMBR	AISLAMIENTO TERMICO		EQ. AIRE 1 Ton.		EQ. AIRE 2 Ton	MONITOREO	AISLAMIENTO TUBERIA AC
M	L	TIPO	CONCRETO	CERAMICO	HEBEL	ALUM	PVC	SENCILLO	DOBLE	PVC	RECUPERACION DE AIRE	BEA	25 MM	250MM	1 EQUIPO	2 EQUIPOS	1 EQUIPO		
BASE LINE 76 M2																			
93	1	BL	X			X		X				X						X	
93	28	BL	X			X		X				X						X	
ECO 46 M2																			
142	2	2,1	X				X		X	X		X	X		X			X	X
142	3	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
142	4	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
142	5	2,3		X			X		X	X		X	X		X			X	X
142	6	2,3		X			X		X	X		X	X		X			X	X
ECO 76 M2																			
93	26	2,1	X			X		X				X	X					X	X
93	27	2,1	X			X		X				X	X					X	X
74	11	2,1	X			X		X				X	X					X	X
74	12	2,1	X			X		X				X	X					X	X
74	13	2,1	X			X		X				X	X					X	X
74	14	2,1	X			X		X				X	X					X	X
93	22	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
93	23	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
93	24	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
93	25	2,2	X				X		X	X		X	X		X			X	X
74	15	2,3			X		X		X	X		X			X			X	X
74	16	2,3			X		X		X	X		X			X			X	X
MAX 76 M2																			
93	18	I	X				X		X	X	X	X		X		X	X	X	X
93	19	I	X				X		X	X	X	X		X		X	X	X	X
93	20	I	X				X		X	X	X	X		X		X	X	X	X
93	21	I	X				X		X	X	X	X		X		X	X	X	X
74	17	II			X		X		X	X	X	X			X	X		X	X
74	18	II			X		X		X	X	X	X			X	X		X	X

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:

ECO CASA MAX I, 76 M2

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	169,40
m2	Área neta útil	65,22
m1	Altura libre	2,52-2,65
m2	Superficie de envolvente	260,09

ECO CASA 2.1 y 2.2, 76 M2

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	169,40
m2	Área neta útil	65,22
m1	Altura libre	2,52-2,65
m2	Superficie de envolvente	231,58

ECO CASA 2.1 Y 2.2 46 M2

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	100,01
m2	Área neta útil	38,10
m1	Altura libre	2,52-2,73
m2	Superficie de envolvente	170,01

LINEA BASE, 76 M2

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	169,40
m2	Área neta útil	65,22
m1	Altura libre	2,52-2,65
m2	Superficie de envolvente	229,07

LINEA BASE 46 M2

Ud	Parámetro	Proyecto
m3	Volumen	100,01
m2	Área neta útil	38,10
m1	Altura libre	2,52-2,73
m2	Superficie de envolvente	169,49

4. Ejecución de ensayos de estanqueidad en Hermosillo.

Se comienza los ensayos el 9 de Diciembre de 2013, el orden en la realización de los ensayos en las viviendas y el objetivo es el siguiente:

Viviendas 76 m2 construidos.

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Eco Casa Max
$n_{50} \leq 0.60 \text{ h}^{-1}$ • N° 1488 • N° 1486 | <ul style="list-style-type: none"> - Eco Casa 2.2
$n_{50} \leq 1,50 \text{ h}^{-1}$ • N° 1484 • N° 1482 | <ul style="list-style-type: none"> - Eco Casa 2.1
$n_{50} \leq 1,50 \text{ h}^{-1}$ • N° 1476 • N° 1474 |
|---|---|---|

Viviendas 46 m2 construidos.

- Eco Casa 2.2
- N° 1416
- N° 1418

Línea Base. Vivienda 76 m2. N° 1472

Línea Base. Vivienda 46 m2. Romanza.

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 m³/h a 7,200 m³/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 23.- Equipo Blower Door. Fuente propia.



Imagen 24.- 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 25.- Lápiz Humo



Imagen 26.- Cámara Termográfica

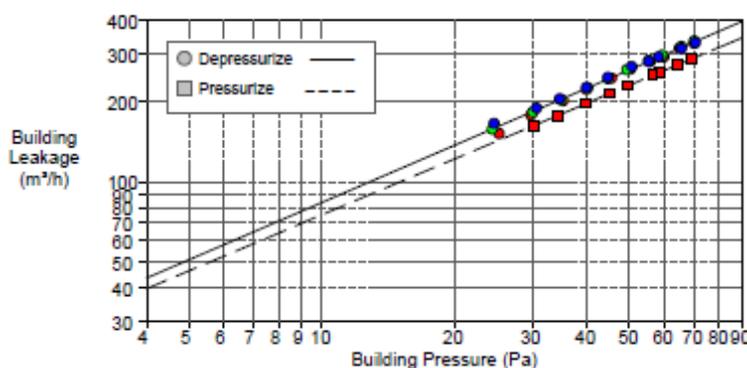
b. Resumen de ensayos realizados

Previo a la realización final de los ensayos, se procedió a examinar exhaustivamente la primera vivienda, Eco Casa Max (1488). Con el fin de conocer cuáles eran los puntos débiles de las viviendas, determinar que materiales de construcción se necesitarían para ejecutar las mejoras en estanqueidad. El primer ensayo realizado arrojó una tasa de infiltración al aire $n_{50}=1,45 \text{ h}^{-1}$, se realizó el test de despresurización y presurización, con el fin de determinar las filtraciones.

Los resultados del primer ensayo a despresurización y presurización fueron los siguientes:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	262 (+/- 0.2 %)	230 (+/- 0.2 %)	246
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.55	1.36	1.45
w50: m ³ /(h·m ² Floor Area)	4.02	3.52	3.77
q50: m ³ /(h·m ² Surface Area)	1.01	0.88	0.95
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	93.2 (+/- 1.5 %)	83.8 (+/- 1.1 %)	88.5
cm ² /m ² Surface Area	0.36	0.32	0.34
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	46.9 (+/- 2.2 %)	42.8 (+/- 1.7 %)	44.8
cm ² /m ² Surface Area	0.18	0.16	0.17
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	16.3 (+/- 3.4 %)	15.2 (+/- 2.6 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	16.2 (+/- 3.4 %)	15.2 (+/- 2.6 %)	
Exponent (n)	0.711 (+/- 0.009)	0.694 (+/- 0.007)	
Correlation Coefficient	0.99790	0.99968	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with: UNE 13829	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 3 Minneapolis Blower Door		

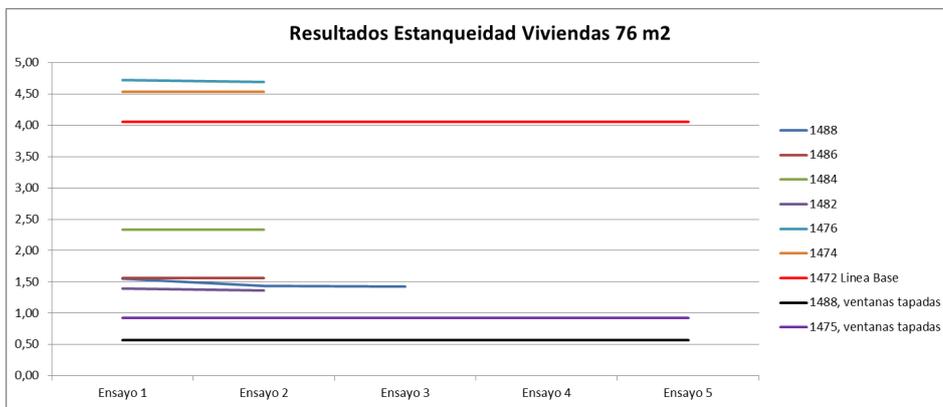
Inside Temperature:	21 °C	Volume:	169 m ³
Outside Temperature:	23 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	65 m ²
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	NONEN	Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:	NONEN		
Type of Ventilation:	None		



Gracias a este ensayo los operarios de DEREJ 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 los puntos en los que las actuaciones a realizar eran no destructivas.

En el gráfico siguiente podemos observar que las mejoras fueron mínimas, debido a las carpinterías de PVC con sistema corredero y de guillotina (que analizaremos más adelante).

Viviendas Nama 76 m2:



Viviendas Nama 46 m2:



El sistema constructivo usado, mediante bloque de hormigón está basado en un material permeable al aire, tanto el propio material en sí como en su sistema de colocación, dejando numerosos puntos débiles en la edificación.

Por lo que las soluciones constructivas para evitar las infiltraciones por estos puntos débiles debieron haberse estudiado durante la redacción del proyecto, tal y como se ha descrito en puntos anteriores. En los próximos apartados se hará referencia a los puntos débiles y a las filtraciones encontradas.



Imagen 27.- Ensayo para comprobar la permeabilidad al aire de las fabricas de bloque.

Tras el análisis de los resultados y pruebas complementarias podremos comprobar que la principal fuente de filtración son las carpinterías de PVC, debido a un sistema que no permite un cierre estanco.



Imagen 28.- Sistema carpintería PVC guillotina.



Imagen 29.- Uniones interiores carpintería.



Imagen 30.- Carpintería corredera.

En la tabla de resultados se reflejan los resultados de los ensayos realizados durante 5 días de medición.

Vivienda	Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3			Ensayo 4		
	Depresión	Presión	Media									
1488	1,55	1,36	1,45	1,44	1,36	1,40	1,43	1,36	1,39			
1488, ventanas tapadas										0,57		
1486	1,56			1,56	1,21	1,39						
1484	2,33			2,33	1,66	2,00						
1482	1,39			1,36	1,20	1,28						
1476	4,72	4,31	4,51	4,69	4,19	4,44						
1474	4,54	4,08	4,31									
1472 Línea Base	4,06			3,83	3,37	3,60						
1475, ventanas tapadas	3,54			3,00	0,92	1,96						
1418	1,04			1,04	0,90	0,97						
1416	0,98	0,89	0,93									
Línea Base Romanza	9,35	7,92	8,64									

	Resultado Final
	Resultado provisional
	Línea Base

Nota.- En el primer día de ensayos 09/12/2013, el fuerte viento racheado dificultó los ensayos en la vivienda 1488 Eco Casa Max I.

c. Elementos influyentes en la estanqueidad de las viviendas de Hermosillo 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 la chimenea 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 Hermosillo analizamos los lugares típicos de filtración y su solución constructiva:

- Empalme del techo/suelo con el muro exterior. El sistema constructivo basado en bloque de hormigón prefabricado, presenta posibles entradas de aire a través de las uniones.

Se encontraron problemas de filtraciones en las uniones anteriormente descritas, como ya se ha citado no son la causa principal de infiltración pero si detalles a tener en cuenta para mejorar el sistema de ejecución de soluciones frente a las infiltraciones de aire.

En las imágenes 31 y 32 podemos observar la línea azul intensa perimetral en el encuentro del muro de bloque con el forjado de cubierta (losa de cubierta), la infiltración es debida a un cambio en el sistema constructivo, respecto a la vivienda convencional.

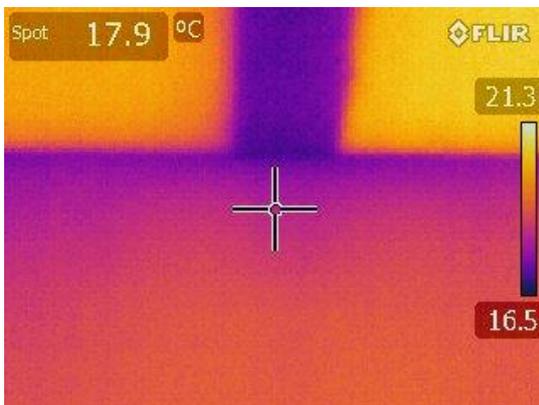


Imagen 31.- Infiltraciones por unión de fábrica de bloque y entepiso (techo de planta baja).

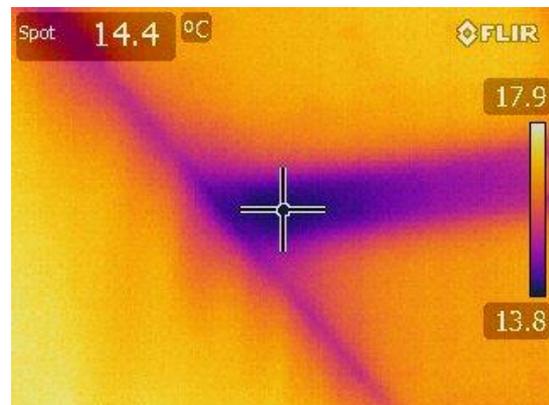


Imagen 32.- Infiltraciones en unión de muro y losa.



Imagen 33.- Remate entre bloque y losa del sistema constructivo convencional.



Imagen 34.- Solución constructiva para la colocación de aislamiento térmico exterior.

El cambio en la solución constructiva entre las viviendas Nama y las convencionales permite en el remate de losas con muros, con mayor facilidad, la entrada de aire en el encuentro de los elementos constructivos.

En las viviendas Nama no se procedió a rematar la unión entre los forjados (losas) y los muros de bloque, mientras que en las viviendas convencionales si se hizo.



Imagen 35.- Unión entre muro y losa de azotea
Vista interior.



Imagen 36.- Unión entre muro y losa de azotea
vista interior.



Imagen 37.- Infiltración encuentro losa cimentación
y muro de fachada.



Imagen 38.- Infiltración encuentro losa cimentación
y muro de fachada.

Las infiltraciones entre losa de cimentación y muro de fachada se deben a una falta de continuidad en los elementos constructivos, y en algunos casos al vuelo de la fábrica de bloque sobre la losa de cimentación.



Imagen 39.- Unión fría entre losa de cimentación y muro de bloque.

En la colocación de aislamientos se observa la falta de continuidad entre los bloques de material aislante, falta de continuidad entre el aislamiento de los muros y el de cimentación, falta de continuidad entre los aislamientos de cubierta. Todos estos encuentros generan tanto puentes térmicos como efectos chimenea en el plano entre el aislamiento y el muro de bloque.

Si tenemos en cuenta que el bloque de hormigón es un material permeable al aire, en que además existen numerosos cambios de material (mortero-bloque) y perforaciones, nos encontramos con filtraciones de aire por diversos puntos de la cara exterior del bloque. Este aire infiltrado circula por el interior de las celdas abiertas del bloque haciéndose presente la filtración de aire al interior en numerosos y pequeños puntos de filtración.



Imagen 40.- Falta de continuidad del aislante de muro.



Imagen 41.- Falta de continuidad en material aislante.



Imagen 42.- Falta de material aislante entre bloques de aislamiento, encuentro entre fachada y cimentación.



Imagen 43.- Falta de material aislante entre bloques de aislamiento entre fachada y cimentación.

La falta de sellado entre los bloques de aislamiento, genera dos efectos; puentes térmicos y efecto chimenea.

Estos efectos son más notables en las viviendas prototipo Eco Casa 2.2 y 2.1, debido al menor espesor de aislamiento en fachada y azotea. El aislamiento aunque no es un material estanco al aire si dificulta la entrada de aire a través de los bloques de poliestireno, en el caso que nos encontramos, Hermosillo, las filtraciones se producen por las uniones entre los bloques de aislamiento y los encuentros con las cimentaciones, ya sean aisladas en los casos de Eco Casa Max (aunque menores) o Eco Casa 2.2 y Eco Casa 2.1 (donde son más evidentes).

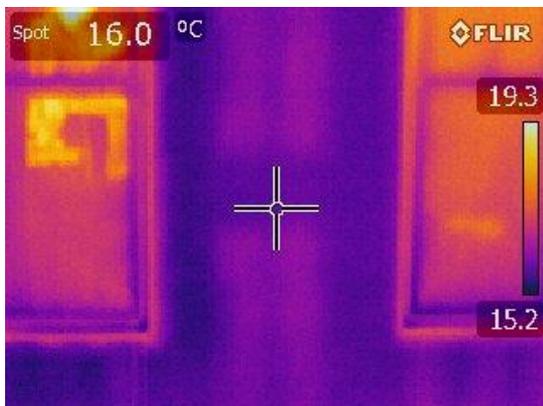


Imagen 44.- Efectos chimenea y puentes térmicos.



Imagen 45.- Efecto chimenea y puentes térmicos.

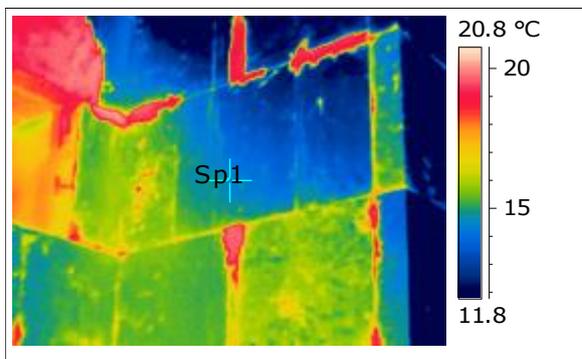


Imagen 46.- Falta de continuidad en el material aislante de fachada.



Una de las posibles soluciones para garantizar la continuidad en el material aislante de fachada, losas y cubiertas puede ser la inyección de espuma de poliuretano. La espuma de poliuretano es un material expansivo, que disminuirá el efecto del puente térmico entre bloques de aislamiento y mejorar la estanqueidad de la envolvente.

- Paso de las instalaciones eléctricas y de fontanería a través de la pared exterior.

Las instalaciones han sido trazadas aprovechando los huecos interiores de los bloques, las instalaciones que discurren desde el interior al exterior, han sido tapadas con mortero de cemento, existiendo puntos débiles en la unión de los distintos materiales.

En el caso de las fachadas de bloque. En la unión de bloque con morteros que debido a la retracción del mortero en su fraguado se crean fisuras por la que se posibilita la filtración de aire.

En el caso de las instalaciones que discurren del exterior al interior por cubierta (azotea) la unión entre los distintos elementos tales como mortero, concreto y poliestireno posibilitan las filtraciones.

En las tuberías para la preinstalación de aire acondicionado la solución en algunos casos fue dejar huecos en la fábrica de bloque. Tras la colocación del tubo de preinstalación encofrar y hormigonar con concreto, esta solución posibilita igualmente la entrada de filtraciones.

Las modificaciones que se realizaron fueron las siguientes:

- Sellado con espuma de poliuretano de canalizaciones de electricidad y comunicaciones por el exterior, en azotea.
- Sellado de tubos de preinstalación de aires acondicionados en cubierta con cintas adhesivas.
- Sellado de juntas de unión de desagües con muro de bloques por la parte interior con silicona.
- Sellado de tornillería de fijación de WC con silicona.
- Sellado de acometidas eléctricas por el interior con espuma de poliuretano
- Sellado de acometidas de teléfono y televisión por cable en el interior con espuma de poliuretano.
- Sellado de tomas de fontanería en piletas lavadero con la fábrica de bloques por el exterior.
- Sellado de interruptores de encendido de puntos de luz exterior tanto por el interior como por el exterior, mediante espuma de poliuretano.

Entre las filtraciones encontradas podemos destacar las siguientes:

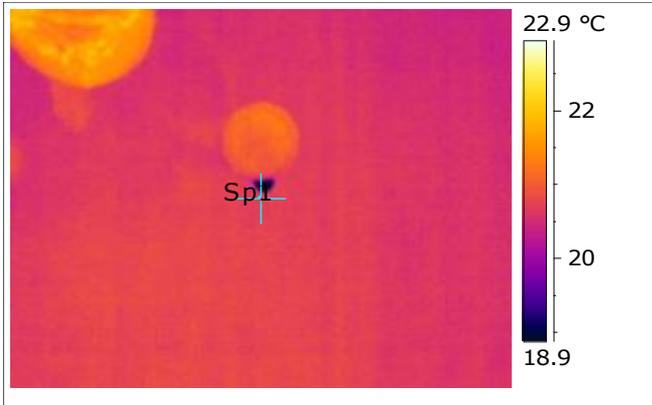


Imagen 47.- Filtración en paso de toma de agua. Solución sellado con silicona.

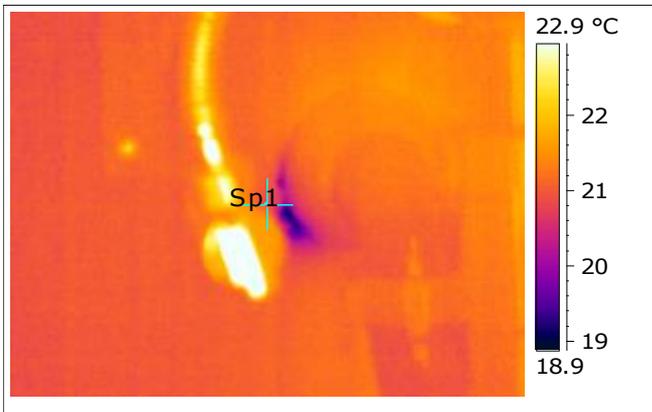


Imagen 48.- Aire de infiltración en la unión desagüe de lavabo en la unión con el muro de bloque. Solución sellado con silicona.

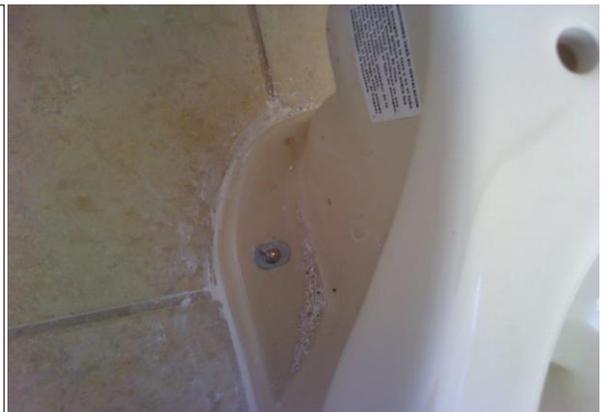
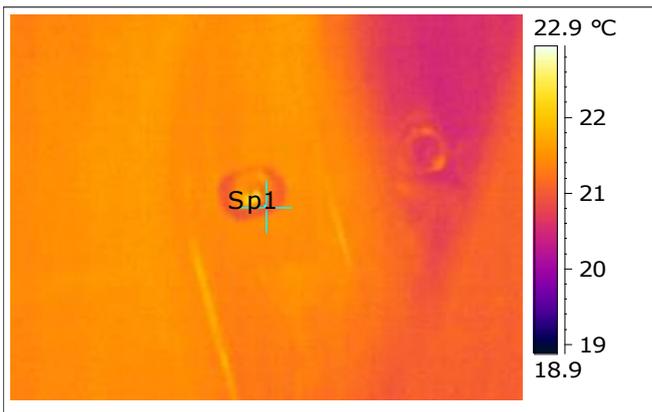


Imagen 49.- Infiltración a través de la tornillería de fijación del WC, solución sellado con silicona

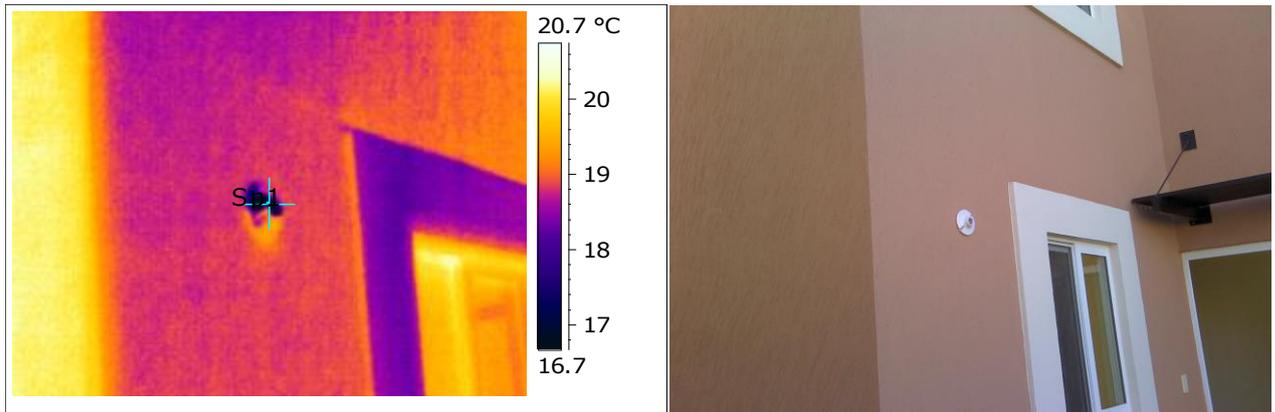


Imagen 50.- Filtraciones a través de puntos de luz exteriores. Solución sellado con espuma de poliuretano y/o silicona el tubo para instalación de cables.

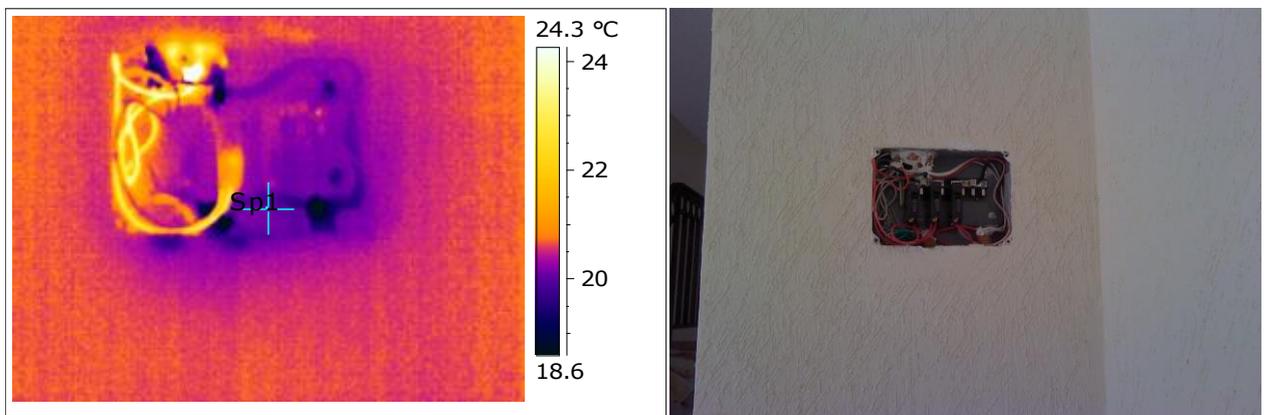


Imagen 51.- Filtraciones en la acometida eléctrica. Solución sellado de tubos y uniones entre tubos y cajas con silicona y/o espuma de poliuretano.

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 adoptó fue sellar con espuma de poliuretano y/o silicona.

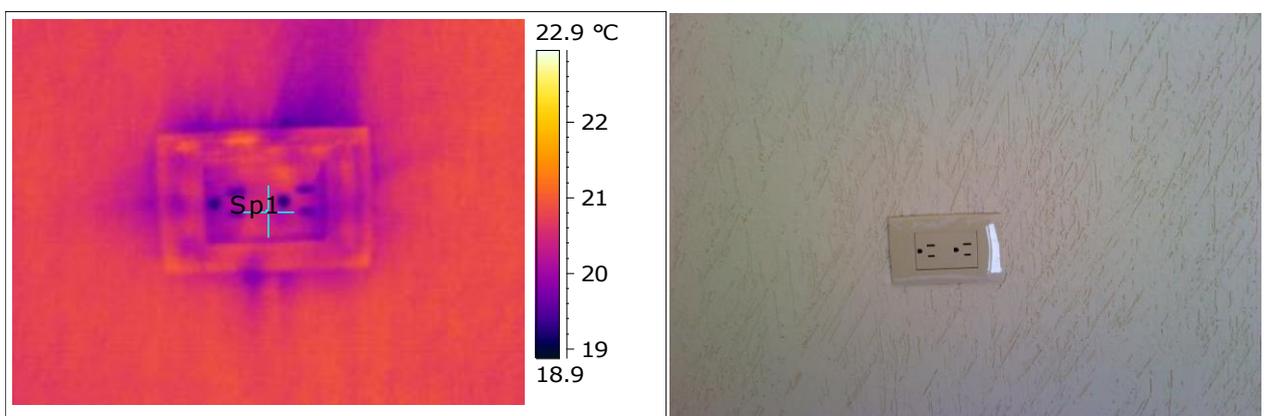


Imagen 52.- Filtraciones a través de contactos. Solución desmontado de contactos y sellado de tubos y cables.

En algunos casos se encontraron filtraciones por falta de material y continuidad en los materiales entre el bloque y las cajas metálicas para la colocación de contactos, en estos casos y dado que las actuaciones en mejora de la estanqueidad debían ser no destructivas se optó por inyección de espuma de poliuretano para sellado del hueco.



Imagen 53.- Infiltración entre base de contacto y muro



Imagen 54.- Infiltración entre base de contacto y muro

En viviendas en proceso de construcción se encontraron uniones de tubos de electricidad aún sin tapar en las que se observa que las uniones entre tubos permiten la filtración. Igualmente se observa que los tubos están instalados por celdas vacías del bloque.



Imagen 55.- Uniones de tubos de Electricidad

- Alrededor y a través de ventanas y puertas. Las carpinterías instaladas en las viviendas del Prototipo Nama, son carpinterías de PVC correderas o de guillotina con doble vidrio para las Eco Casa Max y Eco Casa 2.2, siendo carpinterías de aluminio con un solo vidrio en las Eco Casa 2.1.

En la imagen 56 y 57 se observa entrada de aire por la parte inferior de la carpintería. Los sistemas de carpintería correderos son sistemas que permiten la entrada de aire entre las hojas, el color azul intenso nos indica en la termografía la entrada de aire.

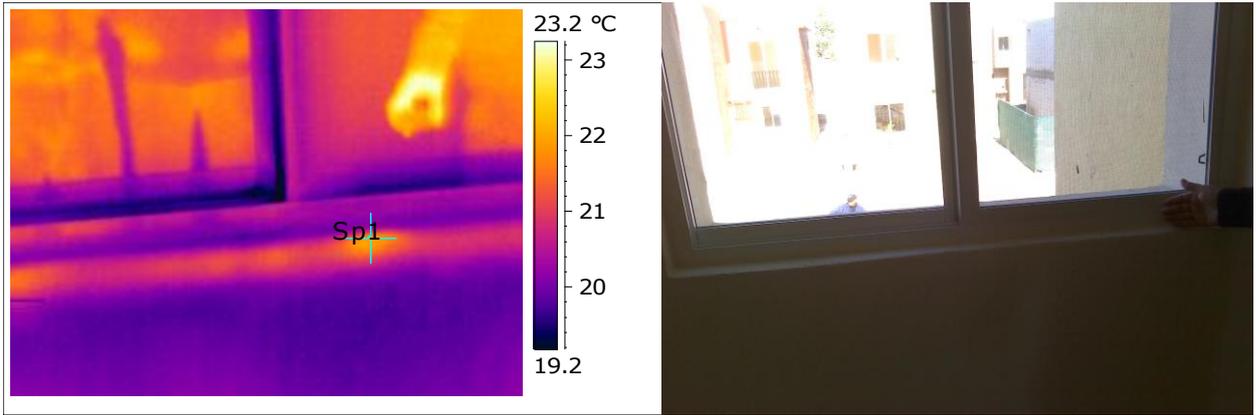


Imagen 56.- Infiltraciones entre hoja corredera y hoja fija del sistema de carpintería.

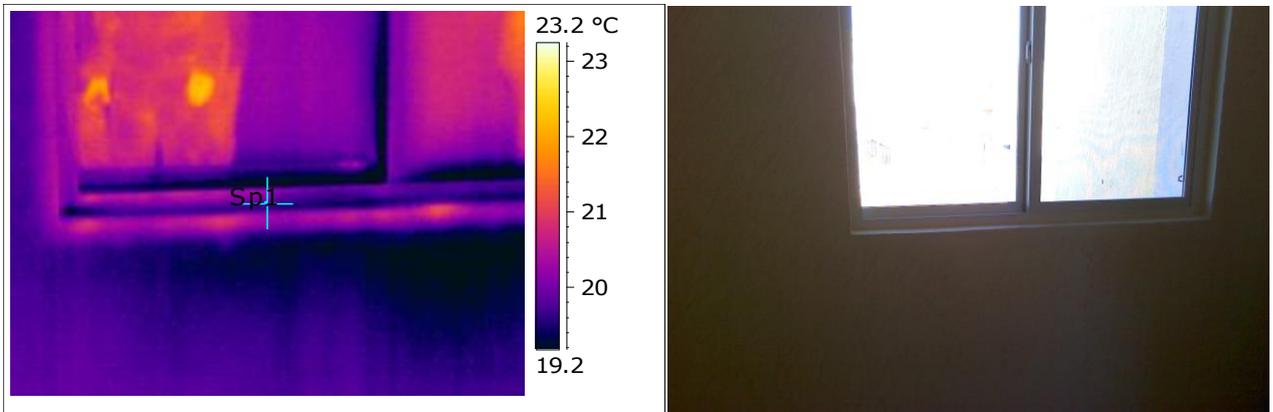


Imagen 57. Infiltraciones por carpinterías

En la imagen 58 y 59 se observa la entrada de aire por la parte superior de las uniones de las hojas de las carpinterías, y en la unión vertical, color azul intenso.

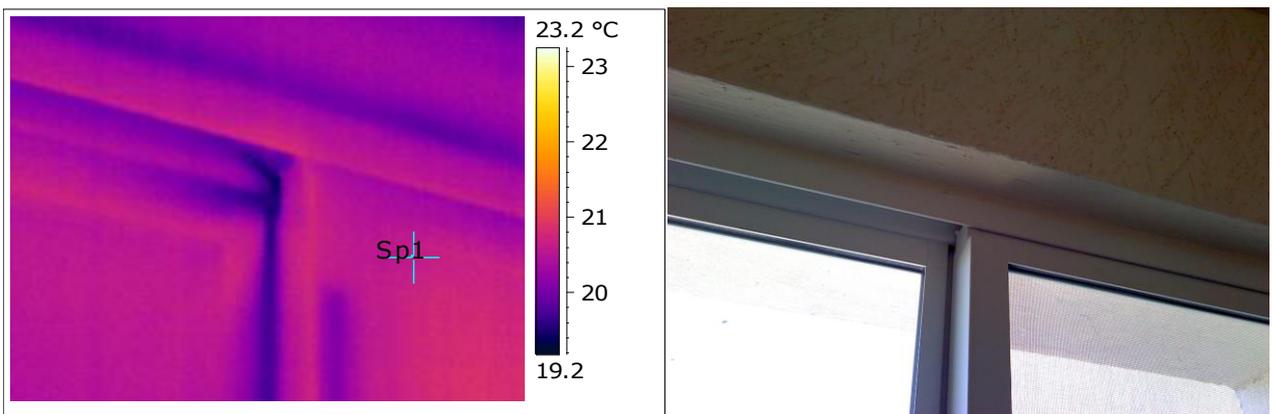


Imagen 58.- Infiltración por carpinterías

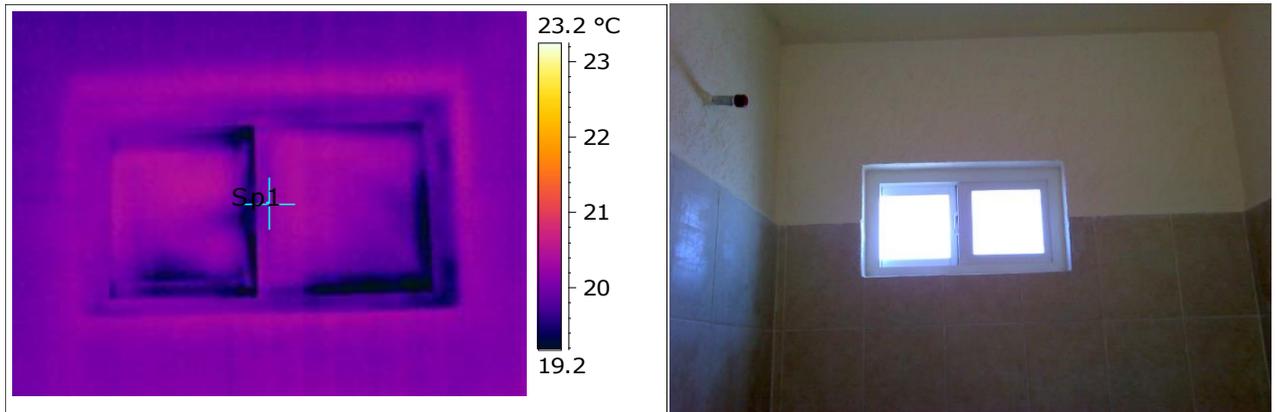


Imagen 59.- Infiltraciones en las uniones de las hojas y en las junquillos para el montaje y desmontaje del vidrio.

En la imagen 60 se observan filtraciones muy importantes en la carpintería de PVC, sistema de hoja corredera y hoja fija. Al aumentar el perímetro de perfil respecto a las ventanas más pequeñas la infiltración incrementa.

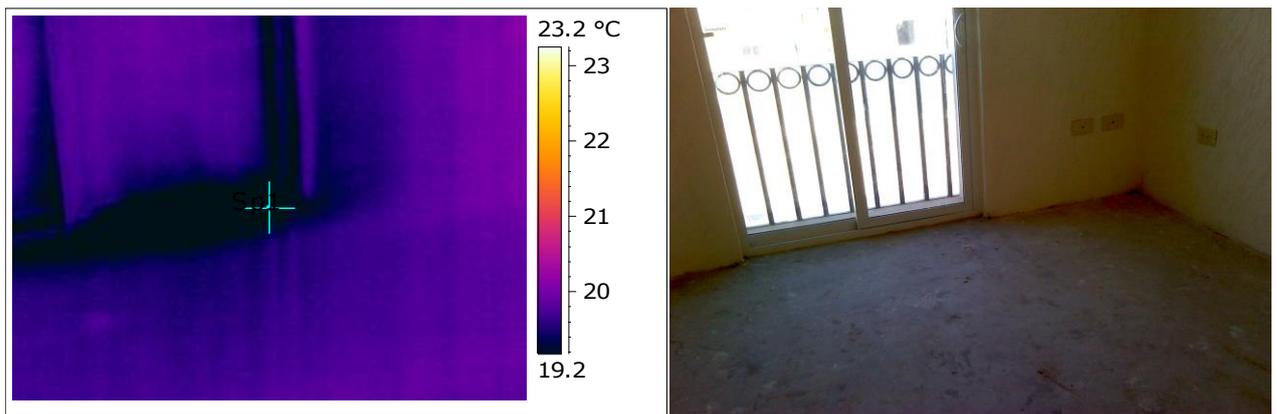


Imagen 60.- Infiltraciones por la parte inferior de la carpintería corredera de PVC.

El sistema de carpinterías de guillotina, como se aprecia en la imagen 61 sufre de infiltraciones por las uniones de la hoja elevable con el marco. Esto es debido a la separación entre la hoja y el marco. En el imagen 62 se puede observar el detalle de separación.

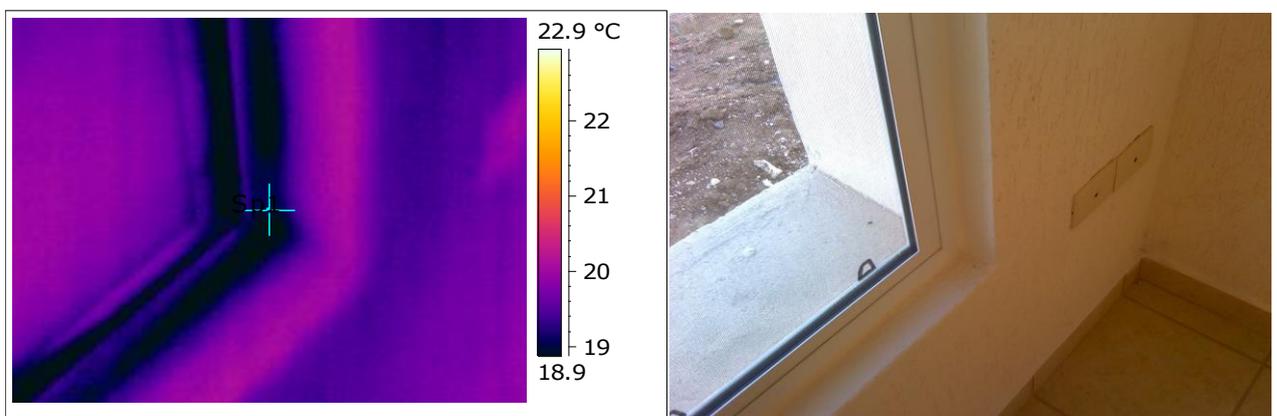


Imagen 61.- Infiltraciones en ventana de guillotina



Imagen 62.- Separación entre la hoja y el marco



Imagen 63.- Carpintería corredera

En las imágenes siguientes se pueden observar problemas de infiltraciones detectados con la cámara Termográfica en las carpinterías exteriores.

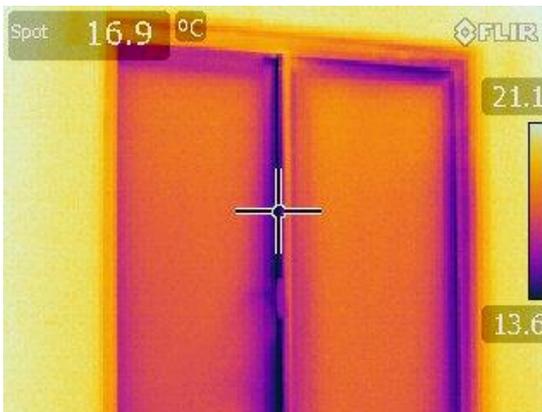


Imagen 64. Infiltración por carpintería

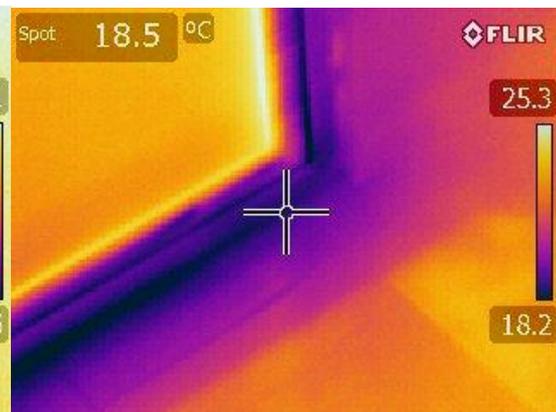


Imagen 65. Infiltración por carpintería.



Imagen 66. Infiltración por carpintería.

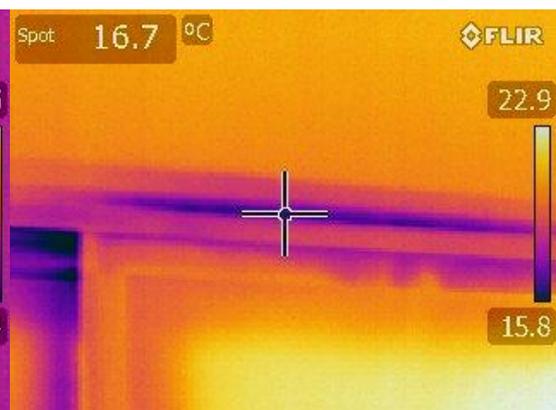


Imagen 67. Infiltración por carpintería.

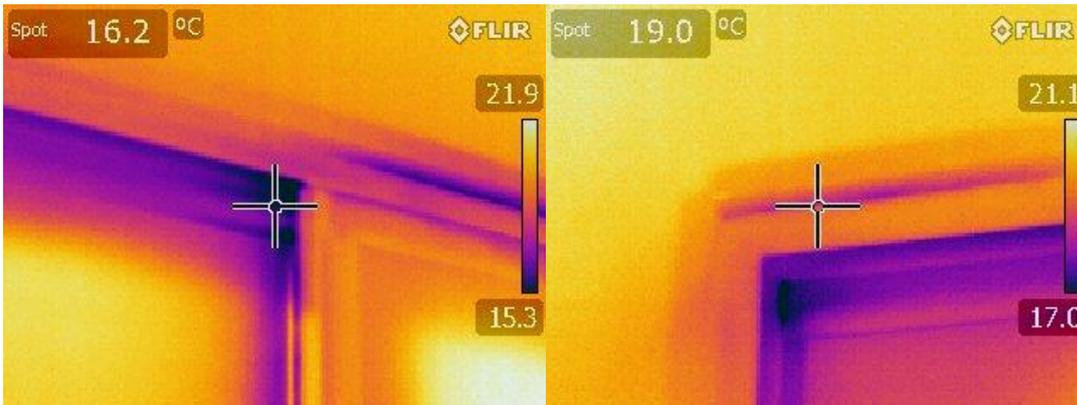


Imagen 68. Infiltración por carpintería.

Imagen 69. Infiltración por carpintería.

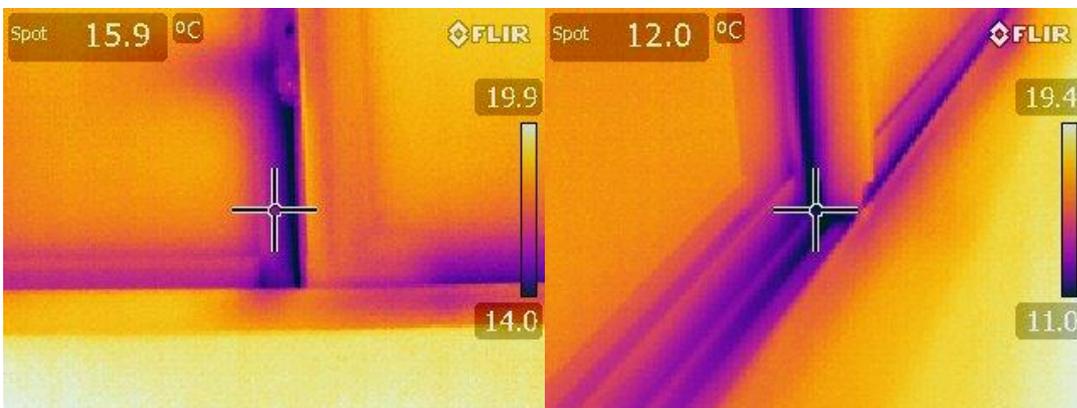


Imagen 70. Infiltración por carpintería.

Imagen 71. Infiltración por carpintería.

Además de realizar búsquedas de infiltraciones mediante el método termográfico, en determinadas ocasiones se usó el lápiz de humo, fundamentalmente por la inexistencia de diferencias de temperaturas entre el interior de las viviendas y la temperatura ambiente exterior.



Imagen 72.- Infiltración por carpintería



Imagen 73.- Infiltraciones por carpinterías



Imagen 74.- Infiltración en unión de carpintería con muro.



Imagen 75.- Infiltración unión carpintería con muro.

El sistema de colocación de carpintería usado para las viviendas Nama, ha sido el siguiente:

- Colocación de placa de poliestireno de 25 mm de espesor en todo el perímetro del hueco sobre el que se ha apoyado la ventana, en el caso de las cancelerías (balcones) en la parte inferior no se coloca placa de poliestireno.
- Aplanado del aislamiento.
- Colocación de carpintería, incluso aplomado y nivelado.
- Sellado con silicona blanca entre la terminación interior y la carpintería.

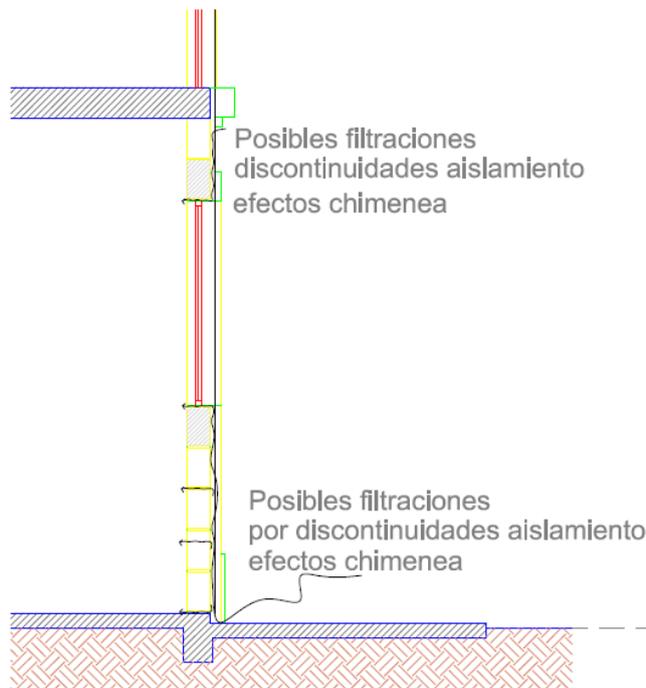


Imagen 76.- Colocación de carpinterías y filtraciones por muros.

Se producen filtraciones en plano entre la parte inferior de la placa de aislamiento de 25 mm colocada alrededor de la ventana y el muro de fachada.

d. Análisis de los resultados.

Para establecer un parámetro claro de comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de estanqueidad, se realizaron ensayos en dos viviendas Línea Base una de 76 m² y otra de 46 m². Viviendas construidas habitualmente por la Desarrolladora Inmobiliaria DEREK.

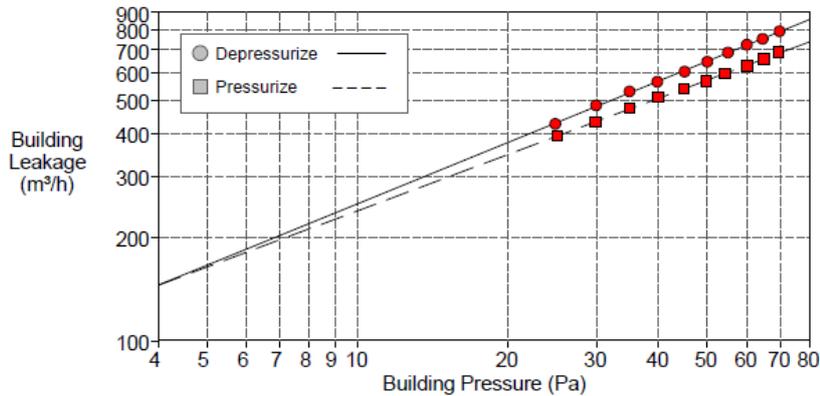
Las viviendas, Línea Base, ensayadas no incorporan ninguna de las eco-tecnologías que incorporan las viviendas del Proyecto Piloto Nama.

Es importante destacar que las viviendas Línea Base cuentan con las mismas carpinterías que las viviendas Eco Casa 2.1.

Resultados de los ensayos de las viviendas, Línea Base.

Línea Base 76 m², vivienda número 1472.

	Depressurization	Pressurization	Average
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	649 (+/- 0.2 %)	572 (+/- 0.2 %)	610
n50: Air Changes per Hour (1/h)	3.83	3.37	3.60
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	9.94	8.76	9.35
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	2.83	2.50	2.66
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	279.4 (+/- 1.0 %)	266.4 (+/- 1.0 %)	272.9
cm ² /m ² Surface Area	1.22	1.16	1.19
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	156.8 (+/- 1.5 %)	156.3 (+/- 1.5 %)	156.6
cm ² /m ² Surface Area	0.68	0.68	0.68
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	64.1 (+/- 2.3 %)	68.4 (+/- 2.3 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	64.2 (+/- 2.3 %)	68.5 (+/- 2.3 %)	
Exponent (n)	0.591 (+/- 0.006)	0.542 (+/- 0.006)	
Correlation Coefficient	0.99961	0.99954	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with: UNE 13829	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 3 Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	20 °C	Volume:	169 m ³
Outside Temperature:	20 °C	Surface Area:	229 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	65 m ²
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		



Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-0.4	n/a				
-70.1	61.5	793	792	0.3	Ring B
-64.9	55.4	753	753	-0.2	Ring B
-60.4	51.2	724	724	0.2	Ring B
-55.4	46.1	687	687	0.1	Ring B
-50.4	40.7	646	646	-0.5	Ring B
-45.4	35.7	605	605	-0.8	Ring B
-40.1	31.1	565	565	-0.2	Ring B
-35.3	185.9	530	530	1.0	Ring C
-30.3	154.8	483	483	0.7	Ring C
-25.2	121.5	426	426	-0.6	Ring C
-0.3	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.0 p02- = -0.3 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization (Continued):

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
69.3	46.2	688	688	0.6	Ring B
64.6	42.3	659	659	0.1	Ring B
59.9	38.6	629	629	-0.5	Ring B
54.0	34.7	597	597	-0.2	Ring B
49.5	31.1	566	566	-0.8	Ring B
44.6	28.2	539	539	-0.1	Ring B
39.7	172.3	510	510	0.7	Ring C
34.7	148.9	473	473	0.5	Ring C
29.7	124.0	431	431	-0.4	Ring C
24.8	104.2	394	394	0.2	Ring C
-0.3	n/a				

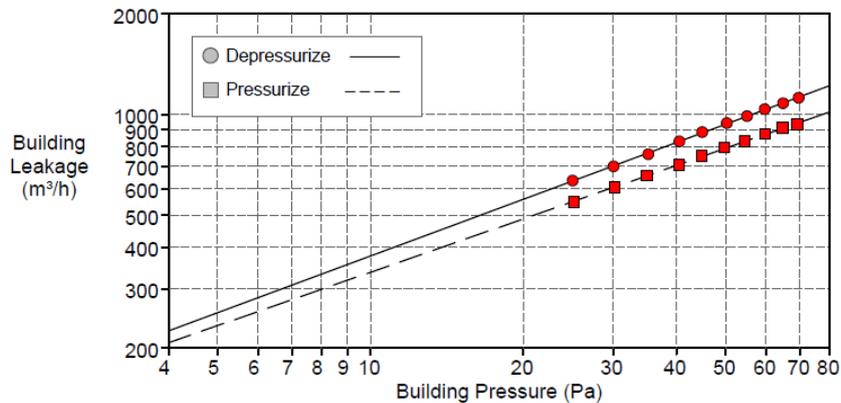
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.3 p02+ = 0.0

Dando como resultado el test de estanqueidad de la vivienda Línea Base de 76 m2 construidos un valor **n50= 3.60 h⁻¹** (renovaciones del volumen interior de aire a la hora).

Línea Base 46 m2, Fraccionamiento de Romanza.

	Depressurization	Pressurization	Average
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m³/h)	935 (+/- 0.2 %)	792 (+/- 0.2 %)	864
n50: Air Changes per Hour (1/h)	9.35	7.92	8.64
w50: m³/(h*m² Floor Area)	24.54	20.79	22.67
q50: m³/(h*m² Surface Area)	5.50	4.66	5.08
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	421.2 (+/- 0.9 %)	376.3 (+/- 1.0 %)	398.8
cm²/m² Surface Area	2.48	2.21	2.35
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	242.4 (+/- 1.4 %)	223.2 (+/- 1.5 %)	232.8
cm²/m² Surface Area	1.43	1.31	1.37
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	103.1 (+/- 2.1 %)	99.3 (+/- 2.4 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	103.1 (+/- 2.1 %)	99.3 (+/- 2.4 %)	
Exponent (n)	0.564 (+/- 0.005)	0.531 (+/- 0.006)	
Correlation Coefficient	0.99963	0.99949	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with: UNE 13829	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 3 Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	20 °C	Volume:	100 m³
Outside Temperature:	20 °C	Surface Area:	170 m²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	38 m²
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Exposed Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	NONEN	Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:	NONEN		
Type of Ventilation:	None		



Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a				
-69.7	123.7	1121	1121	-0.5	Ring B
-65.0	114.8	1080	1080	-0.2	Ring B
-59.8	105.8	1037	1037	0.4	Ring B
-55.2	96.2	989	989	0.2	Ring B
-50.4	87.2	943	943	0.5	Ring B
-45.1	76.8	885	885	0.5	Ring B
-40.7	67.7	831	831	0.0	Ring B
-35.4	56.5	760	760	-0.9	Ring B
-30.2	47.7	699	699	-0.5	Ring B
-25.1	39.2	634	634	0.3	Ring B
-0.0	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -0.3	p01+ = 0.1	p02- = -0.2	p02+ = 0.2	

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				
69.0	85.4	933	933	-0.8	Ring B
64.5	81.3	911	911	0.4	Ring B
59.7	74.9	874	874	0.4	Ring B
54.2	67.6	831	831	0.4	Ring B
49.5	61.8	795	795	0.8	Ring B
44.6	55.1	751	751	0.6	Ring B
40.2	48.6	705	705	-0.2	Ring B
34.8	41.9	655	655	0.2	Ring B
30.0	35.7	606	606	0.1	Ring B
24.9	29.1	547	547	-0.2	Ring B
-0.4	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -0.2	p01+ = 0.2	p02- = -0.4	p02+ = 0.0	

Dando como resultado del test de estanqueidad de la Línea Base de 46 m² un valor **n₅₀ = 8.64 h⁻¹** (renovaciones del volumen interior de aire a la hora).

Para establecer una comparación entre las distintas tipologías de vivienda se compararán de la siguiente manera:

Viviendas 76 m²

	Eco Casa Max I	Eco Casa 2.2	Eco Casa 2.1	Línea Base
Eco Casa Max I		X	X	X
Eco Casa 2.2	X		X	X
Eco Casa 2.1	X	X		X
Línea Base	X	X	X	

Viviendas 46 m2

	Eco Casa 2.2 Adosada	Eco Casa 2.2 Aislada	Línea Base
Eco Casa 2.2 Adosada		X	X
Eco Casa 2.2 Aislada	X		X
Línea Base	X	X	

Análisis de los resultados de las viviendas de 76 m2.

Análisis de los resultados de Eco Casa Max.

Resultados de Estanqueidad Eco Casa Max I:

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1488	1,43	1,36	1,39
1486	1,56	1,21	1,39

Comparación Eco Casa Max con Línea Base.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa Max	1,39
Línea Base	3,60

Si comparamos los resultados obtenidos, hay una gran mejora respecto a la línea base debida al cambio de carpinterías de aluminio a PVC. Aunque con el mismo sistema de apertura el sistema de PVC de las Eco Casas Max y 2.2 poseen mejor cierre que las ventanas de aluminio (Eco Casa 2.1 y Línea Base).



Imagen 77.- Ventanas de aluminio Eco Casa 2.1 y Línea Base.



Imagen 78.- Eco Casa Max 76 m2 con ventanas de PVC

La principal mejora como se ha comentado se debe al cambio de carpinterías y a la envolvente de la edificación, debido a la colocación de 250 mm de aislamiento térmico exterior, y al sellado de las instalaciones.

Para haber obtenido un menor grado de infiltración en las viviendas Eco Casa Max se debería haber optado en proyecto por otro sistema de carpinterías, preferiblemente abatible.

A esta conclusión se llegó tras realizar ensayos a la vivienda 1488 (Eco Casa Max), se taparon todas las superficies de las ventanas con plásticos herméticos, sellándolos a los marcos con cinta adhesiva de papel.

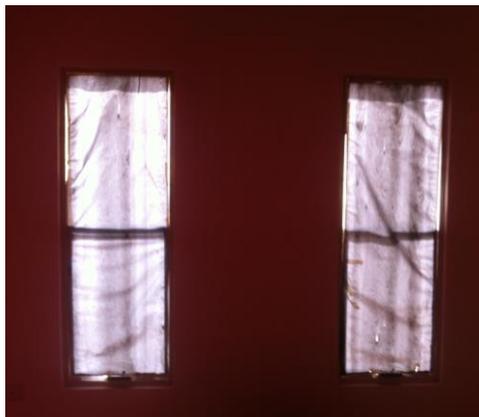


Imagen 79.- Ensayo de estanqueidad con ventanas tapadas.



Imagen 80.- Ensayo de estanqueidad con ventanas tapadas.

El ensayo se realizó en lunes 09/12/2013, en condiciones de excesiva fluctuación de presión. No se pudo llegar a completar un ensayo, no siendo válido a efectos de certificación por las medidas provisionales y por los errores en la medición, pero si se pudieron sacar conclusiones sobre la tasa de renovación de aire de la vivienda y como afecta la permeabilidad de la carpintería a la tasa de renovación de aire a 50 Pa de diferencia de presión.

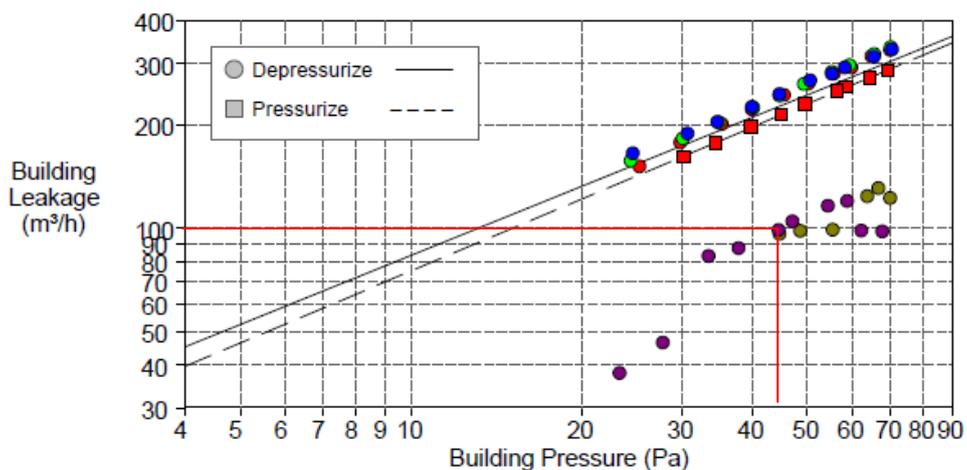


Imagen 81.- Ensayos de comprobación. No válidos para certificación.

En los puntos de color morado, podemos calcular el volumen de aire que está intercambiando la vivienda a una diferencia de presión interior-exterior de 50 Pa. Las líneas en color rojo marcan la estabilización del equipo a 50 Pa de diferencia de presión, resultando un intercambio de aire de 98 m³/h con el exterior.

Este valor 98 m³/h correspondería al valor V50 del ensayo. Para hacer un cálculo aproximado del valor n50 podemos dividir el valor de intercambio de aire (V50) con el volumen interior neto, resultando un valor $n50 \pm (98/160,40)=0.57 \text{ h}^{-1}$, se reitera que el cálculo es aproximado ya que no tiene en cuenta correcciones por línea base de presión interior-exterior ni por temperatura.

Comparación Eco Casa Max con Eco Casa 2.2

Eco Casa Max

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1488	1,43	1,36	1,39
1486	1,56	1,21	1,39

Eco Casa 2.2

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1484	2,33	1,66	2,00
1482	1,36	1,20	1,28

En el análisis de los resultados de las pruebas efectuadas a Eco Casa 2.2, vemos gran diferencia. La variación a priori y tras analizar la vivienda sin haber podido evaluar su proceso constructivo, se encuentra en que las carpinterías de la vivienda 1482 ajustan mejor que las de la vivienda 1484, siendo el principal punto crítico de la edificación frente a la estanqueidad al aire.

Tomaremos como referencia la vivienda con mayor tasa de infiltración, ya que al revisar visualmente el resto de viviendas Eco Casa 2.2 la calidad de las carpinterías se asemeja más a la de la vivienda 1484. Esto nos indica que se podría haber mejorado el cierre y ajuste de carpinterías, aunque el sistema no sea el apropiado para lograr una edificación estanca.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa Max	1,39
Eco Casa 2.2	2,00

El aumento de permeabilidad al aire de las Eco Casa 2.2 respecto a Eco Casa Max se debe a la diferencia de espesor de aislamiento. Aunque el aislamiento no es un material estanco si dificulta el paso de aire. Como se ha descrito anteriormente hay problemas por efecto chimenea entre el aislamiento y el muro de fábrica de bloques, haciéndose este más importante al disminuir el espesor de aislamiento exterior (de 250 mm en Eco Casa Max a 25 mm en Eco Casa 2.2).

Comparación de Eco Casa Max con Eco Casa 2.1

Eco Casa Max

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1488	1,43	1,36	1,39
1486	1,56	1,21	1,39

Eco Casa 2.1

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1476	4,69	4,19	4,44
1474	4,54	4,08	4,31

Tomamos como referencia los valores medios de Eco Casa Max, y el valor de medio de los ensayos en la media entre presurización y despresurización de las Eco Casa 2.1.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa Max	1,39
Eco Casa 2.1	4,37

Los resultados nos indican que la calidad en las carpinterías aumenta la tasa de renovación de aire con el exterior. Recordemos que Eco Casa Max posee carpinterías de PVC y Eco Casa 2.1 tiene instaladas carpinterías de Aluminio (iguales que la Línea Base).

Análisis de los resultados de Eco Casa 2.2

En el punto anterior se comparó Eco Casa Max con Eco Casa 2.2, Eco Casa 2.1 y Línea Base. En este apartado se compararán resultados de Eco Casa 2.2 con Eco Casa 2.1 y Línea Base.

Comparación de Eco Casa 2.2 con Eco Casa 2.1

Eco Casa 2.2

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1484	2,33	1,66	2,00
1482	1,36	1,20	1,28

Eco Casa 2.1

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1476	4,69	4,19	4,44
1474	4,54	4,08	4,31

Tomamos como referencia los valores medios máximo de Eco Casa 2.2 (según se ha detallado anteriormente), y el valor de medio de los ensayos en la media entre presurización y despresurización de las Eco Casa 2.1.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa 2.2	2,00
Eco Casa 2.1	4,37

Los resultados nos indican la importancia de la calidad en las carpinterías, siendo de mejor calidad las de PVC de las Eco Casas 2.2 que las de aluminio de las Eco Casas 2.1.

Comparación de Eco Casa 2.2 con Línea Base

Eco Casa 2.2

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1484	2,33	1,66	2,00
1482	1,36	1,20	1,28

Línea Base

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1472	3,83	3,37	3,60

Tomamos como referencia el valor mayor de Eco Casa 2.2 (según se ha argumentado anteriormente) y el único valor obtenido en la vivienda Línea Base.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa2.2	2,00
Línea Base	3,60

Los resultados indican la calidad en el sistema de carpinterías entre las distintas tipologías y la falta de sellado en las instalaciones. Igualmente mejora la estanqueidad por la capa de aislamiento exterior.

En el siguiente análisis veremos cómo afectan los efectos chimenea y el porqué de los resultados.

Análisis de los resultados de Eco Casa 2.1

La vivienda tipo Eco Casa 2.1 ya ha sido comparada con Eco Casa Max y Eco Casa 2.2. quedando solo pendiente la comparación de Eco Casa 2.1 con la vivienda Línea Base.

Comparación de Eco Casa 2.1 con Línea Base

Eco Casa 2.1

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1476	4,69	4,19	4,44
1474	4,54	4,08	4,31

Línea Base

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1472	3,83	3,37	3,60

Tomamos como referencia el valor de medio de los ensayos, en la media entre presurización y despresurización de las Eco Casa 2.2.

Vivienda	Ensayo Final
	Media
Eco Casa 2.1	4,37
Línea Base	3,60

Los resultados resaltan valores que a priori no deberían ser ciertos, la realidad de los ensayos y el análisis del sistema constructivo nos indican que los resultados son correctos, el análisis sería el siguiente:

- Análisis del sistema de carpinterías. Los dos tipos de viviendas Eco Casa 2.1 y Línea Base cuentan con el mismo sistema de carpinterías. La calidad en la fabricación e instalación de las puertas y ventanas es el mismo, lo que indica que las diferencias no son producidas por las carpinterías.
- Análisis de las instalaciones. Las salidas y entradas (perforaciones de la envolvente estanca) de las instalaciones en las viviendas Línea Base no han sido tratadas. En las viviendas Eco Casa Max las medidas correctoras en las instalaciones repercutieron una disminución del valor n_{50} de aproximadamente $0,15 \text{ h}^{-1}$.

Lo que indica que el problema de estanqueidad en la vivienda Eco Casa 2.1 es debido a una diferencia en el sistema constructivo respecto a la Línea Base.

El sistema constructivo convencional de DEREX tiene ventajas en estanqueidad respecto a las viviendas Eco Casa 2.1 (vivienda con 25 mm de aislamiento en fachadas y azotea), aunque a la vez deficiencias térmicas por la falta de aislamiento exterior.

Las deficiencias encontradas en las viviendas Eco Casa 2.1 se deben en el cuidado de su envolvente estanca, que en este caso está definida por la parte exterior del muro de bloque.

El sistema constructivo de Línea Base mejora la envolvente estanca en:

- Aplanado de los encuentros entre losas (tanto de azotea, entrepisos y cimentación) y muros, este aplanado está ejecutado con malla de fibra de vidrio que solapa los muros de fábrica de bloque, limitando la filtración por todo el perímetro de la vivienda. Mientras que en las viviendas Eco Casa (todas en general; Max, 2.2 y 2.1) no se han tratado estos encuentros siendo una fuente importante de infiltración.

De la misma forma el Desarrollador trata las uniones entre distintos materiales de fachada, por ejemplo en las preinstalaciones de tubos para los equipos de aire acondicionado.

- Aplanado continuo de la fachada en Línea Base, el Desarrollador utiliza como terminación para sus viviendas aplanado continuo en las fachadas, este aplanado tapa por completo todos los huecos en la parte exterior del bloque de hormigón, disminuyendo las filtraciones por las juntas entre bloques y roturas del mismo.

El sistema de colocación de los aislamientos exteriores de poliestireno ha sido el siguiente:

- Untado de pegamento especial de base cementosa sobre la superficie de la placa, repartido con plana dentada.
- Colocación en fachada.
- Aplanado con pegamento especial (prescrito por el fabricante del aislamiento) sobre malla de fibra de vidrio en la cara exterior del aislamiento.
- Revestimiento de acabado final exterior.

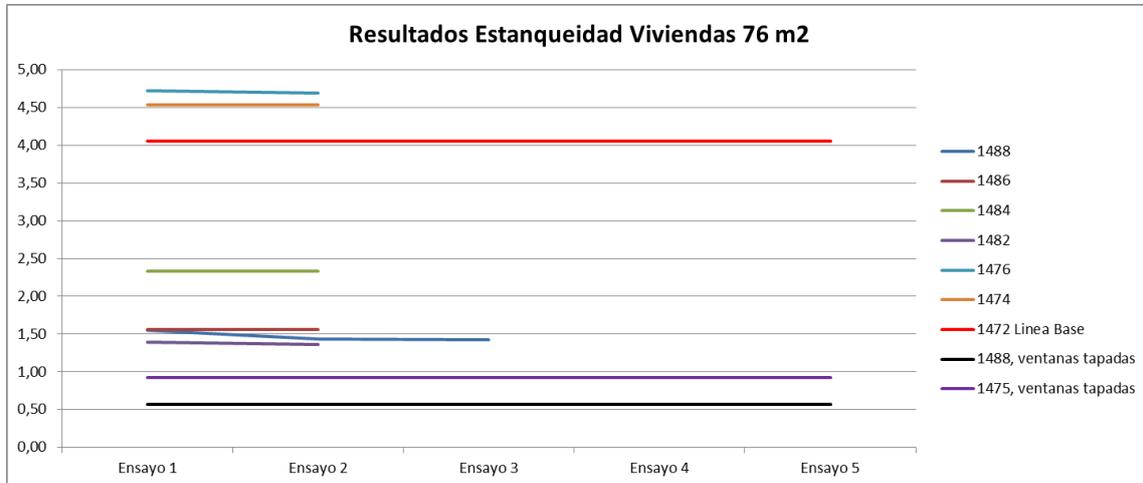
Como hemos descrito anteriormente las uniones entre las juntas de los bloques de aislamiento no han sido tratadas con material sellante, las uniones entre el aislamiento de cubierta y el muro no ha sido tratado con material sellador. Igualmente no se han sellado los aislamientos de los muros de fachada en las partes inferiores (entregas al terreno).

Aunque el material de agarre ha sido homogéneo, no tiene las mismas garantías que un aplanado continuo.

- El sistema de colocación de carpintería usado para las viviendas Nama, ha sido el siguiente:
 - Colocación de placa de poliestireno de 25 mm de espesor en todo el perímetro del hueco sobre el que se ha apoyado la ventana, en el caso de las cancelerías (balcones) en la parte inferior no se coloca placa de poliestireno.
 - Aplanado del aislamiento.
 - Colocación de carpintería, incluso aplomado y nivelado.
 - Sellado con silicona blanca entre la terminación de la placa de poliestireno y la carpintería.

El sistema de colocación de las carpinterías de las Eco Casas es más permeable al aire que el sistema tradicional.

Gráfica de resultados obtenidos tras 4 días de ensayos en las viviendas Nama de 76 m2.



Análisis de los resultados de las viviendas de 46 m2.

Análisis de los resultados de Eco Casa 2.2 Adosada y Eco Casa 2.2 Aislada.

Resultados de Estanqueidad viviendas 46 m2:

Vivienda	Ensayo Final		
	Depresión	Presión	Media
1418 Aislada	1,04	0,90	0,97
1416 Adosada	0,98	0,89	0,93
Línea Base	9,35	7,92	8,64

En este caso no se debería comparar los resultados de las Eco Casas de 46 m2 con la Línea Base, ya que las viviendas de 46 m2 tanto adosadas como aislada no tenían algunas carpinterías definitivas (puertas de salida a la parte trasera). Para simular como se comportarían se selló provisionalmente las separaciones entre el marco y las hojas y las hojas con el suelo.



Imagen 82.- Puerta de salida a patios provisionales de viviendas Nama de 46 m2

Si podemos comprar los resultados de las dos viviendas Nama, en la que se observan que son similares aunque mejores en la vivienda adosada, al tener más resistencia al paso de la infiltración por la unión entre las viviendas.

Si realizamos una comparación entre las viviendas de 76 m² y las de 46 m², vemos que hay una diferencia considerable o muy importante en algunos casos.

Esto es debido a la superficie y perímetro de ventanas repercutido sobre el volumen de aire interior de las viviendas. En esta comparación no se puede incluir la puerta trasera de los patios de las viviendas Nama de 46, al haberlas sellado muy bien, impidiendo las filtraciones de manera provisional.

Repercusión de carpinterías en vivienda de 76 m²:

- m² de carpintería sobre volumen de aire neto interior.- 0.085 m²/m³
- ml de perímetro carpintería sobre volumen interior neto de aire.- 0.242 ml/m³

Repercusión de carpinterías en vivienda de 46 m²:

- m² de carpintería sobre volumen de aire interior.- 0.039 m²/m³
- ml de perímetro de carpintería sobre volumen interior neto de aire.- 0,1187 ml/m³

Como conclusión a los ensayos y estudios realizados, se concluye que se han alcanzados niveles de estanqueidad importantes en las viviendas Eco Casa Max y Eco Casa 2.2, aunque el sistema de carpinterías usado no haya sido el más indicado para lograr el objetivo de alta estanqueidad en edificación. Eco Casa 2.2 ha dado resultados más discretos pero aun así han mejorado mucho respecto a la Línea Base en muchos aspectos, incluida la estanqueidad.

Es un paso muy importante el que se produce con las viviendas del Prototipo del Programa Mexicano-Alemán Nama.

Nace desde la concepción del proyecto, la arquitectura y la ejecución de las obras.

Los resultados de consumos de energía se verán reflejados con el sistema MRV. Mientras que la calidad constructiva (a efectos térmicos) se aprecia desde la entrada a una Vivienda Nama.

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 Hermosillo (DEREX), 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
I 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
I www.giz.de/mexico
