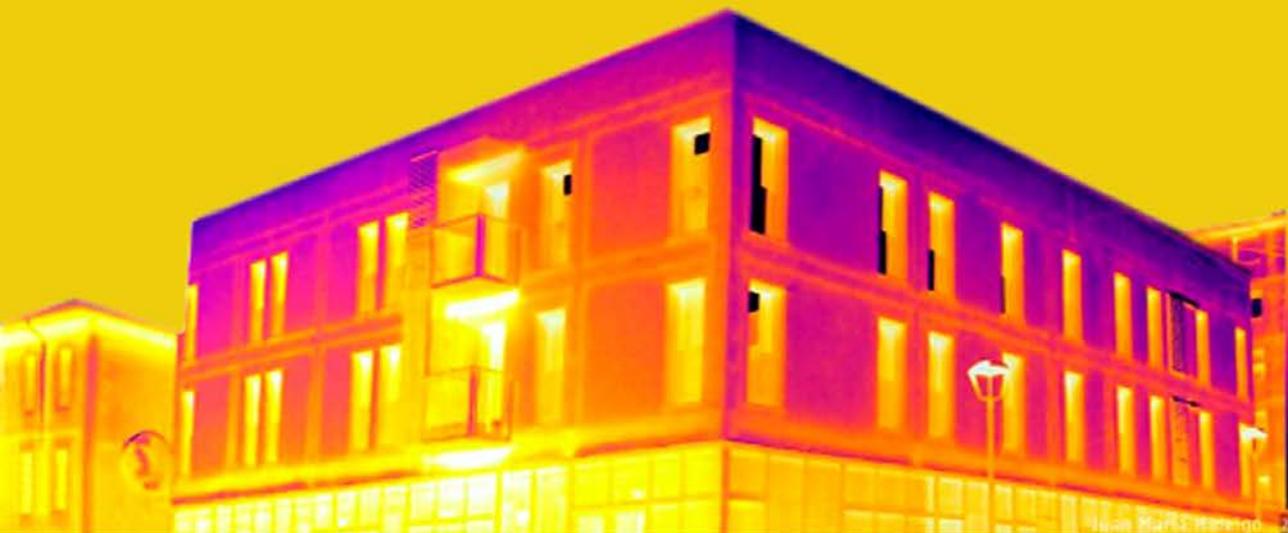


GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO EN EDIFICACIÓN



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

ENPLEGU ETA GIZARTE
POLITIKETAKO SAILA
Etxebizitza Sailburuordetza
Etxebizitza Zuzendaritza

DEPARTAMENTO DE EMPLEO
Y POLÍTICAS SOCIALES
Viceconsejería de Vivienda
Dirección de Vivienda

eman ta zabal zazu



universidad
del país vasco

euskal herriko
unibertsitatea

El presente documento ha sido impulsado por la Dirección de Vivienda, del Departamento de Empleo y Políticas Sociales del Gobierno Vasco, con la participación de:

Equipo de redacción:

D. Juan María Hidalgo Betanzos ⁽¹⁾
Arquitecto

D. Eider Iribar Solaberrieta ⁽¹⁾
Arquitecto

D. Agustín de Lorenzo Urien
Arquitecto Responsable del Servicio de Normativa y Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda.

Con la colaboración de ⁽¹⁾:

José María Pedro Sala Lizarraga, César Escudero Revilla, Iván Flores Abascal, Imanol Ruíz de Vergara Ruíz de Azúa, Carlos García Gáfaró, Daniel Pérez González, Alexander Martín Garín, Moises Odriozola Maritorea y Jon Terés Zubiaga.

⁽¹⁾ Personal del grupo de investigación de Energética en la Edificación ENEDI, grupo consolidado de la Universidad del País Vasco UPV/EHU y adscrito al Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda, según "Convenio de colaboración con la Universidad del País Vasco para el desarrollo del Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco"

PRÓLOGO

Con la actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) en 2013 del Código Técnico de la Edificación (CTE) se establecieron nuevas prestaciones térmicas para los edificios, como respuesta al reto europeo planteado por la EPBD de 2010 que impulsa los edificios de alta eficiencia energética y avanza hacia los Edificios de Consumo de Energía Casi Nula (EECN ó nZEB).

El comportamiento energético de los edificios es la combinación de numerosos factores y las exigencias crecientes sólo se pueden superar con un control de calidad de los factores clave.

Las prestaciones térmicas del edificio definidas en el CTE se obtienen a partir de un buen diseño energético, seguido de una correcta ejecución durante la fase de construcción y conservadas mediante un buen uso y mantenimiento. Las primeras dos fases, la de diseño y la de ejecución, son fundamentales para poder alcanzar los objetivos energéticos europeos.

La presente guía se concibe como una herramienta de apoyo para el control de la calidad de los aspectos térmicos de los edificios durante todas las etapas de la construcción. Está dirigida especialmente a promotoras, administraciones, proyectistas y redactores de programas de control de calidad, direcciones facultativas, laboratorios de control de calidad en la edificación, constructoras y entidades relacionadas con el sector.

La guía recoge información de apoyo para realizar un control durante la construcción de un edificio, enfocado a la consecución de los objetivos de calidad térmica, y por ello energética; así como una propuesta de verificación de los principales parámetros térmicos de los componentes del edificio.

La guía consta de cuatro partes y unos anexos, como se explica en el apartado 5. Se propone en primer lugar una planificación detallada para minimizar los problemas de traslación del proyecto de ejecución a la propia obra. Así mismo, plantea una recepción más controlada de los materiales y productos para valorar la idoneidad de los sistemas antes de su montaje. Durante la ejecución de obra se presta especial atención a las indicaciones de los fabricantes de cada componente, ya que los sistemas cada vez más complejos requieren un seguimiento más detallado. Por último, se proponen unas verificaciones de obra terminada para consignar el comportamiento térmico de los sistemas instalados en el edificio antes de la participación de los distintos usuarios.

Este documento ha sido elaborado en el marco del Convenio de Colaboración suscrito entre el Gobierno Vasco y la Universidad del País Vasco UPV/EHU para la gestión del Área de Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco, como apoyo a la aplicación del Decreto 209/2014, de 28 de octubre, por el que se regula el control de calidad en la construcción).

D. Agustín de Lorenzo Urien

Arquitecto Responsable del Servicio de Normativa y Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda.



ÍNDICE

MARCO NORMATIVO Y CONCEPTOS GENERALES

1. ¿Qué exige el HE2013 del CTE?	6
1.1. Limitación del consumo energético (Sección HE 0)	7
1.2. Limitación de la demanda energética	9
1.3. Exigencias de rendimiento de las instalaciones térmicas	12
1.4. Exigencias de eficiencia energética de las instalaciones de iluminación	12
1.5. Contribución solar mínima de Agua Caliente Sanitaria	16
1.6. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica	21
2. ¿Qué elementos constructivos definen el modelo térmico?	23
2.1. Tipología de los espacios	23
2.2. Cerramientos opacos	25
2.3. Particiones interiores	26
2.4. Huecos	26
2.5. Puentes Térmicos	26
3. ¿Qué exige el DB-HS3 del CTE?	30

CONTROL TÉRMICO

4. ¿Por qué es necesario aplicar un Control Térmico?	34
4.1. Exigencias de control y condiciones en la ejecución de las obras	35
5. ¿Cómo realizar el control de obra que me ayude a cumplir lo establecido en el diseño térmico del proyecto?	38
5.1. Comprobar las características térmicas definidas en el proyecto de ejecución	41
5.2. Recepcionar los materiales y productos que componen los elementos constructivos y los sistemas	43
5.3. Controlar la correcta ejecución de los elementos constructivos y los sistemas de ventilación	44
5.4. Verificar el resultado del edificio terminado	46
6. ¿Cómo proceder cuando se propone un elemento constructivo diferente al contemplado?	47
6.1. Si la nueva solución constructiva propuesta EMPEORA las prestaciones térmicas	47
6.2. Si la nueva solución propuesta NO EMPEORA las prestaciones térmicas	49

ETAPAS DEL CONTROL TÉRMICO

7. Etapa 1: planificación del control	52
7.1. Parámetros térmicos que caracterizan a los elementos constructivos	54
8. Etapa 2: control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas	57
9. Etapa 3: control de ejecución de la obra	61
9.1. Cerramientos opacos y particiones interiores: Puntos críticos a controlar	62
9.2. Huecos: Puntos críticos a controlar	65
9.3. Puentes Térmicos: Puntos críticos a controlar	67
9.4. Sistemas de ventilación: Puntos críticos a controlar	68
10. Etapa 4: control de la obra terminada	80

ENSAYOS DE CONTROL TÉRMICO

11. Ensayos de control de recepción	82
11.1. Ensayo de conductividad	82
11.2. Ensayo de conductividad THASYS	87
11.3. Transmitancia térmica de carpinterías	92
12. Ensayos de control de ejecución de la obra	98
12.1. Ensayo de Puerta ventilador	98
13. Ensayos de control de la obra terminada	103
13.1. Verificación de la Resistencia Térmica in-situ.	103
13.2. Verificación de la estanqueidad: Puerta ventilador.	108
13.3. Control de la renovación de aire interior: Gases trazadores.	115
13.4. Termografía infrarroja.	121
14. Ensayos de desarrollo de producto	127
14.1. Ensayo de Transmitancia térmica de muros	127
14.2. Caracterización de envolventes innovadoras PASLINK	134
15. Documentos de referencia	140



ANEXOS

Anexo I: Ficha de seguimiento del control térmico	145
Anexo II: Fichas de planificación	147
Anexo III: Fichas de control de recepción	154
Anexo IV: Fichas de control de ejecución en obra	159
Anexo V: Fichas de ensayos de control de final de obra	165

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

MARCO NORMATIVO
Y CONCEPTOS GENERALES

1. ¿Qué exige el HE2013 del CTE?

Las exigencias actuales de eficiencia energética en la edificación se basan en el Código Técnico de la Edificación (CTE) aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo; y concretamente en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) en su versión actualizada en 2013. Así, el DB-HE 2013 establece para los edificios de su ámbito de aplicación, el cumplimiento de unas exigencias básicas para conseguir el **objetivo de "Ahorro de energía"** consistente en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento:

- HE 0: Limitación del consumo energético.
- HE 1: Limitación de la demanda energética.
- HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- HE 3: Eficiencia Energética de las instalaciones de iluminación.
- HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS).
- HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Las exigencias tienen diferentes ámbitos de aplicación, por lo que es conveniente en cada caso comprobar que exigencias hay que cumplir. A continuación se revisan los aspectos más relevantes de cada una.

El edificio, una vez terminado, debe cumplir las prestaciones mínimas de "Ahorro de Energía", si se han aplicado de forma correcta el conjunto de exigencias del DB-HE y el DB-HS3.

El artículo 7.1 de la Parte I del CTE establece que durante la construcción de las obras el director de obra y el director de la ejecución de la obra deben realizar, según sus respectivas competencias, tres niveles de control:

- Los controles de recepción en obra de productos, equipos y sistemas
- Los controles de ejecución de la obra
- El control de la obra terminada.

En general, el control de la obra terminada del DB-HE y el DB-HS no prescriben pruebas finales. Sin embargo, el artículo 7.4 de la Parte I del CTE establece:

En la obra terminada, bien sobre el edificio en su conjunto, o bien sobre sus diferentes partes y sus instalaciones, parcial o totalmente terminadas, deben realizarse, además de las que puedan establecerse con carácter voluntario, las comprobaciones y pruebas de servicio previstas en el proyecto u ordenadas por la dirección facultativa y las exigidas por la legislación aplicable.

1.1. Limitación del consumo energético (Sección HE 0).

El DB-HE0 establece el **valor límite de consumo energético de energía primaria no renovable** (kWh/m²·año) y se calcula según la zona climática, la localidad y el uso del edificio. En general, esta exigencia se aplica a edificios nuevos y no se exige a las reformas de edificios existentes. Concretamente, se aplica a los edificios (o partes de edificios) que sean:

- De nueva construcción
- Ampliaciones de edificios existentes.
- Edificios abiertos de forma permanente y acondicionados.

También existen algunas excepciones, como los edificios menores de 50 m² útiles, las construcciones provisionales para menos de 2 años de uso, los edificios industriales, de defensa y agrícolas.

En los **edificios de uso residencial privado** se utiliza la fórmula y la tabla del apartado 2.2.1 del DB-HE Sección HE0:

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + F_{ep,sup} / S$$

$C_{ep,lim}$: Límite de EP no renovable.

$C_{ep,base}$: Valor base de EP por zona climática.

$F_{ep,sup}$: Factor corrector por superficie.

S: Superficie de los espacios habitables.

	Zona climática de invierno					
	α	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base}$ [kWh/m ² ·año]	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

Fuente: CTE DB HE

Aplicando la fórmula y los valores base de la tabla, el límite de consumo es más flexible para los edificios con menor superficie útil. La Figura 1 muestra los distintos límites en función de la superficie y la zona climática (las zonas α y A tienen los mismos valores).

Los demás **edificios de uso no residencial privado** deben justificar que su Certificado de Eficiencia Energética es B o superior, según su consumo de energía primaria no renovable. En este concepto se incluyen los consumos correspondientes a calefacción, refrigeración, ACS e iluminación.

Para justificar el límite de consumo hay diversas opciones a disposición del proyectista y el DB HE define los procedimientos de verificación en detalle que se deben cumplir. Desde el 14 de enero de 2016 los documentos reconocidos para la justificación del DB HE son la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) (puede descargarse en la página oficial www.codigotecnico.org) y CERMA para uso residencial. Se podrá utilizar cualquier otra herramienta siempre que se cumpla con las condiciones establecidas en el documento reconocido "Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios".

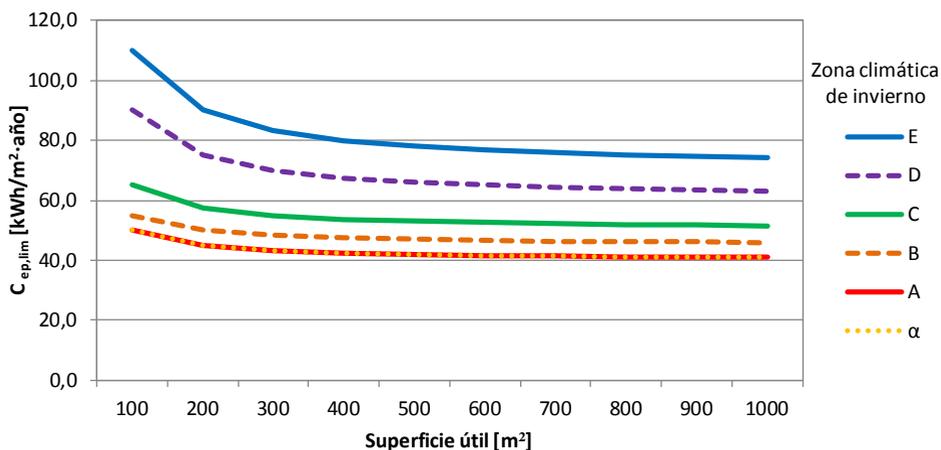


Figura 1. Consumos límite según superficie y zona climática

1.2. Limitación de la demanda energética.

El DB-HE1 establece el **valor límite de demanda energética** (kWh/m²·año) y se calcula según la zona climática, la localidad y el uso. Esta exigencia se aplica a los edificios que sean:

- De nueva construcción
- Intervenciones en edificaciones existentes: Ampliaciones y reformas distintas a las de mantenimiento.
- Cambios de uso.

Se excluyen los edificios históricos protegidos, las construcciones provisionales, los edificios industriales, los edificios menores de 50 m² y las construcciones abiertas de forma permanente.

En **edificios de uso residencial privado**, para la demanda de calefacción se utiliza la fórmula y la tabla del apartado 2.2.1.1.1 del DB-HE1:

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S$$

$D_{cal,lim}$: límite de demanda de calefacción.

$D_{cal,base}$: Valor base de calefacción por zonas.

$F_{cal,sup}$: Factor corrector por superficie.

S: Superficie de los espacios habitables.

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kWh/m ² ·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

Fuente: CTE DB HE

Aplicando la fórmula y los valores base de la tabla anterior, el límite de demanda de calefacción es más flexible para los edificios con menor superficie útil, como las viviendas unifamiliares. La Figura 2 muestra los distintos límites en función de la superficie y la zona climática (las zonas α , A y B tienen los mismos valores).

La demanda de refrigeración en los edificios residenciales debe ser igual o menor de 15 kWh/m²a en las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3; y menor de 20 kWh/m²a para la zona climática de verano 4.

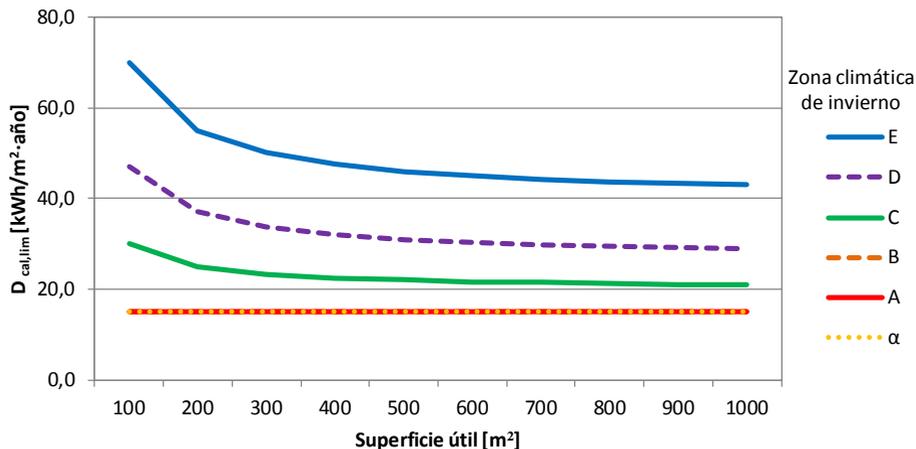


Figura 2. Demandas límite de calefacción según superficie y zona climática

En **edificios de otros usos** se exigen unos porcentajes de ahorro mínimo respecto a la demanda conjunta de calefacción y refrigeración del edificio de referencia, según la tabla del apartado 2.2.1.1.2 del citado DB-HE1:

Porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos, en %

Zona climática de verano	Carga de las fuentes internas			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1, 2	25%	25%	25%	10%
3, 4	25%	20%	15%	0%*

Fuente: CTE DB HE

El apartado 2.2.1.2 establece unos **límites de transmitancia térmica y permeabilidad al aire** para los huecos y los cerramientos opacos. Como excepción, las soluciones constructivas singulares diseñadas para reducir la demanda energética, como invernaderos, muros trombe, etc., pueden superar dichas limitaciones.



Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire
de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Fuente: CTE DB HE

Así mismo, existen unos límites de transmitancia térmica para las **medianerías y particiones interiores en edificios residenciales**, según delimiten unidades de uso residencial con otras del mismo uso residencial o delimiten las zonas de uso residencial con zonas comunes u otras unidades de distinto uso.

Medianerías y particiones que delimitan unidades de distinto uso

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Medianerías y particiones que delimitan unidades del mismo uso

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Fuente: CTE DB HE

En el caso de **intervenciones en edificios existentes**, es necesario adecuar los elementos a las limitaciones establecidas, según los casos del apartado 2.2.2.1:



- Se adecuarán los elementos de la envolvente térmica modificados, cuando la modificación de sus condiciones interiores o exteriores aumente la demanda energética del edificio.
- Se adecuarán los elementos de la envolvente térmica modificados, para que la demanda energética conjunta sea igual o inferior a la obtenida aplicando los valores mínimos de la tabla.
- Se adecuará toda la envolvente térmica, cuando se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica del edificio, o cuando se cambie el uso característico del edificio.

Por último, existe una **limitación de las condensaciones** para edificaciones nuevas y reformas en el artículo 2.2.3, para que las condensaciones intersticiales no afecten a las prestaciones térmicas y la máxima condensación acumulada en cada periodo anual sea inferior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo anual.

1.3. Exigencias de rendimiento de las instalaciones térmicas.

La presente Guía está destinada a mejorar la Demanda energética del edificio, controlando los componentes que forman la envolvente térmica y su ventilación. Es por ello que no incluye el estudio de los sistemas activos o de acondicionamiento.

Las exigencias relativas a las **instalaciones térmicas** para proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes están recogidas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), tal y como indica el DB-HE2.

1.4. Exigencias de eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

El DB-HE3 establece tres principales exigencias de las instalaciones de iluminación interior: la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación o **VEEI**, la **potencia instalada** máxima para la iluminación del edificio y la utilización de **sistemas de control y regulación**.

Estas exigencias se aplican a los edificios que sean:

- De nueva construcción
- Intervenciones en edificaciones existentes de más de 1000 m², si se renueva más del 25% de la superficie iluminada. En otras intervenciones menores, se adecuará sólo la parte modificada.

- Cambios de uso característico.

Se excluyen los interiores de viviendas, los alumbrados de emergencia y los edificios provisionales, industriales e históricos.

Los límites de la eficiencia energética de la instalación de iluminación de cada zona se determinan mediante el **Valor de Eficiencia Energética de la Instalación** o **VEEI** (W/m^2) por metro cuadrado y cada 100 lux. El apartado 2.1 del DB HE3 describe la caracterización y los detalles de la exigencia. Los edificios residenciales tienen un límite de $4,0 W/m^2$ (zonas comunes y aparcamientos) mientras que los edificios terciarios tienen límites superiores de hasta $10,0 W/m^2$, según su actividad.

Valores límite máximo de eficiencia energética de la instalación:

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Fuente: CTE DB HE

P: potencia de la lámpara más el equipo auxiliar.

S: superficie iluminada.

E_m : iluminancia media horizontal mantenida.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Fuente: CTE DB HE

La **potencia instalada en iluminación**, incluyendo lámparas y equipos auxiliares debe ser inferior a los valores por uso que indica la Tabla del apartado 2.2 del DB HE3.

Potencia máxima de iluminación

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m2]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Fuente: CTE DB HE

La implementación de **sistemas de control y regulación** es gradual en función del tipo de zona. Todas las zonas deben incluir como mínimo un sistema de encendido y apagado manual. Las zonas de “uso esporádico” (ocupación no permanente) deben además incorporar un control temporizado por presencia o pulsador.

Adicionalmente, las zonas que cuenten con buena iluminación natural (cerramientos acristalados y lucernarios) deben incluir sistemas de **aprovechamiento de luz natural**. El apartado 2.3.1.b del DB-HE3 describe las condiciones que deben cumplirse.

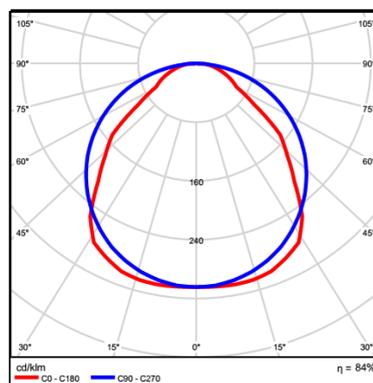
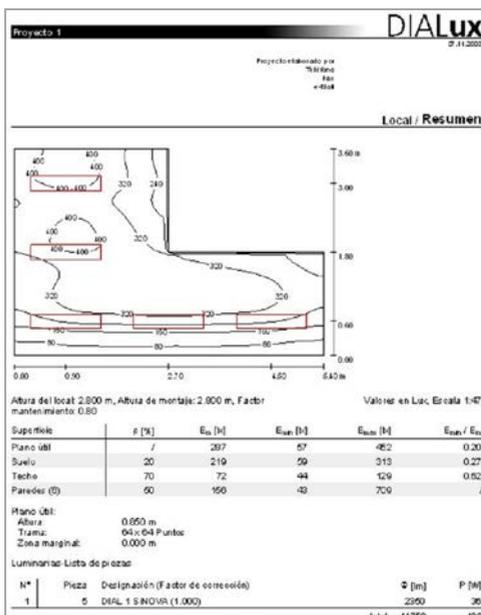
Ejemplo:

En el proyecto se indican las Potencias instaladas y la Eficiencia Energética de los recintos. Uno de los recintos es una oficina (uso administrativo) que está equipada con 5 luminarias de 36W y que aportan una iluminancia media de 219 lux. Dispone una potencia instalada de 12,3 W/m² y un VEEI de 5,6.

Se debe supervisar que cumplen los límites del DB-HE3 y las exigencias del DB-SUA. Se comprueba que supera los límites para uso administrativo de potencia instalada (12 W/m²) y VEEI (3,0).

Se proponen unas luminarias LED más eficientes para cumplir el DB-HE3, que reducen la potencia instalada a 6,5 W/m² y mejoran el VEEI a 2,8; manteniendo la iluminancia media anterior.

Recinto	Actividad	Sup. (m ²)	Em (lux)	P (W)	P.ins (W/m ²)	P.ins lím. (W/m ²)	VEEI (W/m ²)	VEEI lím. (W/m ²)	VEE - S	
D.1	Oficina 1C (original)	Admin.	14,6	219	180	12,3	12,0	5,6	3,0	82,2
	Oficina 1C (corregida)	Admin.	14,6	231	95	6,5	12,0	2,8	3,0	41,1



Nota: Imagen extraída del Manual de DIALux 4.3 castellano



1.5. Contribución solar mínima de Agua Caliente Sanitaria.

El DB-HE4 exige una contribución mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y la demanda de ACS o de climatización de piscina del edificio. Se aplica en general a los edificios de nueva construcción y en el caso de ampliaciones e intervenciones en edificios existentes, esta contribución sólo afectará al incremento de demanda de ACS sobre la demanda inicial.

Contribución solar mínima anual para ACS en %:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Fuente: CTE DB HE

Contribución solar mínima en %. Climatización de piscinas cubiertas:

	Zona climática			
	I	II	III	IV
Piscinas cubiertas	30	30	50	60

Fuente: CTE DB HE

Para el cálculo y la justificación se emplean las Demandas de referencia a 60°C de la Tabla del apartado 4.1 del DB-HE4. En caso de utilizar una temperatura del acumulador distinta a 60 °C, se debe recalcular la demanda según la fórmula recogida en la norma.



Demanda de referencia a 60 °C

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Fuente: CTE DB HE

En el uso residencial privado el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los obtenidos con las tablas de número de dormitorios y el valor de centralización para edificios multifamiliares, a continuación:

Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Valor del factor de centralización:

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Fuente: CTE DB HE



La contribución solar mínima podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales ajenas a la propia instalación térmica del edificio. Se justificará documentalmente que las emisiones de CO₂ y el consumo de energía primaria no renovable son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la instalación solar térmica de referencia. El programa CHEQ4 permite realizar el cálculo de la contribución de energía solar térmica para ACS y verificar si se cumple con la mínima exigida..

Se tomarán además diversas precauciones recogidas en la norma DB-HE4 para su diseño, como el dimensionado del depósito acumulador, la protección frente al sobrecalentamiento de los paneles solares y la limitación de las pérdidas por orientación, inclinación y sombras circundantes.

NOTA:**CHEQ4**

Se recomienda utilizar el programa **CHEQ4** para la **justificación de la contribución mínima de energía solar térmica para ACS**. Es un documento reconocido por el IDAE que facilita incorporar una gran variedad de esquemas de instalaciones solares. Es especialmente útil por el nivel de detalle que emplea en su cálculo. Puede descargarse gratuitamente en la web del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT): <http://cheq4.idae.es/>

Para realizar el control de este tipo de sistemas se recomienda utilizar la **hoja de control en obra** que genera el programa **CHEQ4**, que se muestra en el ejemplo a continuación.

Ejemplo:Bloque de vivienda residencial privado en zona climática D1:

Se comprueba la demanda de ACS a 60 °C según CTE, el porcentaje de contribución solar conseguida y la justificación incluida en proyecto.

Num. Viv.	Dorm./viv.	Num. pers.	Litros/pers.	F. Centraliz.	Demanda ACS
26	20(x2)+6(x6)	60+24	28	0,85	1992,2

Especialmente se comprueba el cálculo de los paneles solares necesarios y su posicionamiento. Además, se comprueban los principales componentes del circuito solar ACS (depósito solar ACS, intercambiador, aislamiento de conducciones, etc).



CHEQ4



La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

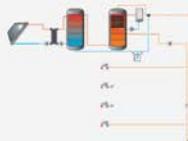
Datos del proyecto

Nombre del proyecto	Ejemplo ACS 26 viviendas
Comunidad	Alava
Localidad	Vitoria-Gasteiz
Dirección	-

Datos del autor

Nombre	AT
Empresa o institución	LCCE-GV
Email	termica@euskadi.eus
Teléfono	945 26 89 33

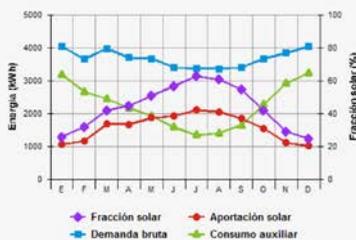
Características del sistema solar



Localización de referencia	Vitoria-Gasteiz (Álava)
Altura respecto la referencia [m]	0
Sistema seleccionado	Instalación con consumo múltiple totalmente centralizada
Demanda [l/día a 60°C]	1.999

Ocupación %	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Resultados



Fracción solar [%]	43
Demanda neta [kWh]	41.561
Demanda bruta [kWh]	44.302
Aporte solar [kWh]	19.150
Consumo auxiliar [kWh]	26.913
Reducción de emisiones de [kg de CO ₂]	4.134

Fuente: CHEQ4



Para el **control en obra**, se recomienda emplear la hoja de verificación que genera el programa CHEQ4, ya que recoge las características principales de cada uno de los componentes del sistema solar de ACS.

CHEQ4

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Parámetros del sistema		Verificación en obra
Campo de captadores		
Captador seleccionado		<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación		<input type="checkbox"/>
Número de captadores	18,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	6,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	5,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	45,0	<input type="checkbox"/>
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	603,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	15,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	15,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	13,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	70,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de polietileno	<input type="checkbox"/>
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera de baja temperatura	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
Acumulación		
Volumen [l]	4.000,0	<input type="checkbox"/>
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	15,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	15,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	70,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de polietileno	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	55,0	<input type="checkbox"/>
Distribución subestaciones		
Longitud del circuito de distribución [m]	25,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	15,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	70,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de polietileno	<input type="checkbox"/>

Fuente: CHEQ4

1.6. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

El DB-HE5 exige una contribución mínima de energía eléctrica obtenida por sistemas solares fotovoltaicos a los edificios terciarios de grandes dimensiones de la tabla inferior. Se aplica a los edificios de nueva construcción y a edificios existentes que se reformen íntegramente, cuando se superen los 5000 m2 de superficie construida.

Los tipos de uso de aplicación son:

- Hipermercado
- Multi-tienda y centros de ocio
- Nave de almacenamiento y distribución
- Instalaciones deportivas cubiertas
- Hospitales, clínicas y residencias asistidas.
- Pabellones de recintos feriales

Para calcular la potencia eléctrica mínima de la exigencia, se utiliza la fórmula y la tabla del apartado 2.2.1 del DB-HE5:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$

P: Potencia nominal a instalar [kW]
C: Coeficiente de zona climática
S: Superficie construida del edificio [m²].

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

Fuente: CTE DB HE

Para la justificación se utilizan unos ratios de producción y un porcentaje de pérdidas límite por orientación, inclinación y sombras; en comparación con una colocación óptima.

Ratios de producción por zona climática:

	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Horas equivalentes de referencia anuales (kWh/kW)	1.232	1.362	1.492	1.632	1.753

Fuente: CTE DB HE



Pérdidas límite:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición de módulos fotovoltaicos	20%	15%	30%
Integración arquitectónica de módulos fotovoltaicos	40%	20%	50%

Fuente: CTE DB HE

NOTA:

Existen diversos programas para realizar el cálculo de la contribución solar fotovoltaica de manera detallada. Se recomienda utilizar programas independientes y de ámbito europeo. Por ejemplo, el **PV-GIS** (Photovoltaic Geographical Information System) es gratuito y está disponible en <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

2. ¿Qué elementos constructivos definen el modelo térmico?

Cuando se diseña térmicamente un edificio se utilizan conceptos de tipos de espacios y elementos constructivos. El modelo del edificio se compone de diferentes tipologías de espacios conectados entre sí y con el ambiente exterior mediante los cerramientos, los huecos y los puentes térmicos.

En el apartado 5 de la sección DB-HE1 y en los apéndices A del DB-HE0 y DB-HE1, actualizado por la Orden FOM/1635/2013, se recogen de forma detallada las definiciones de las diferentes tipologías de espacios y tipos de elementos constructivos.

2.1. Tipología de los espacios

A continuación, se recogen unas definiciones fundamentales del Anexo del DB-HE 2013 para identificar y clasificar los espacios según su condición:

Recinto habitable: recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- a. Habitaciones y estancias en edificios residenciales.
- b. Aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente.
- c. Quirófanos, habitaciones, sala de espera, en edificios de uso sanitario.
- d. Oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo.
- e. Cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso.
- f. Zonas comunes de circulación en el interior de los edificios.
- g. Cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Recinto no habitable: recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo se exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.



Espacio habitable: espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes, agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética.

En función de su densidad de las fuentes internas, los espacios habitables se clasifican en espacios habitables de muy alta, alta, media o baja carga interna.

En función de la disponibilidad de sistemas de calefacción y/o refrigeración, los espacios habitables se clasifican en acondicionados a no acondicionados.

- **Espacio (habitable) acondicionado:** espacio habitable que va a disponer de un sistema de calefacción y/o refrigeración. En uso residencial privado se consideran acondicionados todos los espacios habitables.
- **Espacio (habitable) no acondicionado:** espacio habitable que no va a disponer de un sistema de calefacción y/o refrigeración. Al ser un espacio habitable dispone, sin embargo de fuentes internas (iluminación, ocupación y equipos). Se aplica a usos distintos del residencial privado, puesto que en este se consideran acondicionados todos los espacios habitables.
- **Espacio (habitable) de carga interna baja:** espacio habitable donde se disipa poco calor. Comprende los espacios destinados principalmente a residir en ellos, con carácter eventual o permanente. Corresponde a una densidad de las fuentes internas inferior a 6 W/m^2 .
- **Espacio (habitable) de carga interna media:** espacio habitable donde se genera una cantidad de calor, intermedia entre los espacios definidos con alta y baja carga interna. Corresponde a una densidad de las fuentes internas entre 6 W/m^2 y 9 W/m^2 .
- **Espacio (habitable) de carga interna alta:** espacio habitable donde se genera gran cantidad de calor por su ocupación, iluminación o equipos existentes. Corresponde a espacios con una densidad de las fuentes internas 9 W/m^2 y 12 W/m^2 .
- **Espacio (habitable) de carga interna muy alta:** espacio habitable donde se genera gran cantidad de calor. Corresponde a espacios con una densidad de las fuentes internas superior a 12 W/m^2 .

Espacio no habitable: espacio formado por uno o varios recintos no habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes, agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética. Al no ser un espacio habitable no se considera la existencia de fuentes internas (iluminación, ocupación y equipos).

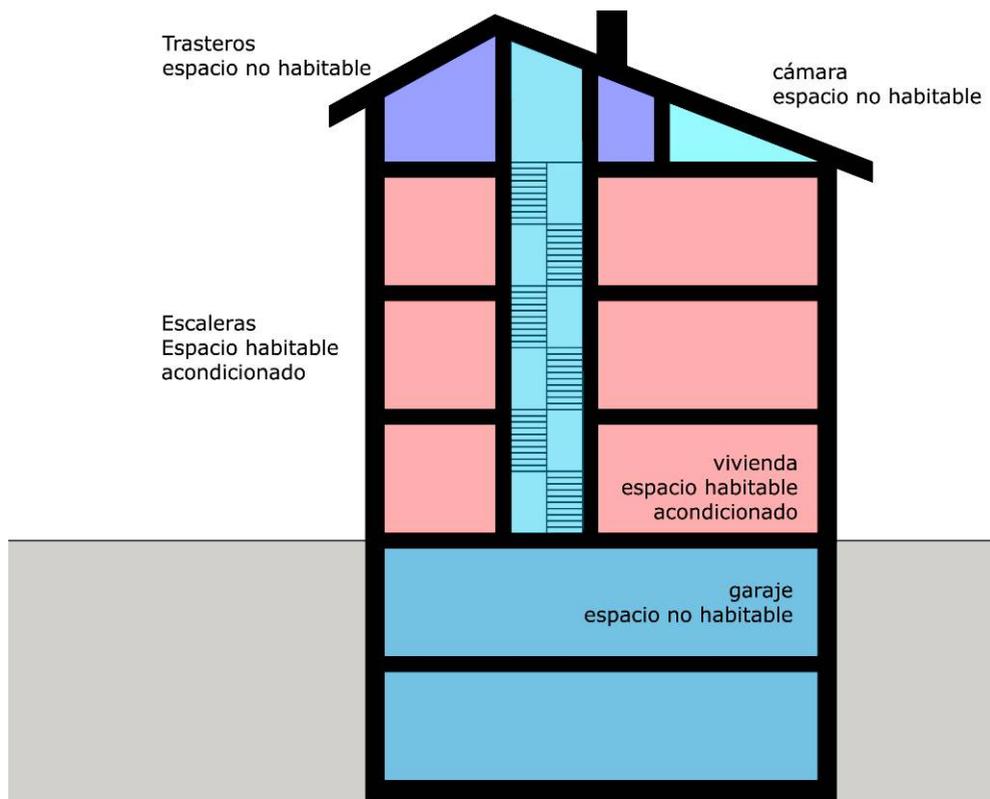


Figura 3. Esquema de los tipos de espacios en un edificio de uso residencial privado

2.2. Cerramientos opacos

Son los cerramientos que forman la envolvente térmica del edificio. Es decir, son aquellos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

Además, según el criterio del proyectista pueden incluirse en esta categoría los cerramientos de algunos espacios no habitables adyacentes a habitables. Esto permite incluir dentro de la envolvente térmica un local de instalaciones o un garaje en una vivienda unifamiliar, en caso de que resulte más interesante por cuestiones constructivas o de otra índole.

Por lo tanto, se consideran cerramientos opacos:

- Cubiertas: cerramiento en contacto con el aire exterior en su cara superior cuya inclinación sea inferior a 60° respecto a la horizontal.
- Muros (de fachada): cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal.
- Medianerías: cerramiento que linda con otro edificio ya construido o que se construya a la vez y que conforme una división común. Si el edificio se construye con posterioridad el cerramiento se considerará, a efectos térmicos, una fachada.
- Suelos: cerramiento horizontal o ligeramente inclinado que esté en contacto por su cara inferior con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.

2.3. Particiones interiores

Son los elementos constructivos del edificio que dividen su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

Las exigencias para las particiones interiores son diferentes cuando delimitan unidades del mismo uso o de distinto uso, zonas comunes y medianeras.

2.4. Huecos

Son los elementos transparentes o semitransparentes de la envolvente del edificio. Comprende las ventanas, lucernarios y claraboyas; así como las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%.

2.5. Puentes Térmicos

El CTE-DB-HE define puente térmico como la **zona** de la envolvente térmica del edificio en la que se **interrumpe la uniformidad** de un elemento en la envolvente. Esta variación puede ser por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la

diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. La Figura 4 muestra un anclaje y la Figura 5 recoge las ventanas en una rehabilitación con SATE.

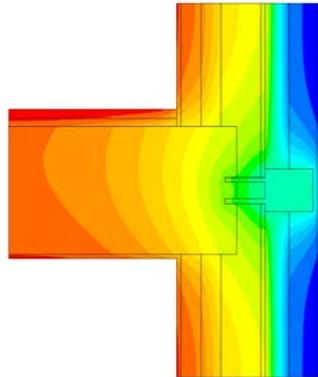


Figura 4. Perfil de temperatura en puente térmico de frente de forjado y fachada

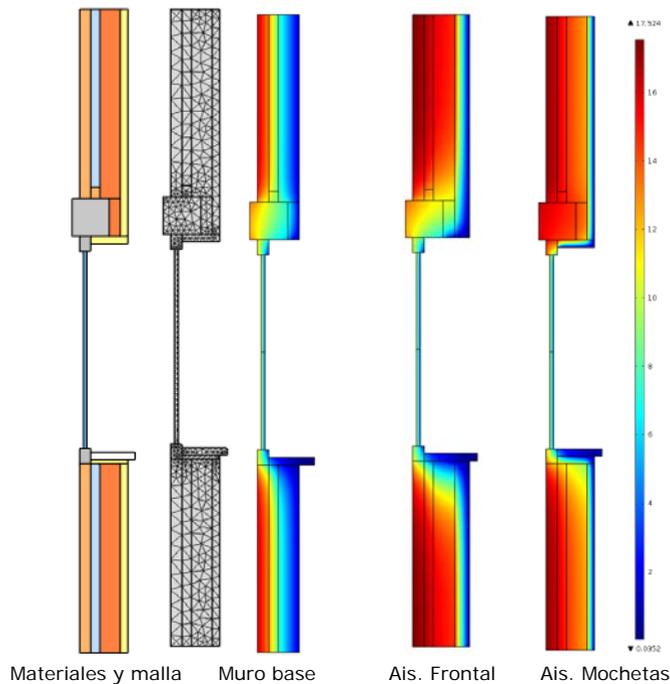
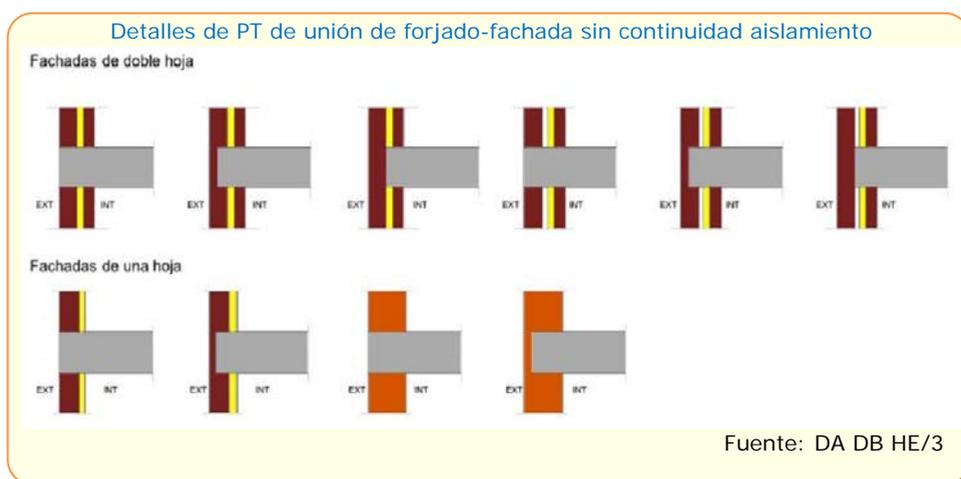


Figura 5. Ejemplos de puente térmico de ventana en rehabilitada con SATE (AT, 2015)

Los Puentes Térmicos (PT) son partes sensibles de los edificios donde aumenta la probabilidad de producción de condensaciones.

En la actualidad existe un **Atlas de Puentes Térmicos** reconocido por la normativa vigente estatal y que recoge una amplia variedad de PT con los valores de transmitancia térmica lineal (Ψ_i , Ψ_e) de cada tipología. Puede consultarse en el apartado 5 del documento adicional del **CTE DA DB-HE/3**. A continuación se muestra un ejemplo del Atlas de Puentes Térmicos, el caso del PT de frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada.



Transmitancia térmica lineal de unión de forjado-fachada sin continuidad aislamiento

		Ψ_e [W/mK]			Ψ_i [W/mK]		
		Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
		25	30	35	25	30	35
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,64	0,70	0,76	0,88	0,97	1,07
	0,44	0,67	0,74	0,81	0,81	0,91	0,99
	0,31	0,65	0,72	0,79	0,75	0,84	0,92
	0,27	0,64	0,71	0,78	0,72	0,81	0,89
	0,24	0,62	0,69	0,76	0,70	0,78	0,86

Fuente: DA DB HE/3

Se recomienda utilizar dicha clasificación ya que los principales programas de verificación de las exigencias del CTE como la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) o el CERMA incorporan dichos valores en su metodología de

cálculo. Sin embargo, existen otras clasificaciones de PT que aplican criterios diferentes en función del documento que se consulte.

Tanto es así, que incluso el mismo DB-HE aplica una clasificación diferente a nivel descriptivo que no coincide con el Atlas. A continuación se comparan la clasificación del CTE y la del Atlas de Puentes Térmicos DA DB-HE/3:

Tabla 1. Clasificaciones de Puentes Térmicos según fuente

Clasificación del CTE DB-HE2013	Clasificación del Atlas de PT
<p><u>PT integrados en los cerramientos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas - Contorno de huecos y lucernarios - Cajas de persianas - Otros PT integrados <p><u>Encuentro de cerramientos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Frentes de formado en las fachadas - Uniones de cubiertas con las fachadas - Cubiertas con pretil - Cubiertas sin pretil - Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno - Unión de fachada con losa o solera - Unión de fachada con muro enterrado o pantalla <p><u>Esquinas o encuentros de fachadas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Esquinas entrantes - Esquinas salientes <p><u>Encuentros de voladizos de fachadas.</u></p> <p><u>Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.</u></p>	<p><u>Pilares integrados en fachada</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Con ó sin continuidad de aislamiento <p><u>Jambas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Según el grado de continuidad de ais. <p><u>Dinteles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Según el grado de continuidad de ais. <p><u>Alféizares</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Según el grado de continuidad de ais. <p><u>Capialzados</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - PVC o madera con ó sin aislamiento - Metálicos <p><u>Frentes de forjados</u></p> <p>Con ó sin continuidad de aislamiento</p> <p><u>Cubiertas planas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Con ó sin continuidad de aislamiento <p><u>Esquinas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Salientes - Entrantes <p><u>Forjados inferiores en contacto con el aire exterior</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Con ó sin continuidad de aislamiento <p><u>Suelos en contacto con el terreno</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Con ó sin continuidad de aislamiento - Muros sin aislamiento

3. ¿Qué exige el DB-HS3 del CTE?

El Documento Básico HS3 del CTE establece las condiciones que deben cumplir para garantizar una adecuada calidad del aire interior en los edificios residenciales. Concretamente, el CTE DB-HS3 se aplica:

- En los edificios de viviendas, al interior de las viviendas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y garajes.
- En los edificios de cualquier otro uso, a los aparcamientos y garajes.

Para locales de otro tipo se deben cumplir las exigencias del RITE. Como se ha explicado anteriormente, los aspectos recogidos en el RITE quedan fuera del ámbito de la presente guía.

En primer lugar, los **caudales de ventilación** deben cumplir los valores mínimos de la tabla a continuación. Para ello se emplea el caudal necesario más elevado, bien sea impulsión o extracción, y se equilibra la instalación. Además, debe haber una ventilación adicional específica en la cocina de 50 l/s.

Caudales de ventilación mínimos exigidos DB-HS-3

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Fuente: CTE DB HS



El **diseño del sistema de ventilación** en viviendas debe cumplir las características del apartado 3.1.1 del HS3, resumidas a continuación:

- El movimiento del aire debe ser desde los locales secos a los húmedos.
- Como aberturas de admisión se dispondrán de aireadores o aperturas fijas en carpintería (microventilación, en posición de apertura clase 1 según UNE EN 12207:2000). Cuando las carpinterías exteriores sean clase 1, pueden considerarse como aberturas de admisión las juntas de las mismas (ver DB HS del CTE).
- Con ventilación híbrida, las aberturas de admisión deben comunicar directamente con el exterior.
- Los aireadores deben situarse a una distancia del suelo mayor que 1,80 m.
- La ventilación específica de la cocina se debe realizar mediante un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de ventilación general de la vivienda. Cuando sea compartido con otros por varios extractores, debe disponer de algún sistema antirrevoco.

Un aspecto primordial es el correcto **dimensionado de las aberturas de ventilación**, que debe cumplir las dimensiones mínimas de la siguiente tabla según su uso:

Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm^2

q_v : Caudal de ventilación mínimo exigido en el local l/s.

q_{va} : Caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de admisión en base al procedimiento de equilibrado empleado l/s.

q_{ve} : Caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de extracción en base al procedimiento de equilibrado empleado l/s.

q_{vp} : Caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de paso en base al procedimiento de equilibrado empleado l/s.

Aberturas de ventilación	Aberturas de admisión	$4 \cdot q_v$ ó $4 \cdot q_{va}$
	Aberturas de extracción	$4 \cdot q_v$ ó $4 \cdot q_{ve}$
	Aberturas de paso	70 cm^2 ó $8 \cdot q_{vp}$
	Aberturas mixtas ⁽¹⁾	$8 \cdot q_v$

Fuente: CTE DB HS



Además, los **conductos de extracción** deben cumplir unas dimensiones mínimas diferentes para ventilación mecánica o para un sistema híbrido.

Sección mínima de conductos de extracción en cm²

Conductos contiguos a local habitable:

$$S \geq 2,5 \cdot q_{vt}$$

q_{vt} : Caudal de aire en el tramo del
conducto (l/s).

Conductos en cubierta:

$$S \geq 1,5 \cdot q_{vt}$$

Fuente: CTE DB HS

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

CONTROL TÉRMICO

4. ¿Por qué es necesario aplicar un Control Térmico?

Los **requisitos de los edificios se han endurecido considerablemente** desde la primera versión del CTE DB-HE de 2006 hasta la última versión de 2013, como se ha visto en los apartados anteriores. En consecuencia, el **control de la ejecución en obra debe adaptarse para cumplir las nuevas exigencias** y garantizar la calidad de los resultados.

Además, en los próximos años las **exigencias van a seguir endureciéndose**. Las directivas europeas establecen que aproximadamente cada 5 años se deben actualizar las normativas estatales para seguir impulsando los avances del sector de la construcción. Por ello se estima que en 2017 o 2018 se publicará una nueva **versión revisada del DB-HE**, incluyendo nuevas exigencias y parámetros energéticos.

Así mismo, se prevee la publicación de una **nueva versión del DB-HS3** que endurecerá las exigencias para mejorar las condiciones de ventilación en los locales de viviendas. Esto evidencia que **la ventilación es un aspecto crítico** en el comportamiento energético de los edificios y afecta en la salud de los ocupantes. Además, influye directamente en la durabilidad de los materiales que componen los edificios.

Cada día falta menos para los plazos establecidos en la EPBD, la Directiva Europea de eficiencia energética en edificios 2010/31/EU. Dicha norma dice que **todos los edificios construidos** desde el 31 de diciembre de 2018 para los ocupados y de titularidad pública y desde el 31 de diciembre 2020 para el resto, deben ser **Edificios de consumo de Energía Casi Nulo** (EECN).

En este contexto normativo, los proyectos de ejecución de edificios actuales han desarrollado un diseño con **exigencias energéticas muy superiores** a los proyectos de años anteriores. Y sin embargo la incorporación de estos niveles de detalle al control en obra está siendo más lento y complicado.

Por todas estas razones, **es necesario implantar un Control Térmico** específico que ayude a adaptar el Control convencional y **mejore la calidad térmica** de los edificios actuales; acercando los procesos de construcción actuales hacia el horizonte cercano que forman los EECN.

4.1. Exigencias de control y condiciones en la ejecución de las obras

Las **condiciones en la ejecución de las obras** están definidas en la **Parte I del CTE**. Dentro del artículo 7 se establecen los criterios generales, el control de recepción en obra, el control de ejecución en obra y el control de la obra terminada.

En particular, el **Control de Calidad en la construcción** está regulado a nivel de la Comunidad Autónoma del País Vasco a través del **Decreto 209/2014**. En la sección primera de dicha norma, se extiende el control de calidad a la **fase de Proyecto**, dentro del denominado Plan de Control de Calidad. En la sección segunda incluye el procedimiento de Control de Calidad de la obra, con las exigencias de **recepción en obra y ejecución de obra**, para asegurar la trazabilidad de la obra y su recopilación a efectos de su posterior inclusión en la documentación final de la obra, de acuerdo con lo establecido en el CTE. En la sección tercera regula los procedimientos de la **obra terminada**, para la obtención y el visado del Certificado de Final de Obra como documento garante de la calidad de la obra. La Figura 6 muestra las etapas con los agentes encargados y los contenidos principales del decreto se resumen más adelante.

Para la realización del **Libro de Control de Calidad** en la Comunidad Autónoma del País Vasco se emplean las **fichas normalizadas** publicadas en la **Orden del 16 de abril del 2008**. Existe una previsión de actualizar las fichas normalizadas eventualmente, tal y como adelanta el Decreto 209/2014 en su disposición transitoria.

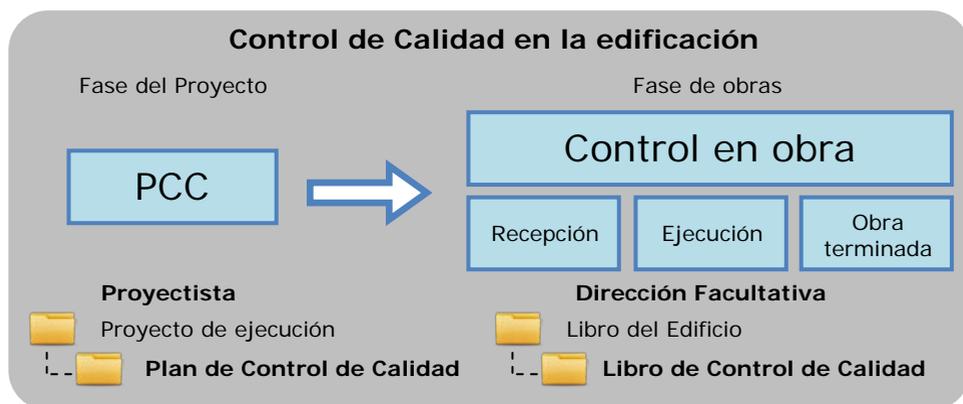


Figura 6. Esquema del Control de Calidad en la edificación

Los **contenidos mínimos del Plan de Control de Calidad** a realizar durante la fase de proyecto (según el citado Decreto 209/2014) son:

- Memoria descriptiva de la obra y normativa aplicable
- Criterios para la recepción en obra
- Previsión de los productos, equipos o sistemas a ensayar
- Criterios para el control de ejecución de la obra, según art. 7.3 del CTE
- Verificaciones y pruebas de servicio que han de realizarse para comprobar las prestaciones finales del edificio
- Valoración económica del Plan de Control de Calidad, especificando número y coste de los ensayos, análisis y pruebas previstas.

Durante las obras, la Dirección Facultativa (DF) coordinará el Control de Calidad. Para la **recepción** de los materiales, equipos y sistemas, los suministradores aportarán la documentación correspondiente y la **DF verificará si es suficiente, e indicará la realización de los ensayos y pruebas** que estime oportunas. La aceptación o rechazo de los materiales y unidades se reflejará en las **fichas normalizadas**.

En caso de no ser conformes a lo especificado en el Proyecto de Ejecución, la DF establecerá y justificará las **medidas correctoras oportunas**, dejando constancia de estas tanto en el Libro de Órdenes y Asistencias como en las fichas normalizadas, que se incorporarán al Libro de Control de Calidad.

Los **contenidos mínimos del Libro de Control de Calidad** son:

- Registro de agentes intervinientes
- Controles realizados
- Resultados de ensayos, pruebas y análisis durante la recepción y verificaciones y pruebas de servicio en ejecución y obra terminada.
- Fichas normalizadas cumplimentadas
- Certificación de los ensayos realizados por Laboratorios
- Documentación justificativa de los laboratorios
- Documentación relativa a certificados de garantía, distintivos, marcas o sellos de calidad, homologaciones, y similares
- Documentación de origen de los productos y materiales
- Documentación relacionada con el rechazo de materiales o unidades de obra y las medidas correctoras adoptadas
- Modificaciones de calidades o especificaciones respecto al Proyecto

Por lo tanto, la normativa actual exige que el **Proyecto de ejecución planifique los criterios de recepción en obra y los ensayos de verificación necesarios**, en el Plan de Control de Calidad (PCC). Durante la obra, el Libro de Control de Calidad (LCC) debe incluir un registro de todas las verificaciones y los controles realizados en obra, cumplimentando al menos las fichas normalizadas.

Sin embargo, las **fichas normalizadas están centradas en la recepción y no incluyen apartados específicos para el control de ejecución en obra**. Pese a que con las exigencias crecientes del CTE **cada vez es más necesario un control de ejecución más exhaustivo**. Además, actualmente sólo hay dos fichas destinadas a los aspectos térmicos: la ficha de ahorro energético y la ficha de carpinterías. De este modo, el control de ejecución en obra queda poco definido en su conjunto y complica los controles a realizar por la DF.

Por último, conviene recordar que la Parte I del CTE (art. 7.3) y el Decreto 209/2014 (art. 8) exigen que la **Dirección Facultativa verifique la correcta ejecución**, mediante las verificaciones, comprobaciones y pruebas de servicio necesarias **“para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto”**. No se indica la obligatoriedad de ensayos, pero sí establece que debe verificar la correcta ejecución bajo las condiciones establecidas en las normas.

Como conclusión:

Para poder satisfacer las crecientes exigencias del CTE es necesario realizar un control suficiente de los aspectos térmicos, para poder comprobar la conformidad de lo ejecutado con lo indicado en el proyecto de ejecución.

La presente guía propone unos **procedimientos de control** para completar el mínimo legal actual: PCC y fichas normalizadas. Comienza con una **planificación** que se podría incluir en el Plan de Control de Calidad. Seguido de un control de **recepción** específico que recoge en detalle los principales parámetros térmicos para mejorar su verificación. A continuación se propone una comprobación de la **ejecución** en obra, atendiendo en detalle al montaje y a las prestaciones finales de cada unidad de obra. Finalmente, se proponen unas comprobaciones finales en **obra terminada** que permiten consignar el comportamiento final del edificio en el Libro de Control de Calidad.



5. ¿Cómo realizar el control de obra que me ayude a cumplir lo establecido en el diseño térmico del proyecto?

Las **condiciones en la ejecución de las obras** están definidas en la **Parte I del CTE**. El artículo 7 establece los criterios generales, el control de recepción en obra, el control de ejecución en obra y el control de la obra terminada. En los capítulos de cada etapa se detallan los niveles de obligatoriedad.

Los contenidos mínimos del Control de Calidad en la construcción están definidos en la Comunidad Autónoma del País Vasco según el Decreto 209/2014 y se emplean las fichas normalizadas de la Orden del 16 de abril del 2008.

La presente guía presenta un **procedimiento complementario** para verificar las distintas etapas de control. El objetivo principal del Plan de Control es **verificar la correcta ejecución en obra y cumplir la demanda energética** definida en el proyecto de ejecución.

*El **Control Térmico** prioriza **dos aspectos**:*

*La **comprobación de la envolvente térmica**. Es decir, para poder cumplir las exigencias del CTE de Ahorro de Energía es necesario **comprobar el aislamiento térmico** de los principales cerramientos y particiones in-situ. Se propone verificar los materiales y productos más relevantes a efectos térmicos de forma más exhaustiva; incluyendo su correcta ejecución.*

*La **ventilación adecuada de los espacios**, tanto una **estanqueidad** más controlada como el **funcionamiento de los sistemas de ventilación**. Para su control se propone realizar un **ensayo de puerta ventilador** durante la obra. Así, se detectan las irregularidades y se corrigen a tiempo, antes de seguir avanzando en la obra. Para que este ensayo sea útil, es imprescindible que los elementos de estanqueidad estén accesibles durante su realización.*

El Control Térmico está compuesto por **cuatro etapas**:

- Etapa 1: planificación del control
- Etapa 2: control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas
- Etapa 3: control de ejecución de la obra
- Etapa 4: control de la obra terminada

A continuación se han resumido las cuatro etapas del procedimiento en los apartados 5.1 a 5.4. Para conocer los **detalles específicos de cada etapa**, se recomienda consultar los apartados 7, 8, 9 y 10.

Para los **responsables del Plan de Control de Calidad** del proyecto y los del **Control de Calidad** en la obra, se ha desarrollado un **conjunto de fichas** como herramienta para controlar los aspectos más importantes de cada etapa (ANEXOS). La utilización de estas fichas facilita aplicar la metodología de forma ordenada y consignar los resultados e incidencias. Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

La Figura 7 en la página siguiente muestra la estructura de la presente Guía y las cuatro etapas del Control Térmico.

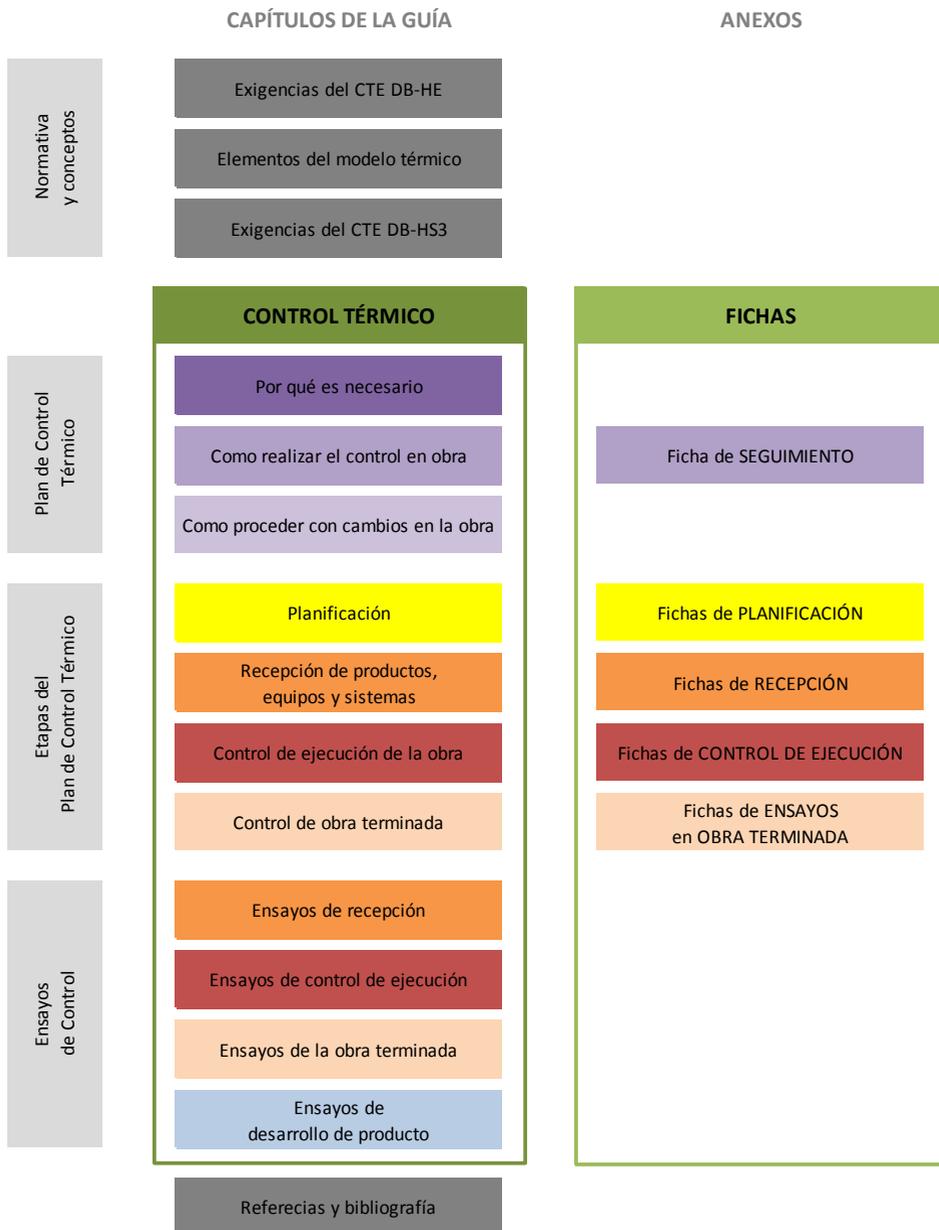


Figura 7. Estructura de la Guía de Control Térmico del LCCE-GV

5.1. Comprobar las características térmicas definidas en el proyecto de ejecución

En el proyecto deben estar definidos todos los aspectos necesarios para la planificación. Se revisará la existencia de todos los detalles suficientes para la ejecución de la obra. Finalmente, se planificarán las comprobaciones o ensayos adecuados al nivel de complejidad del edificio, considerando además los productos, equipos y sistemas a instalar.

La ficha P6 del ANEXO II permite anotar todos los procedimientos previstos y comprobar la necesidad de aplicar el Protocolo de Control del Certificado de Eficiencia Energética del Edificio.

Características de los cerramientos, particiones y huecos:

En el proyecto de ejecución estarán **recogidos los valores de aislamiento** de los elementos constructivos.

Fachada: R_f y U_f

Cubierta: R_c y U_c

Suelo: R_s y U_s

Ventana: U_h y **clase de permeabilidad al aire**

Partición vertical entre espacios acondicionados: $R_{pv,aa}$ y $U_{pv,aa}$

Partición horizontal entre espacios acondicionados: $R_{ph,aa}$ y $U_{ph,aa}$

Partición vertical entre espacio acondicionado y no acondicionado: $R_{pv,an}$ y $U_{pv,an}$

Partición horizontal entre espacio acondicionado y no acondicionado: $U_{ph,an}$

Estos valores se calcularán siguiendo las indicaciones del DA DB-HE/1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente". En él se recogen en detalle los parámetros térmicos que caracterizan a cada elemento constructivo y su cálculo. Por otra parte, en el apartado 7.1 del presente documento se dan las normas de ensayo aplicables para la obtención de dichos parámetros.

Se dispondrá de un **documento justificativo** del aislamiento térmico aportado por el elemento constructivo, que incluya detalles constructivos y características de cada material/producto que lo componen. En el apartado 8 de este documento se citan los posibles documentos justificativos.



En el ANEXO II se presentan las fichas de seguimiento (fichas P1, P2 y P3) para la verificación de los valores de aislamiento térmico de los elementos constructivos.

De forma complementaria, existen procedimientos normalizados para algunos productos y materiales, como por ejemplo, el **procedimiento** de la **Norma UNE 92325:2016** "Productos de aislamiento térmico en la edificación y cerramientos acristalados. Control de la instalación". Según la citada norma, el proyecto deber contener al menos la siguiente información:

- Características de los materiales aislantes:
 - o Conductividad Térmica
 - o Resistencia Térmica
 - o Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua.
- Características de los cerramientos acristalados:
 - o Transmitancia térmica del vidrio y marco
 - o Factor Solar modificado del vidrio
 - o Naturaleza del marco
 - o Absortividad del marco
 - o Permeabilidad al aire de la carpintería
- Descripción de los cerramientos
 - o Material y espesor de cada capa que compone el cerramiento
- Ubicación de cada cerramiento en la construcción (listado, indicación sobre planos).
- Solución adoptada en todos los puentes térmicos (jambas, alfeizares, registros de persiana, dinteles, pilares, frentes de forjado, etc.) especificando detalles gráficos y los requisitos técnicos de los materiales (características térmicas y sus espesores).

Características de los sistemas de ventilación:

La ventilación de los espacios habitados afecta entre un 30 - 70% de la demanda energética conjunta en los edificios diseñados según el CTE-HE-2013. Por ello, se considera un aspecto primordial en el comportamiento energético de los edificios.

En el proyecto deben figurar los cálculos realizados de acuerdo al DB-HS3, de los caudales de ventilación de las estancias del edificio, el dimensionado de las



aberturas de ventilación, los conductos de extracción e impulsión y el resto de componentes que formen el sistema.

En el ANEXO II se presenta la fichas de planificación para la verificación de los valores de la ventilación (ficha P4).

Características de los sistemas de iluminación:

Dado que el DB-HE establece unas condiciones mínimas para los equipos de iluminación, se comprobarán los valores indicados para las zonas de aplicación. En el ANEXO II se presenta una ficha para la verificación de los valores de iluminación (ficha P5).

5.2. Recepcionar los materiales y productos que componen los elementos constructivos y los sistemas

Consiste en realizar la recepción de los materiales y productos que componen cada tipología de elemento constructivo, verificando que sus características son conformes con las de proyecto y documento justificativo de prestaciones asociado.

Ejemplos:

Aislamientos térmicos: tipo, espesor, conductividad térmica, factor de resistencia a la difusión de vapor al agua, posición del aislamiento (lado interior de la cámara, lado exterior de la cámara, exterior o interior), densidad,...

Fábricas: densidad, conductividad térmica, espesor,...

Revestimiento de las fábricas: tipo, conductividad térmica, espesor,...

Estructuras de hormigón integradas en la envolvente térmica: densidad del hormigón, conductividad térmica,...

Huecos: espesores de los vidrios, existencia de lámina bajo emisiva y su posición, factor solar modificado del vidrio, tipo de marco, absortividad del marco, permeabilidad al aire de la carpintería, aislamiento en la caja de persianas,...

Paneles de acabado interiores y exteriores: tipo, espesor, densidad,...

La variación de un producto, de sus características o las posibles imperfecciones en el producto puede hacer variar el resultado de aislamiento térmico total del elemento constructivo, especialmente en el caso de los materiales aislantes.

Por ello, en el apartado 8 se detalla el procedimiento recomendado a seguir en la recepción de los materiales, y también se adjuntan fichas en el ANEXO III (fichas R1, R2 y R3) como guía en el presente documento.

De forma análoga, durante la obra también se verificará la recepción de los elementos de los **sistemas de ventilación** acorde a sus especificaciones, empleando la ficha R4 del ANEXO III.

5.3. Controlar la correcta ejecución de los elementos constructivos y los sistemas de ventilación

Ejecución de los cerramientos, particiones y huecos:

En fase de ejecución es tan importante controlar la correcta ejecución de cada elemento constructivo, como su encuentro con el resto de elementos. De nada sirve un proyecto con el aislamiento bien dimensionado si luego, por cualquier motivo, no se instala en la obra o se instala incorrectamente.

Para el control en obra se deberá:

- Seguir estrictamente la definición de las soluciones constructivas en el proyecto. Deben construirse de acuerdo a lo establecido en el informe o documento en el que se hace referencia a su aislamiento térmico.

Ejemplo:

Chequear los espesores de cada material que compone el elemento constructivo, la posición del aislamiento en la cámara,...



- Ejecutar estrictamente la solución adoptada en el proyecto para los puentes térmicos. La unión de cada elemento constructivo con el resto de elementos debe ejecutarse acorde a lo establecido en el proyecto.

Ejemplo:

Si en el proyecto está establecido, por ejemplo que un puente térmico de un pilar integrado en la fachada se soluciona con la colocación de vidrio celular, controlar que se ejecuta de esa manera.



- Verificar la correcta ejecución de materiales aislantes en cada elemento constructivo.

Ejemplo:

Si en el proyecto se establece un espesor determinado de PUR en un elemento constructivo, controlar en varios puntos que sea de dicho espesor y uniforme en todo el elemento constructivo.





En el apartado 9 de la presente guía se amplía la información para la realización de un buen control de ejecución. Se indican puntos a controlar y se incluyen una serie de fichas de apoyo en el ANEXO IV (fichas E1, E2 y E3).

Ejecución de los sistemas de ventilación:

Se verificará la **correcta instalación** de las aberturas de ventilación, los conductos de extracción/impulsión y los equipos de ventilación mecánica controlada para garantizar los caudales de ventilación declarados en el proyecto.

Otro aspecto clave para poder conseguir una correcta ventilación es controlar la ejecución de los elementos constructivos de forma exhaustiva para garantizar la **estanqueidad al aire** de la envolvente. Las infiltraciones son un parámetro que no puede controlar sólo desde el proyecto y que puede desequilibrar el sistema de ventilación de forma considerable. Para mejorar este control, se recogen unas pautas en el apartado 9.

5.4. Verificar el resultado del edificio terminado

Consiste en realizar verificaciones en el edificio una vez finalizada la obra mediante ensayos propuestos en el apartado 13 u otros. Por una parte, para verificar el cumplimiento de las exigencias de norma y las requeridas por el promotor, y por otra parte, para determinar las calidades constructivas del edificio.

Ejemplos:

Termografía: Verificar el comportamiento térmico homogéneo de los cerramientos del edificio terminado y confirmar la ausencia de irregularidades significativas.

Gases trazadores: Verificar el cumplimiento de los caudales de ventilación de una estancia exigencidos por el DB HS3.

6. ¿Cómo proceder cuando se propone un elemento constructivo diferente al contemplado?

En el caso de que haya una modificación o variación en la solución constructiva ejecutada respecto a la definida en el proyecto, es vital comprobar si **cambia** o **no cambia** la **resistencia térmica** del elemento constructivo.

Además, Las modificaciones en obra pueden modificar el resultado de la **Demanda Energética Conjunta** del edificio (que incluye calefacción y refrigeración) e incluso incumplir las exigencias normativas aplicables. La Demanda Energética Conjunta se calcula en función de los parámetros explicados desde los apartados 2 y 3 (características térmicas de los elementos constructivos y el sistema de ventilación). Por ello, cada modificación en estos parámetros en la fase de diseño, recepción de materiales o ejecución en la obra requiere una verificación del valor declarado de la demanda energética conjunta.

Para estos cálculos se recomienda utilizar las **herramientas oficiales** reconocidas por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y que son utilizadas para la justificación del Código Técnico de la Edificación (HULC, CERMA, CE3x, etc).

6.1. Si la nueva solución constructiva propuesta EMPEORA las prestaciones térmicas

Es necesario revisar la demanda energética conjunta del edificio, ya que el cambio en un elemento constructivo puede afectar al comportamiento energético de un edificio entero.

En este caso, se debe **cuantificar el empeoramiento** que supone en el edificio conjunto y si es necesario compensar su efecto con **mejoras complementarias** en las prestaciones térmicas de otros elementos.

Además, se debe comprobar que pese al aumento en la demanda energética, siga cumpliendo los **requisitos del DB-HE1** o los objetivos específicos del proyecto.

El empeoramiento de las prestaciones térmicas de un elemento constructivo también **puede afectar a los puentes térmicos** en encuentros con otros elementos. Por ello, es otro aspecto a controlar.

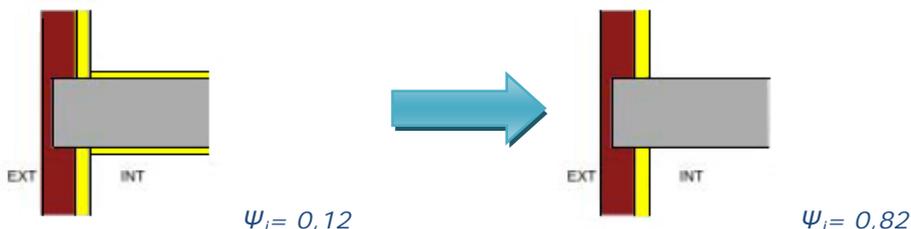
También se deberá comprobar que no se produzcan **condensaciones superficiales e intersticiales** debido a la modificación en un elemento constructivo. El procedimiento para esta comprobación se detalla en el **DA DB-HE/2** "Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos".

Por último, la dirección facultativa debe notificar al **Agente de Control de la Certificación de Eficiencia Energética (CEE)** acerca de las modificaciones habidas para que éste lo tenga en cuenta a la hora de realizar el Control de la CEE del edificio terminado.

Ejemplo:

Eliminar el aislamiento en un forjado intermedio.

Se calcula el empeoramiento en el puente térmico del encuentro del forjado con la fachada y el consecuente aumento de la demanda energética de calefacción.



Con la modificación la transmitancia lineal interior (Ψ_i) aumenta de 0,12 a 0,82.

Para el cálculo de la demanda se considera un edificio unifamiliar de referencia rectangular de dos plantas, con las siguientes prestaciones térmicas:

- Fachada: $U=0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Cubierta: $U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Ventanas: $U=1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Suelo $U=0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Ventilación $0,63 \text{ h}^{-1}$
- Zona Climática D1
- Porcentaje de ventanas de 30% en todas las orientaciones



Demanda del edificio en el proyecto (cálculos realizados en la HULC):

- $29,96 \text{ kWh/m}^2\text{K} < D_{lim} 34,11 \text{ kWh/m}^2\text{K}$

Demanda del edificio modificado:

- $35,41 \text{ kWh/m}^2\text{K} > D_{lim} 34,11 \text{ kWh/m}^2\text{K}$

Con la modificación ya no se cumpliría la demanda límite del CTE HE 1. Por lo tanto, se debe tomar alguna medida compensatoria. Una de ellas, por ejemplo, podría ser mejorar las ventanas sustituyéndolas por unas con $U=1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Demanda del edificio modificado compensado:

- $32,25 \text{ kWh/m}^2\text{K} < D_{lim} 34,11 \text{ kWh/m}^2\text{K}$.

6.2. Si la nueva solución propuesta NO EMPEORA las prestaciones térmicas

En este caso también es necesario revisar la demanda energética conjunta del conjunto del edificio y cuantificar la mejora en la demanda y calificación final del edificio, ya que el cambio en un elemento constructivo puede afectar al comportamiento energético de un edificio entero.

Como en el caso anterior, también se deberá comprobar que no se produzcan **condensaciones superficiales e intersticiales** debido a la modificación en un elemento constructivo. El procedimiento para esta comprobación se detalla en el **DA DB-HE/2** "Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos".

Por último, la dirección facultativa también debe **notificar al Agente de Control de la CEE** de las modificaciones habidas para que este lo tenga en cuenta a la hora de realizar el Control de la CEE del edificio terminado.

Ejemplo:

Modificar el tipo de aislamiento de fachada por otro de mejor conductividad.

Se ha planteado la sustitución de Lana Mineral ($\lambda=0,036$ W/mK) por el poliuretano proyectado ($\lambda=0,028$ W/mk) manteniendo el mismo espesor.

Se parte del edificio de referencia definido en el apéndice D del DB HE1 y se aplica esta modificación a la fachada. De esta forma, primeramente se mejora la transmitancia térmica de la fachada y en consecuencia la demanda del edificio.

Uf proyecto: $U=0,30$ W/m²K



Uf modificada: $U=0,22$ W/m²K

Demanda del edificio en el proyecto:

- 29,96 kWh/m²K < D_{lim} 34,11 kWh/m²K

Demanda del edificio en el proyecto modificado:

- 28,53 kWh/m²K < D_{lim} 34,11 kWh/m²K

Si al edificio de referencia se le añade una caldera de condensación y una cobertura solar renovable de ACS de 30% se obtiene la calificación energética para el edificio de proyecto y el modificado para comprobar si el cambio del tipo de aislamiento afecta o no en la en la calificación final.

Calificación energética por consumo de energía primaria en proyecto:

- A 48,3 kWh/m² año

Calificación energética por emisiones de CO2 en proyecto:

- B 12,4 kgCO2/año

Calificación energética por consumo de energía primaria en proyecto modificado:

- A 46,7 kWh/m² año

Calificación energética por emisiones de CO2 en proyecto modificado:

- A 12,1 kgCO2/año

Por lo tanto se observa que la sustitución del tipo de aislamiento puede llegar a modificar la Calificación de Eficiencia Energética de edificio terminado.

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

ETAPAS DEL
CONTROL TÉRMICO

7. Etapa 1: planificación del control

El objetivo de este apartado es **identificar los aspectos clave** del control de calidad para el comportamiento térmico del edificio **y planificar el desarrollo de la obra** para poder realizar de manera óptima las verificaciones y correcciones necesarias.

Para poder realizar una correcta planificación de la obra y su control, es necesario revisar el control de calidad de las prestaciones térmicas en su conjunto y destacar los **pasos a realizar** en la etapa preliminar de **planificación**:

- **Verificación de las prestaciones térmicas de los elementos constructivos (ver ANEXO II- ficha P1)**. El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las características de los cerramientos, particiones y materiales aislantes (composición de los cerramientos, propiedades térmicas de los materiales, ubicación en el edificio...)
- **Verificación de las prestaciones térmicas de las carpinterías y cerramientos acristalados (ver ANEXO II-ficha P2)**. El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las características de las carpinterías y otros cerramientos acristalados (propiedades térmicas de los elementos, dimensiones, ubicación en el edificio...)
- **Verificación de los puentes térmicos y los encuentros constructivos (ver ANEXO II- ficha P3)**. El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las características de los puentes térmicos y encuentros constructivos (identificación del puente térmico, soluciones de estanqueidad...).
- **Verificación de los sistemas de ventilación (ver ANEXO II-ficha P4)**. El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las características de los sistemas de ventilación (prestaciones de los equipos, diseño del sistema...).

- **Verificación de las instalaciones de Iluminación (ver ANEXO II-ficha P5).** El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las características de los sistemas de iluminación (la eficiencia de las instalaciones, sistemas de control, aprovechamiento de la luz natural...).
- **Programación de ensayos y control de la CEE (ver ANEXO II-ficha P6).** El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar en el proyecto de ejecución la previsión de ensayos, comprobaciones o pruebas de servicio.
- **Control de los resultados de los ensayos de Control de Calidad realizados para el desarrollo de productos (ver ANEXO V-ficha T1).** El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe recoger los resultados de los ensayos realizados: conductividad térmica de materiales aislantes, THASYS de materiales conductivos, transmitancia térmica de muros, transmitancia térmica de ventanas...

La Figura 8 resume los principales ensayos de Control para cada etapa, pueden verse en detalle en los apartados 11, 12, 13 y 14.

ELEMENTOS ENSAYADOS	DESARROLLO DE PRODUCTO	RECEPCIÓN	EJECUCIÓN	FINAL DE OBRA
Materiales aislantes	Conductividad	Conductividad		
	THASYS	THASYS		
Cerramientos y particiones	Caja caliente Muro			Termografía IR
	PASLINK			R in-situ
Carpinterías	Caja Caliente de Ventana	Caja Caliente de Ventana		
Estanqueidad			Puerta Ventilador en obra	Puerta Ventilador de final de obra
Ventilación				Gases Trazadores

Figura 8. Principales ensayos de control de calidad de los aspectos térmicos

7.1. Parámetros térmicos que caracterizan a los elementos constructivos

Para obtener las prestaciones térmicas requeridas al edificio, se exige a los elementos constructivos determinados **valores globales** de **aislamiento térmico** medidos en laboratorio (transmitancia térmica, permeabilidad al aire,...).

La Tabla 2 recoge los principales parámetros térmicos a controlar, necesarios para cumplir con las prestaciones finales del edificio terminado.

Tabla 2. Parámetros térmicos característicos de los elementos constructivos

ELEMENTO CONSTRUCTIVO		PARÁMETRO TÉRMICO	
Cerr. opacos Verticales	Muro (fachada)	U [W/m ² K] R _t [m ² K/W] C _p [J/kgK]	Transmitancia térmica Resistencia Térmica Capacidad calorífica
	Medianera		
	Partición interior		
Cerr. opacos Horizontales	Cubierta	λ [W/mK] ρ [kg/m ³]	Conductividad térmica Densidad
	Forjado		
	Suelo		
Cerr. acristalados y vidrios	Ventana y/o hueco	U _h [W/m ² K] U _m [W/m ² K] U _v [W/m ² K] U _{cp} [W/m ² K] g [%] clase [m ³ /h]	Trans. térmica del hueco Trans. térm. de marco Trans. térm. de vidrio Trans. Térm. caja persiana Factor solar Permeabilidad al aire
	- Caja de persiana		
	- Marco		
	- Vidrio		
Puentes Térmicos	Tipos:	Ψ _i [W/mK]	Trans. Térm. Lineal Interior
	- Pilares integ. fachada		
	- Jambas		
	- Dinteles		
	- Alféizares		
	- Capialzados	Ψ _e [W/mK]	Trans. Térm. Lineal Exterior
	- Frontes de forjados		
	- Cubiertas planas		
	- Esquinas		
	- Forj inf.cont. aire ext.		
- Suelos cont. terreno			

La Tabla 3 muestra las normas de referencia para la realización de ensayos, mediciones o cálculos de los anteriores parámetros.

Tabla 3. Normas de ensayo para medir o calcular los parámetros térmicos

PARÁMETRO TÉRMICO		NORMA DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
Materiales y productos	λ [W/mK]	UNE-EN 12667:2002 ASTM C-1114	Ensayo aislantes térmicos (conductivímetro) Ensayo materiales conductores (THASYS)
	C_p [J/kgK]	Procedimiento red DYNASTEE	Ensayo determinación inercia térmica (modelo RC)
	ρ [kg/m ³]	UNE-EN 1602:2013 UNE-EN 1015-10:2000 UNE EN 14315-2	Ensayo densidad aparente de productos aislantes Ensayo de densidad de morteros para albañilería Medición densidad de PUR
Cerramientos completos	R_t [m ² K/W]	Procedimiento red DYNASTEE UNE-EN ISO 8990:1997 ISO 9869:1998 UNE-EN ISO 6946:2012	Ensayo determinación inercia térmica (modelo R-C) Ensayo de Caja Caliente Guardada para Muros Ensayo transmitancia in-situ Método de cálculo de la R_t
Ventanas y huecos	U_h [W/m ² K]	UNE-EN ISO 12567- 1:2011	Ensayo de Caja Caliente Guardada para Ventanas
	U_m [W/m ² K]		
	U_v [W/m ² K]		
	clase [m ³ /h]	UNE-EN 12207:2000 UNE-EN 1026:2000	Permeabilidad al aire de puertas y ventanas. Clasificación.
	g [%]		
Puentes Térmicos	ψ_i [W/mK] ψ_e [W/mK]	UNE-EN ISO 14683:2007 UNE-EN ISO 10211:2007	Método de cálculo simplificado Método de cálculo detallado

De forma similar, el DB-HS-3 exige a los componentes que componen los sistemas de ventilación unos valores medidos o justificados adecuadamente en cada caso. La Tabla 4 muestra los principales parámetros térmicos y energéticos, necesarios para cumplir unas prestaciones de ventilación finales.

Adicionalmente, se han incluido *otros parámetros complementarios no incluidos en la norma* pero que caracterizan el consumo energético de los equipos de ventilación y permiten controlar mejorar las prestaciones finales.

Tabla 4. Parámetros característicos de la ventilación en viviendas

ELEMENTO DE LA VENTILACIÓN		PARÁMETRO	
Local	Ventilación mínima	q_v [l/s]	Caudal vent. min. Local
Huecos	Permeabilidad al aire 1	clase [l/sm ²]	Caudal en microventilación
Aberturas de ventilación	Admisión	A_e [c m ²]	Área efectiva máxima
	Extracción	q_{va} [l/s]	Caudal vent. abertura adm.
	De paso	q_{ve} [l/s] S [cm ²]	Caudal vent. abertura ext. Área nominal de paso
Conductos	De extracción	S [cm ²]	Sección nominal cond. ext.
		q_{vt} [l/s]	Caudal en tramo
		W, X, Y Z T-1, 2, 3 ó 4	Zona térmica Clase de tiro
Calidad de Aire Interior	Unidades de Ventilación	q_{max} [m ³ /h]	Caudal máximo
		SFP [W/(m ³ /s)]	Pot. Específica Ventiladores
		Nivel acústico	Ruido emitido
		μ [%]	Eficiencia Recup. Calor
		Filtros	Clase de Filtro
		Regulación Bypass	Control de caudal de vent. Refrescamiento pasivo

8. Etapa 2: control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas

El concepto de recepción de materiales en una obra va unido al concepto de tipo de verificación y lotes a verificar. La consecución de unas prestaciones térmicas en el edificio está relacionada con el aislamiento térmico de cada elemento constructivo y las instalaciones de acondicionamiento y ventilación.

Este apartado está enfocado al control en obra de los materiales y productos que aportan la parte principal de la resistencia térmica de los componentes del edificio: los aislamientos térmicos, las carpinterías y los sistemas de ventilación.

Ejemplo:

Fachada ventilada con aislamiento y cámara de aire:

En proyecto se indica un cerramiento de doble hoja con cámara y aislamiento de lana mineral de 60mm de 0,036 W/mK y con barrera de vapor exterior.

Se deberá supervisar que el aislamiento térmico recepcionado y su montaje en obra (materiales aislantes, montaje, juntas, etc.) garanticen esos valores.

En el documento justificativo del aislamiento térmico, estará indicado el formato (panel o manta), así como el material (densidad de lana mineral), los materiales auxiliares de montaje y otras características específicas del sistema o producto.

La dirección facultativa debe verificar el cumplimiento de las exigencias del CTE de los productos, equipos y sistemas. Se propone realizar unas actuaciones de seguimiento según las fichas R1, R2, R3 y R4 del ANEXO III:

- **Recepción de materiales aislantes (ANEXO III- ficha R1).** Además de las actuaciones que se repiten en todos los tipos de productos, se propone realizar un ensayo de conductividad térmica de los materiales aislantes recepcionados.
- **Recepción de materiales de estanqueidad al aire (ANEXO III- ficha R2).** Además de las actuaciones que se repiten en todos los tipos de productos, se propone realizar un control documental de los



- documentos de calidad que justifiquen el cumplimiento de las características de la permeabilidad al vapor y la estanqueidad al aire.
- **Recepción de carpinterías y cerramientos acristalados (ANEXO III- ficha R3).** La transmitancia media de las carpinterías es sensiblemente mayor al resto de la envolvente térmica, por eso es uno de los componentes más críticos de la envolvente. Por lo tanto, además de las actuaciones que se repiten en todos los tipos de productos, se propone realizar un ensayo de transmitancia térmica para la carpintería o cerramiento acristalado tipo recepcionado en la obra.
 - **Recepción de productos y equipos de ventilación (ANEXO III- ficha R4).** Además de las actuaciones que se repiten en todos los tipos de productos, se propone realizar un control documental de los documentos de calidad que justifiquen el cumplimiento de sus características (Dimensiones del equipo VMC, Eficiencia del Recuperador de calor si procede, consumo eléctrico o SFP, Caudal de renovación de aire de diseño, clases de filtros en admisión y extracción, sistema de regulación de caudal de ventilación).
 - **Control de los resultados de los ensayos de Control de Calidad realizados durante la recepción de materiales y productos (ANEXO V- ficha T1).** La dirección facultativa debe recoger los resultados de los ensayos realizados: conductividad térmica de materiales aislantes, THASYS de materiales conductivos, Transmitancia Térmica de la ventana...

Para un control más detallado pueden utilizarse normas específicas en cada caso. Por ejemplo, la norma UNE 92325:2016 describe los procedimientos control de materiales aislantes y de cerramientos acristalados.

La **verificación** se realizará frente a la documentación entregada por el fabricante del producto y el control visual.

Es necesario verificar:

- El producto llega a obra con el embalaje original, debidamente etiquetado y en perfectas condiciones.

- El embalaje contiene la correspondiente etiqueta identificativa con las características esenciales del producto.
- Presencia de documento de calidad, según los tipos de la Tabla 5. Si no existiera documento justificativo de los parámetros térmicos de un elemento constructivo o material, será necesario realizar un ensayo para verificar el valor solicitado. En estos casos los ensayos se realizarían de acuerdo a las normas de ensayo, medida o cálculo que se expresan en la Tabla 3.

Documentación de identificación y garantía	- Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado		
	- Certificado de garantía del fabricante, firmada por persona física		
Documentación de cumplimiento de características técnicas mínimas	Productos con marcado CE ⁽¹⁾	Documentación necesaria	- Etiquetado del mercado CE
			- Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante
		Documentación complementaria	- Ensayo inicial de tipo emitido por un Organismo Notificado para un S.E.C. 3
			- Certificado de control de producción en fábrica emitido por un Organismo Notificado para un S.E.C. 2 o 2+
	- Certificado CE de conformidad emitido por un Organismo Notificado para un S.E.C. 1 o 1+		
	- Marcas de conformidad a norma (norma nueva de producto)		
Productos sin marcado CE ⁽²⁾	Productos tradicionales	- Marcas de conformidad a norma (norma antigua)	
		- Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (antiguo certificado de homologación)	
	Productos innovadores	Evaluación técnica de la idoneidad mediante:	
		- Documento de Idoneidad técnica DIT	
		- Documento de adecuación al uso DAU	
Otros documentos	- Certificados de ensayos realizados por un laboratorio		

(1) La documentación de productos con marcado CE no contempla fecha de caducidad.

(2) La documentación de productos sin relación con marcado CE tienen fecha de concesión y un periodo de validez

Tabla 5. Tipos de documentos de calidad. Fuente: Libro de Control de Calidad del ICCL

- El producto es el especificado en proyecto.
Las características cumplen con lo especificado en la memoria del proyecto.



- Se han seguido las recomendaciones del fabricante en el almacenamiento o acopio del aislamiento.

En general, se recomienda controlar al menos los siguientes parámetros en función del producto a recepcionar:

- **Productos de aislamiento térmico:**
 - Espesor [mm]
 - Conductividad [$W/m \cdot K$]
 - Resistencia térmica [$m \cdot K/W$]
 - Densidad [ρ]
 - Capacidad calorífica específica [C_p]
 - Emisividad de barreras radiantes
- **Cerramientos acristalados y vidrios:**
 - Transmitancia térmica [W/m^2K]
 - Permeabilidad al aire (clase)
 - Transmitancia térmica de marco [W/m^2K]
 - Transmitancia térmica de vidrio [W/m^2K]
 - Transmitancia térmica de caja de persiana [W/m^2K]
 - factor solar [%]
 - Dimensiones, apertura y unidades de carpinterías
 - Dimensiones, unidades y sellado de vidrios
- **Sistemas de Ventilación Mecánica Controlada:**
 - Eficiencia de recuperación de calor [%]
 - Caudal máximo [m^3/h]
 - Consumo eléctrico ó SFP [$W/m^3/s$]

La **frecuencia de verificación** será la establecida para el control dimensional de cada tipo de material. En caso de no estar establecida, se realizará al menos un control por cada tipo de producto.

9. Etapa 3: control de ejecución de la obra

Como ya se ha indicado anteriormente, es fundamental controlar que cada elemento constructivo esté ejecutado de acuerdo con lo establecido en el documento justificativo de su aislamiento térmico.

Durante el control de obra se **verificará** la **construcción adecuada** del elemento constructivo y las **prestaciones térmicas** de los materiales empleados.

Se recomienda una **frecuencia de verificación** mínima de un control por cada elemento constructivo con un valor de aislamiento declarado diferente, es decir, una verificación por cada tipo de cerramiento, hueco o componente.

Para facilitar el control de ejecución en la obra, en el Anexo IV se presentan unas fichas para los elementos más habituales:

- **Control de la disposición de los materiales aislantes y de estanqueidad en los cerramientos y particiones (ver ANEXO IV-ficha E1).** La dirección facultativa debe hacer un control estricto de su ejecución, porque los materiales sólo funcionarán correctamente si su disposición se ajusta a las especificaciones del producto.
- **Control de la disposición de los materiales aislantes y de estanqueidad en los puentes térmicos (ver ANEXO IV-ficha E2).** Los puentes térmicos son encuentros críticos en el aislamiento y estanqueidad del edificio, por eso es crucial destinar tiempo a la verificación de la ejecución de estos materiales en obra, ya que evitará correcciones posteriores que serán siempre más complejas y costosas a medida que avanza el desarrollo de la obra. La dirección facultativa debe seguir las pautas que se indican en las fichas.
- **Control de la disposición de las carpinterías y cerramientos acristalados (ver ANEXO IV-ficha E3).** Las carpinterías y los cerramientos acristalados también generan encuentros críticos en cuanto a la estanqueidad al aire del edificio. Por eso, es de vital importancia controlar su disposición en obra. Por lo tanto, la dirección facultativa debe seguir las pautas que se indican en las fichas.



- **Control de los productos y equipos de la ventilación durante su instalación en obra (ver ANEXO IV-ficha E4).** La dirección facultativa debe controlar la correcta ejecución de la instalación de ventilación y su correcto funcionamiento. Para ello, en esta ficha se recogen los principales parámetros a controlar.
- **Control de los resultados de los ensayos de Control de Calidad de ejecución de obra (ver ANEXO V-ficha T1).** La dirección facultativa debe recoger los resultados de los ensayos realizados: ensayo de puerta ventilador (estanqueidad al aire)...

9.1. Cerramientos opacos y particiones interiores: Puntos críticos a controlar

Desde el punto de vista del aislamiento térmico, es tan importante el control de las prestaciones térmicas de cada elemento como el control de la correcta ejecución en obra del sistema constructivo. Una inadecuada ejecución del sistema constructivo puede reducir sustancialmente el grado de **aislamiento térmico real** final de los elementos.

Por ello, es importante recalcar que para poder alcanzar las prestaciones térmicas establecidas en el proyecto, es necesaria una correcta ejecución tanto de las **soluciones constructivas** como de sus **encuentros**.

Es imprescindible que **el proyecto especifique claramente** tanto la composición de los elementos, como el diseño de los encuentros.

Para conseguir esta correcta ejecución, es necesaria además una correcta supervisión y control de la ejecución en obra, en base a la información establecida en el proyecto y considerando las especificaciones de todos los productos empleados en cada cerramiento.

Ejemplo:

Se ejecuta una fachada ventilada con perfilaría metálica, aislamiento de lana mineral exterior y lámina para-vapor en la cámara de aire.

Debido a errores en la ejecución y a decisiones no previstas, se han recogido y estirado las mantas en algunos módulos, dejando arrugada la manta de lana mineral. De modo que no cubre toda la superficie adecuadamente y la lámina para-vapor no es continua.

Como consecuencia, el nivel de aislamiento real final de la fachada se verá reducido en numerosos puntos debido a una incorrecta planificación y/o rectificaciones sucesivas.



En casos como el de la imagen, es necesario sustituir las mantas en aquellos puntos que no pueda garantizarse el correcto funcionamiento de la solución constructiva original de proyecto.

Los puntos críticos se generan en los encuentros donde varía la dimensión o geometría del aislamiento térmico, ya que en estos puntos se generan puentes térmicos que conllevan unas pérdidas de calor importantes. En la medida de lo posible, estos puentes térmicos se pueden reducir o prácticamente anular si se mantiene la continuidad del aislamiento.

Los **puntos críticos más comunes** donde podemos encontrar irregularidades en el aislamiento térmico:

Mal acopio de materiales

El acopio de cada producto debe respetar las especificaciones del fabricante, especialmente sus condiciones de protección frente a la lluvia o humedad a cielo abierto.



Fuente: TECOWOB

Ejecución incorrecta

El espesor y tipo de los aislamientos térmicos debe comprobarse de manera regular, especialmente en los aislamientos proyectados. El orden de montaje de las capas sucesivas debe revisarse según el sistema especificado en proyecto.

La planificación en obra debe evitar que se dañen los aislamientos ya montados en las etapas posteriores, en general son frágiles.

Las uniones y solapes deben garantizar la continuidad de la solución constructiva.



Puentes Térmicos propios del cerramiento

Se deben seguir las especificaciones de montaje de cada sistema, utilizando los productos indicados para minimizar los puentes térmicos internos del sistema, como perfiles metálicos, paraguas o anclajes.

Durante el control de ejecución se comprobará el tipo de entramado, la anchura entre perfiles y otras exigencias de cada producto.



Interrupción de aislamiento por instalaciones

El aislamiento térmico debe envolver todas las instalaciones de manera continua.

Las instalaciones deben montarse de forma que haya espacio suficiente para rodearlas de aislamiento, se deben evitar agrupaciones de conductos o equipos que lo impidan.



9.2. Huecos: Puntos críticos a controlar

Los huecos son los elementos con mayor transmitancia térmica de la envolvente y por ello son en general los que más repercuten en las pérdidas de calor de los edificios. Por lo tanto, sus prestaciones térmicas se deben controlar cuidadosamente.

Las prestaciones térmicas de los huecos (ventanas, balconeras y cerramientos acristalados) son la combinación resultante de las características de cada uno de sus componentes, para lo que habitualmente se considera la superficie de cada componente respecto al total. Habitualmente, los **tres componentes** son el **marco**, el **vidrio** y la **caja de persiana**. De ellos, los más perjudiciales son la caja de persiana y en menor medida el marco (o carpintería).

Para conseguir las prestaciones de huecos establecidas en proyecto, será necesaria una **especial atención** sobre los marcos y las cajas de persiana, tanto en la **recepción en obra** de la solución del hueco, como en su **montaje** en los cerramientos.

Por otra parte, el montaje de los huecos también afecta en muchos aspectos de la **salubridad y estanqueidad** del edificio. Por ello, es muy importante

controlar las **especificaciones de sellado y montaje**, utilizando productos compatibles según especificaciones del marco y soporte de cada caso.

Los puntos críticos más habituales son:

Vidrios incorrectos

Es necesario verificar la colocación de los vidrios declarados en proyecto. La existencia de distintos tipos de vidrio requiere una verificación sistemática con un muestreo según la complejidad del edificio. Existen herramientas complementarias que permiten medir la composición, el espesor de la cámara interna o la presencia de láminas Bajo Emisivas.



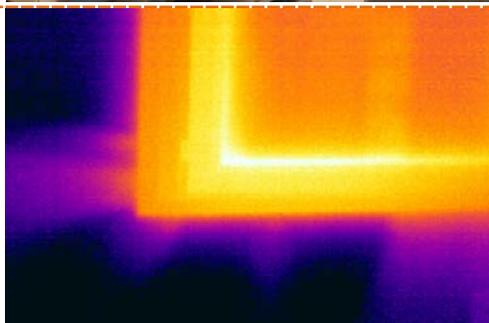
Problemas de montaje

La instalación de la ventana debe realizarse según las especificaciones del fabricante. Soluciones constructivas inadecuadas o errores en la planificación de obra pueden dificultar el montaje, la accesibilidad a los remates o las comprobaciones necesarias para cumplir las exigencias de estanqueidad y salubridad.



Sellado perimetral

Es necesario emplear los productos de montaje y sellado indicados por el fabricante. El uso de sellantes o juntas perimetrales inadecuadas producirán efectos imprevistos y perjudiciales.



9.3. Puentes Térmicos: Puntos críticos a controlar

El grado de criticidad del Puente Térmico (PT) es dado por la Transmitancia Térmica Lineal $[\Psi]$. El DA DB-HE/3 define la Transmitancia Térmica Lineal $[\Psi]$ como la **transferencia térmica adicional de un encuentro** (puente térmico lineal) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes. Es decir, indica el incremento de flujo térmico respecto a los cerramientos originales, por metro lineal.

Por ello, los Puentes Térmicos (PT) son **partes expuestas** de los edificios donde aumentan las pérdidas de calor y el **riesgo de aparición de condensaciones**.

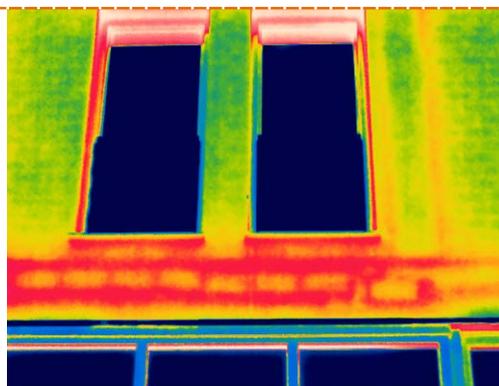
Para conseguir las prestaciones de los encuentros y PT propios de los cerramientos establecidas en proyecto, será necesaria una **especial atención** a la **colocación** de todos los elementos, siguiendo los **detalles constructivos** de proyecto y de acuerdo con las **especificaciones del fabricante** para cada uno de los materiales o productos utilizados en las soluciones.

Los puntos críticos habituales en los PT son:

Colocación de los materiales

La colocación de los materiales aislantes en los PT debe ser especialmente controlada durante la ejecución de obra, para evitar errores puntuales. La colocación debe ajustarse a las especificaciones del fabricante.

En general, debe cubrirse de forma homogénea toda la superficie, esquina o parte del elemento que deben aislar.



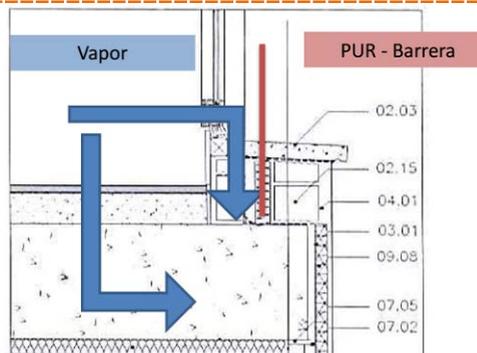
Solape entre elementos

La continuidad de los aislamientos requiere a menudo solapes. Se deben cumplir las longitudes de solape establecidas por el fabricante.

Permeabilidad al vapor

Se deben verificar que las soluciones de PT cumplen al mismo tiempo las exigencias de estanqueidad y aislamiento. Las modificaciones en obra deben considerar ambas exigencias simultáneamente.

El riesgo de condensaciones es mayor en los puntos de discontinuidad y el agua se puede acumular en el aislamiento térmico, reduciendo su efectividad según el material aislante.



9.4. Sistemas de ventilación: Puntos críticos a controlar

El correcto funcionamiento del sistema de ventilación, y por lo tanto, del cumplimiento de las condiciones que se establecen en el Documento Básico HS3 dependen del correcto **diseño**, **dimensionamiento** e **instalación** del sistema de ventilación, además de una elevada **estanqueidad** (baja permeabilidad), de la envolvente del edificio.

Tradicionalmente la ventilación en viviendas había sido sencilla, habitualmente eran sistemas de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) de **Flujo Simple** (FS); o lo que es lo mismo, equipos de extracción mecánica colectivos. Sin embargo, las exigencias recientes de ahorro energético han impulsado la instalación de sistemas de **Doble Flujo con Recuperación de Calor** (DF-RC) que tienen una mayor complejidad y por ello una mayor dificultad en su correcta ejecución.

En primer lugar, es muy importante realizar una correcta **recepción en obra** de los componentes y equipos. En el Anexo III hay un modelo de ficha de recepción de ventilación (ficha R4) para instalaciones convencionales en edificios de vivienda.

El **montaje en obra** de los equipos y componentes debe seguir las indicaciones del fabricante del producto correspondiente, tanto de dimensionado, uniones, ubicación, etc. Deben mantenerse unas condiciones de

limpieza en obra para proteger los conductos, aberturas y equipos de ventilación. La instalación de las **aberturas de ventilación** es especialmente compleja; ya que muchas son regulables o tienen canales ocultos que hay que abrir o cerrar tras su montaje en obra. El control de ejecución tras el montaje debe contrastar finalmente que las dimensiones mínimas, la posición y la orientación de cada abertura cumple con lo establecido en el proyecto de ejecución.

Los **puntos críticos más comunes** en los sistemas de ventilación en vivienda son:

Modificaciones en obra

Es necesario verificar las modificaciones en obra. Los cambios en las Unidades de ventilación, conductos, aislamiento térmico o distribución pueden aumentar en gran medida las pérdidas de carga y no alcanzar la extracción mínima en algunos locales.

Es imprescindible recalcular los cambios en obra, para verificar el cumplimiento de las prestaciones de la ventilación.



Montaje de aberturas de ventilación

La instalación debe ajustarse a las recomendaciones del fabricante: posición, embocadura, sellado, etc.

Su aparente sencillez de montaje provoca descuidos que reducen mucho su efectividad.

Las carpinterías con aberturas graduadas dentro de marco o persiana deben verificarse tras su montaje.



Sistemas de doble flujo

Un DF mal regulado puede provocar consumos energéticos mayores que el calor recuperado. Para evitarlo estos sistemas deben equilibrarse en la finalización de la obra y tener mecanismos que eviten su desajuste futuro. Es recomendable instalar sistemas de control de caudal según la calidad del aire interior, para reducir el consumo eléctrico.



Sin embargo, **el correcto diseño, dimensionamiento e instalación del sistema de ventilación no garantiza su correcto funcionamiento** si la permeabilidad al aire de la envolvente es elevada. Por ello es imprescindible **minimizar las infiltraciones** de los locales acondicionados. La permeabilidad de la envolvente indica la presencia de grietas y aberturas no intencionadas, que hacen que no todo el aire que accede a la vivienda lo haga a través de las aberturas instaladas para tal efecto. La principal consecuencia de ello, es que los caudales de ventilación mínimos exigidos por el DB HS3 del CTE no se alcancen en los locales de admisión.

La permeabilidad al aire de la envolvente se mide mediante el **ensayo de Puerta ventilador** (o Blower Door Test) regulado por la norma UNE-EN 13829. Se trata de un ensayo no destructivo que se realiza *in situ*, y que consiste en crear una diferencia de presión entre la vivienda y el ambiente exterior mediante un ventilador colocado en el marco de la puerta de acceso a la vivienda. De esta forma se mide el caudal de aire que atraviesa la envolvente que se utiliza para **caracterizar su nivel de permeabilidad**. Se recomienda realizar dos ensayos, un intermedio durante la ejecución de la obra para comprobar la estanqueidad diseñada y otro al final de la obra a modo de prueba de servicio. Para más detalles, el apartado 12.1 describe en detalle cómo planificar el ensayo, explicando los principales pasos y mostrando un ejemplo real.

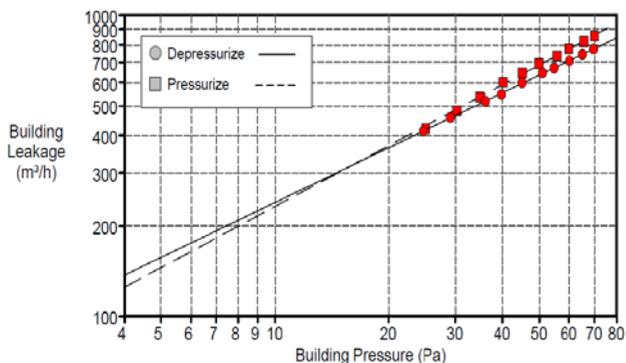


Figura 9. Puerta ventilador instalada en obra y gráfica de resultados

En cualquier caso, para **controlar las infiltraciones** a través de la envolvente del edificio es necesario **definir con detalle suficiente la línea de estanqueidad**. Para garantizar la continuidad de la línea de estanqueidad hay que comprobar tres niveles:

El primer nivel es la **definición del conjunto de capas o materiales estancos** que se colocarán en los cerramientos y particiones para evitar el paso del aire. Es necesario controlar las infiltraciones de aire al menos en las estancias acondicionadas del mismo, preferentemente incluso entre espacios con distintos propietarios o uso. Este aspecto parece sencillo pero no lo es, por que en cada cerramiento habrá que elegir los materiales que faciliten un montaje en obra más fiable.

En el segundo nivel hay que resolver **todos los encuentros entre cerramientos y las aperturas de huecos**. Es decir, se deben revisar todos los detalles constructivos para incorporar soluciones de solape estancas al aire. Esto incluye al menos los encuentros de cerramientos en vertical y horizontal, las esquinas geométricas, las aperturas de huecos, etc. Debe cuidarse además que sean **materiales compatibles** de acuerdo a sus especificaciones de producto (dilatación, composición, adherencia, etc). Por ello, a veces puede ser necesario modificar las soluciones previstas en el nivel anterior o su posición, para conseguir un **solape suficiente** en los encuentros. En el mercado existe una amplia oferta de bandas de sellado y soluciones de encuentro de cerramientos que deben seleccionarse en función de la elasticidad requerida por el soporte y sus posibilidades montaje. Se recomienda utilizar sólo

materiales recomendados para tal fin, con unas especificaciones de producto que avalen su buen resultado. De este modo, al finalizar este nivel la línea de estanqueidad **debe ser continua** sin excepción.

En un tercer nivel, se deben identificar todas las **discontinuidades en la línea de estanqueidad** como los patinillos de instalaciones o el paso individual de tuberías, saneamiento, instalaciones eléctricas, etc. Si fuera posible, se recomienda la agrupación de conductos para facilitar la solución de cada uno de ellos. En cualquier caso, este nivel es a menudo el más difícil de solucionar, pero conviene recordar que para alcanzar una permeabilidad adecuada es imprescindible que la línea de estanqueidad sea continua. las pueden aumentar en gran medida las infiltraciones de aire en el edificio.

Como se ha visto anteriormente, las entradas de aire pueden producirse por diversos puntos. Dependerá en gran medida de los sistemas constructivos empleados (construcción de hormigón, de madera, etc).

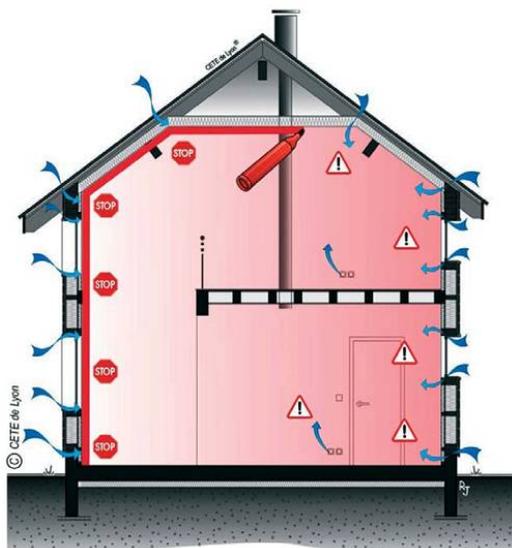


Figura 10. Esquema de principales puntos de entrada de aire.

Fuente: Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Francia, 2010.



A continuación se muestran unos casos comunes a modo de ejemplo de los **puntos críticos de la estanqueidad al aire** en edificios residenciales:

Encuentro de fachada y forjados

Los frentes de forjado o suelo son un punto débil por dos razones: unión geométrica y cambio de materiales.

Debe estudiarse la composición de los cerramientos horizontal y vertical para proponer un material de unión que sea compatible con las capas de estanqueidad de ambos elementos.

En general, el solape debe ser elástico, ya que puede haber pequeños movimientos y/o dilatación en los elementos expuestos a radiación solar.

Es necesario un mayor control en obra que proteja todos los elementos de estanqueidad y evite roturas o perforaciones indeseadas.

Ejemplo mala estanqueidad:

La capa de PU proyectado de fachada se suplementa con cordones proyectados desde arriba y abajo en los forjados.

Sin embargo, se han localizado diversos puntos donde se ha roto dicho cordón de sellado durante la construcción.



Ventanas y huecos de fachadas

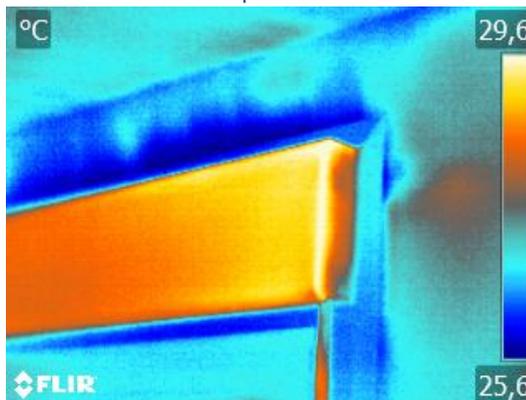
El sellado perimetral de carpinterías y cerramientos acristalados debe realizarse con materiales elásticos que permitan los movimientos por dilatación, ya que están expuestas a constantes variaciones con la radiación solar, la lluvia, etc.

Existen numerosos materiales en el mercado para garantizar la salubridad mediante diferentes tipos de sellado: Expansivas, adheridas o embebidas, etc.

Una solución habitual consiste en realizar el sellado exterior impermeable al agua y el sellado interior estanco al aire.

Ejemplo mala estanqueidad:

El sellado de ventanas se ha realizado con siliconas demasiado rígidas que no han conseguido adherirse al soporte, dejando fisuras en diversos puntos.



Puertas de entrada

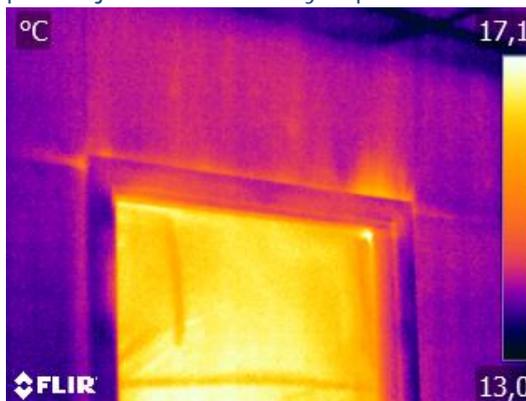
Como cualquier otro elemento que interrumpe la línea de estanqueidad, el hueco de la puerta de entrada debe ser sellado.

Hay dos puntos críticos: cómo solapar en el premarco la capa estanca del cerramiento, y cómo sellar la puerta al premarco.

Los sistemas de sellado son similares a los de los huecos de fachada. En este caso, pueden ser materiales más rígidos debido a los menores movimientos.

Ejemplo mala estanqueidad:

La puerta de entrada está sin sellar en la cara exterior del rellano. Durante un ensayo de estanqueidad aparecen entradas de aire por las jambas laterales y superiores.



Patinillos de instalaciones

Los patinillos son elementos que comunican distintas plantas entre sí y por ello deben considerarse al igual que un cerramiento exterior. Son de vital importancia para evitar fugas de aire.

Es habitual no rematarlos en detalle, ya que quedan ocultos con los trasdosados y son complejos de ejecutar. Además, el montaje de los conductos puede retrasar el avance de la obra si no se planifica adecuadamente.

Los patinillos deben revestirse con una capa estanca desde el interior de las viviendas, antes de levantar los trasdosados o tabiques interiores.

Es la única manera de ejecutar con comodidad esos trabajos.

Si no se realiza correctamente el sellado, el aire se filtrará a través de las cámaras de los trasdosados y las instalaciones hasta el interior de la vivienda.

Ejemplo mala estanqueidad:

El cerramiento de ladrillo está sin rematar en la esquina, el guarnecido no continúa en el módulo de la esquina.

Incluso hay un hueco de varios centímetros que comunica el patinillo directamente con los trasdosados.



Pasos de instalaciones

Todos los conductos que atraviesan la línea de estanqueidad son una potencial entrada de infiltraciones de aire.

Por mucho que el corte del cerramiento atravesado sea preciso, el aire pasará en mayor o menor medida. El aire se filtrará a través de los falsos techos, tabiques y patinillos hasta las viviendas y descompensará la ventilación.

Es necesario utilizar sellantes específicos para tal fin de manera adecuada. Se debe facilitar el acceso para su colocación, dejando espacio perimetral suficiente y sin agrupar los conductos.

Ejemplos mala estanqueidad:

Algunos conductos están sellados con espuma de PU, pero no todos. Un buen ajuste de corte y montaje no sirve como solución de estanqueidad. El aire se filtrará al edificio igualmente.

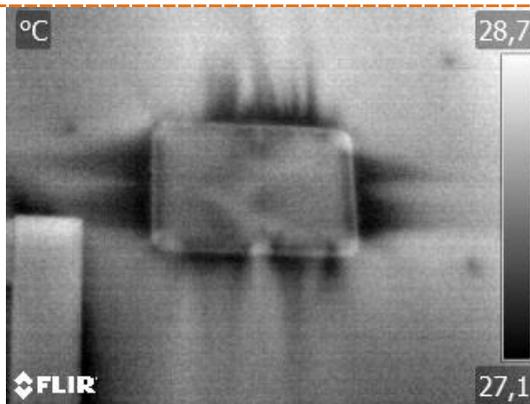


Cuadros de instalaciones

En los edificios colectivos es habitual que los patinillos acaben teniendo infiltraciones considerables.

Es conveniente instalar cajas estancas para el cuadro eléctrico, las telecomunicaciones y los registros de calefacción y ACS si los hubiese en el interior.

Esta medida no evitará que las infiltraciones se trasladen al resto de conducciones, pero minimizará su efecto considerablemente.



Conductos de extracción de humos

En las extracciones de humos es necesario instalar y verificar el montaje de las válvulas antiretorno para evitar que sean fuentes de corrientes de aire.



Encuentros de la cubierta

Las cubiertas se componen a menudo por un forjado diferente al resto de plantas intermedias. Por ello es un encuentro geométrico singular y requiere un análisis más detallado de su funcionamiento.

Los encuentros de cubierta son de los más importantes, porque tras su ejecución habitualmente no se puede acceder o intervenir de forma directa.

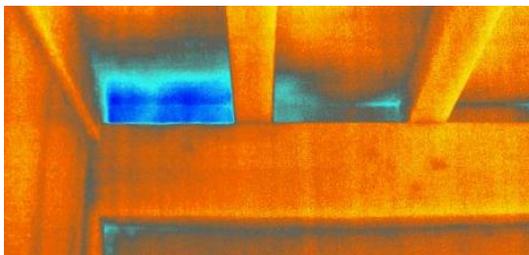
Cada sistema constructivo requerirá un tipo de soluciones diferentes. Es habitual que la línea de estanqueidad cambie del lado interior en fachada al lado exterior en cubierta y eso puede ocasionar numerosos problemas.

Si se opta por añadir una capa de estanqueidad en falso techo, conviene recordar el alto riesgo de infiltraciones a través de los pasos de conductos y las instalaciones en general.

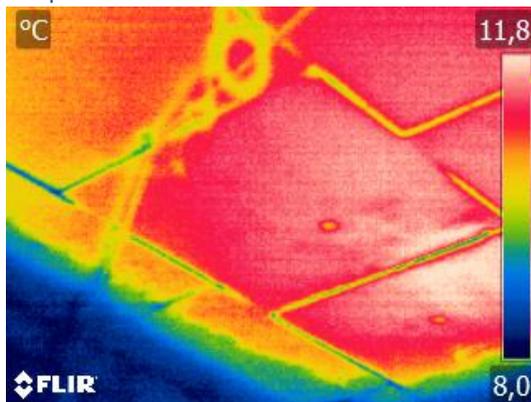
Las cubiertas son elementos con numerosas perforaciones de chimeneas y conductos, que deben ser resueltas de forma individual.

Ejemplos mala estanqueidad:

La cubierta de madera no ha sido sellada correctamente en la unión de esquina y hay una entrada de aire frío lateral. Se podrán mitigar los efectos mediante bandas de sellados locales.



Este otro caso donde la estanqueidad de cubierta ha fallado, todo el techo funciona como un plenum a través de las juntas de las placas de aislamiento.



Encuentros de medianeras

Las particiones entre unidades del mismo uso pero distinto propietario deben ser incluidas en general en la línea de estanqueidad, para evitar ventilaciones cruzadas indeseadas y ruido.

Habitualmente, las particiones de patinillos de instalaciones o zonas comunes no se consideran con la misma importancia que los cerramientos. Sin embargo su participación en las infiltraciones puede ser incluso mayor.

La capa de estanqueidad debe estar protegida de las instalaciones privadas de la vivienda, siendo lo deseable que se incluya en capas interiores del cerramiento.

Ejemplo mala estanqueidad:

El cerramiento de ladrillo no está revestido con yeso, sólo habrá un mortero exterior que no garantiza una estanqueidad final ni el solape interior.



Existen numerosas publicaciones especializadas en solucionar la estanqueidad al aire de los edificios. En el apartado 15 "Documentos de referencia" se han recogido algunas fuentes recientes al respecto.

10. Etapa 4: control de la obra terminada

Para mejorar el control de calidad de final de obra, se proponen unas **comprobaciones y pruebas de servicio voluntarias** que permiten verificar las **prestaciones finales** del edificio. Se recomienda además que dichos ensayos sean realizados por profesionales y organismos acreditados.

En el ANEXO V se presentan fichas que permiten llevar un control de los ensayos realizados y los resultados obtenidos en el edificio terminado.

- **Control de los resultados de los ensayos de Control de Calidad de edificio terminado (ver ANEXO V-ficha T1)**. La dirección facultativa debe recoger los resultados de los ensayos realizados: ensayo de puerta ventilador (estanqueidad al aire), gases trazadores, R in-situ, Termografía IR...

Si se ha realizado un control adecuado en las fases anteriores, en caso de encontrar deficiencias en la fase final de obra, serán corregibles o asumibles. En el caso contrario, problamente se daría una situación irreversible con deficiencias importantes incorregibles.

Una vez realizadas las verificaciones, se deben reflejar los resultados en la CEE del edificio final de obra y siguiendo el Protocolo para la realización del control de la Certificación Energética de Edificios en la Comunidad Autónoma del País Vasco notificar al Agente de Control de la Certificación Energética de las modificaciones habidas.

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

ENSAYOS DE
CONTROL TÉRMICO



11. Ensayos de control de recepción.

11.1. Ensayo de conductividad

OBJETIVO

Determinar la **conductividad térmica** para productos de alta y media resistencia térmica.

RESULTADOS

Valor de la **conductividad térmica** real de los productos [W/mK].

Valor de la **resistencia térmica** del elemento, U, en función del espesor del producto.

METODOLOGÍA

Medir simultáneamente el flujo de calor que atraviesa la muestra y la diferencia de temperaturas entre las caras caliente y fría del equipo, registrando estos tres valores con frecuencias de un minuto.

UNE-EN 12667:2002. *“Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.*

PLANIFICACIÓN Y DURACIÓN

La duración de cada ensayo depende del número de puntos de medida, un ensayo estándar (5 puntos de medida) dura unas 4 horas.

LIMITACIONES

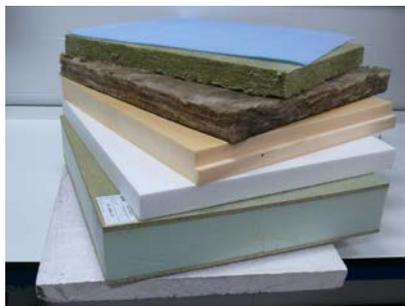
Las dimensiones del material deben ser compatibles con el equipo de ensayo.

Las caras del material deben de ser plano-paralelas entre sí, evitando que exista rugosidad que distorsionen las medidas obtenidas.

El espesor del material debe ser representativo y permitir la realización del ensayo.

El objetivo del ensayo es conocer el valor real de la conductividad térmica [W/mK] de los materiales aislantes de la obra, que tengan alta o media resistencia térmica (lanas minerales, poliestirenos, poliuretanos, corcho y

otros). Comúnmente se consideran materiales aislantes a los productos con conductividades térmicas inferiores a 0,1 W/mK.



Los materiales aislantes son el componente principal que aporta resistencia térmica a las soluciones constructivas, estando su espesor directamente relacionado con dicho parámetro. Cuanto mayor espesor disponga el material aislante, mayor resistencia térmica aportará a la solución constructiva. Por el contrario la conductividad térmica del material está inversamente relacionada con la resistencia térmica. Por este motivo, es

vital conocer con exactitud las características de nuestros productos aislantes.

Mediante este ensayo sencillo se puede determinar la conductividad térmica de cualquier producto aislante. Se realiza en condiciones estacionarias, utilizando una plancha del material aislante con dos caras paralelas, isotérmicas y planas; que tengan además los laterales adiabáticos y perpendiculares a las dos caras principales. Dicha placa debe estar formada por un material térmicamente homogéneo con la conductividad térmica constante o una función de la temperatura.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo, se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº tipos de aislamiento térmico	Nº ensayos, seleccionar los tipos con mayor superficie instalada en la obra
$n \leq 5$	1 muestra de cada tipo de material
6	5
7	6
8	6
9	7
10	8
$n > 10$	70 %

Existen diferentes marcas y modelos de “conductímetro” que cumplen las exigencias de la norma UNE-EN 12667:2002. Por ejemplo, en el Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco se utiliza un

conductivímetro HFM 436/6/1, de NETZSCH, como muestra la imagen más adelante. Dicho modelo dispone de un sistema de control de temperatura que permite generar un salto térmico preciso entre las placas superior e inferior en contacto con la muestra. La placa superior actúa como elemento calefactor y la inferior como elemento frío.

Este salto de temperaturas genera un flujo de calor a través de la muestra y permite calcular la resistencia térmica $R(\text{m}^2\text{K}/\text{W})$ y la conductividad, λ (W/mK), con las expresiones recogidas a continuación. El HFM dispone de un medidor de espesor de muestra, calculado a través de la distancia entre placas. También se permite la opción de introducir el valor manualmente si se ha obtenido mediante determinación con calibre.

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO



Rango Térmico	-10 a 60 °C
Tamaño de muestra	600 x 600 x 200 (mm)
Área sensible medida de flujo	250 x 250 (mm)
Rango de Resistencia Térmica	0,1 a 8,0 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
Reproducibilidad	0,2 %
Precisión	1-3 %

Figura 11. Conductivímetro NETZSCH HFM 436/6/1 y especificaciones

Fórmulas para el cálculo de la Resistencia Térmica y la conductividad

$$R = \frac{\Delta T}{\phi}$$

$$\lambda = \frac{d}{R}$$

R: Resistencia térmica ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

λ : Conductividad térmica ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

ΔT : Salto térmico (K)

d: anchura de la placa ensayada (m)

ϕ = Flujo de calor (W/m^2)

R: Resistencia térmica ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)



La duración del ensayo de conductividad depende del número de puntos que se quieran ensayar. Cuantos más puntos se ensayen, más preciso será el valor del ensayo reduciendo la incertidumbre y aumentando la exactitud del mismo. Un ensayo con 5 puntos de medida tiene una duración media de 4 horas. Normalmente, las muestras a ensayar suele ser acondicionadas previamente al ensayo, en cámara de acondicionado en condiciones de 23°C y 50% de humedad relativa.

LIMITACIONES

El ensayo tiene ciertas limitaciones asociadas a la propia configuración del equipo de medida. Las dimensiones de la muestra deben ser precisas (60 x 60 cm) y el espesor debe ser representativo para que el flujo de calor a través de la muestra sea medible.

Puede haber otras restricciones del propio equipo, como el espesor máximo de la muestra (20 cm), el salto de temperatura aplicable (máximo de 50 °C) y el rango ya que es muy complejo que la placa fría del equipo alcance valores inferiores a -5°C.

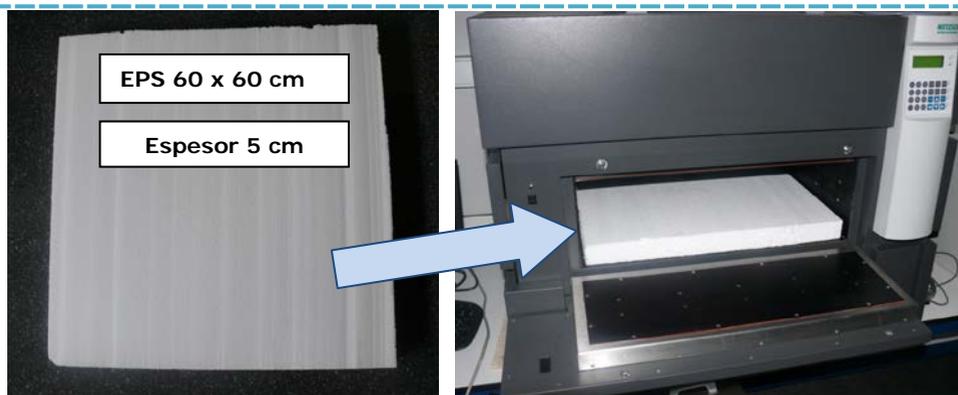
Las caras de la muestra deben ser plano-paralelas, ya que las rugosidades o cavidades pueden alterar la medición, debido a la formación de pequeñas cámaras de aire con su aporte de resistencia térmica correspondiente en la lectura final del ensayo.

Ejemplo:

Ensayo de conductividad para control de recepción en obra

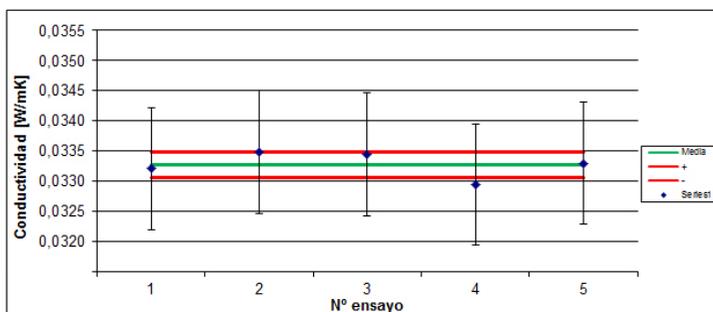
La dirección facultativa de la obra desea verificar las características de los materiales que se van a colocar en el edificio e incluye el ensayo en el Libro de Control de Calidad del proyecto. En la obra se seleccionan diferentes muestras de Poliestireno Expandido (EPS) para ensayar.

Las dimensiones de la muestra tienen que ser de 60x60 cm, por lo que se recorta en taller. Su espesor nominal de 5 cm es válido en este caso y no requiere mecanizado. Se comprueba el estado de las caras de la muestra (plano paralelas entre sí) y que no presentan cavidades ni perturbaciones que distorsionen la calidad del ensayo.



El resultado final del ensayo nos permite verificar la conductividad real del producto que se va a colocar en la obra, que puede ser igual al declarado por el fabricante o por el contrario diferir notablemente. En este caso, la conductividad de la muestra ensayada es de $0,033 \pm 0,001$ W/mK, siendo el valor de conductividad declarado por el fabricante de $0,037$ W/mK. Según determina la norma UNE-EN-ISO-10456:2001, el redondeo se realiza siempre hacia arriba.

Nº Ensayo	λ (W/m·K)
1	0,03321
2	0,0335
3	0,03345
4	0,03288
5	0,03327
Promedio	0,03326
Desviación	0,0002



Como resultado, en este ejemplo particular se ha detectado una mejora del aislamiento térmico real de los cerramientos de fachada previstos en proyecto. Podrían actualizarse todos los cálculos y simulaciones realizadas con el valor del fabricante y sustituirlo por el obtenido en ensayo. Se recomienda revisar su incidencia en los Puentes Térmicos y en el riesgo de condensaciones en los cerramientos.

Gracias al ensayo se ha podido actualizar el Certificado de Eficiencia Energética, donde dicho cambio representará una mejora en la Calificación Energética de Edificio Terminado.



11.2. Ensayo de conductividad THASYS

OBJETIVO

Determinar la **conductividad térmica** para productos de baja resistencia térmica.

RESULTADOS

Valor de la **conductividad térmica** real de productos no aislantes [W/mK].

METODOLOGÍA

Mediante una lámina calefactora se produce calor, que es absorbido por las muestras, se analiza la variación de temperaturas y la potencia consumida para la generación de calor.

Norma ASTM-C 1114-06(2013): “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Thin-Heater Apparatus”.

PLANIFICACIÓN: DURACIÓN y MUESTREO

La duración del ensayo suele ser de 3 días, dado que se ensayan diferentes parejas de plaquitas (normalmente 3 parejas de plaquitas por ensayo).

LIMITACIONES

El material a ensayar no puede ser un aislante térmico (conductividad $>0,1$ W/mK).

Las dimensiones de muestra deben ser compatibles con el equipo de ensayo (110x70 mm).

Las caras del material deben de ser plano-paralelas entre sí y sin rugosidades.

El objetivo del ensayo es determinar la conductividad térmica de materiales con baja resistencia térmica, tales como materiales cerámicos, morteros, hormigones o yesos.

Resulta de especial interés cuando los materiales a ensayar tienen finalidades concretas que les requieren valores de conductividades concretas. Por ejemplo, aplicaciones en las que se usen morteros de relleno en pozos de geotermia o la imprimación de la capa superior de un suelo radiante, para dichos materiales es recomendable que sean lo más conductores posibles con lo que requerirán una conductividad elevada.

La medida de la conductividad se realiza según la norma ASTM C 1114-06(2013): “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Thin-Heater Apparatus”. Para ello, se utiliza el Sistema de Medida THASYS, formado por un aparato de lámina calefactora modelo THA01 y una unidad de control de medida modelo MCU01, de la marca HUKSEFLUX THERMAL SENSORS. El software de control y adquisición de datos es el “Campbell Scientific LoggerNet” con versión Thasys v0909.CR1. El equipo es verificado con anterioridad a cada ensayo mediante la medición de una muestra patrón de vidrio de borosilicato Pirex 7740.

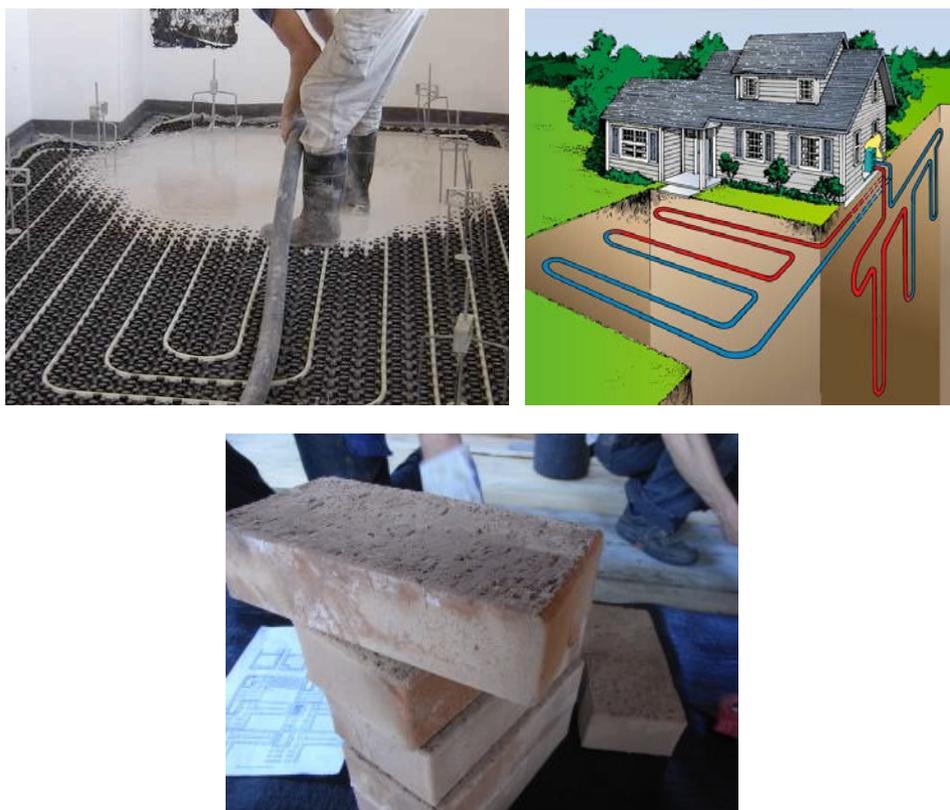


Figura 12. Aplicaciones del ensayo THASYS: morteros de suelo radiante (calefacción.net), morteros de geotermia (Geothermalinnovation.org) y fábricas de alta inercia térmica (calordetierra.es)



Figura 13. Equipo THASYS empleado para la medida de la conductividad térmica

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº tipos de materiales conductores	Nº ensayos, seleccionar los tipos con mayor medición en obra
$n \leq 4$	1 muestra de cada tipo de material
5	4
6	5
$n \geq 7$	70 %

El ensayo se realiza colocando una probeta a cada lado de la lámina calefactora del equipo. El cuerpo de aluminio del equipo actúa como placa fría, absorbiendo el pequeño flujo de calor generado por la lámina calefactora. La diferencia de temperaturas entre la lámina calefactora y el bloque de aluminio constituye el salto térmico a través de las muestras. Este salto es medido de manera continua durante la realización del ensayo.

El ensayo consta de tres etapas: una primera donde no hay generación de calor y se mantiene la temperatura constante, una segunda donde se genera un pulso de energía y una tercera, idéntica a la primera. Conocidos los espesores de las muestras y la resistencia de contacto entre las probetas y el equipo, y midiendo la evolución de la temperatura y la potencia eléctrica consumida durante el ensayo, se obtiene la conductividad térmica.

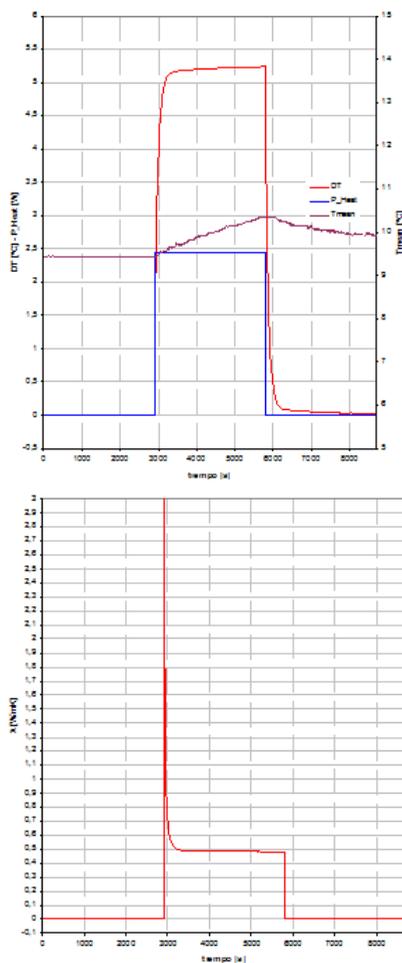


Figura 14. Evolución del salto de temperaturas, la potencia y la conductividad durante un ensayo

LIMITACIONES

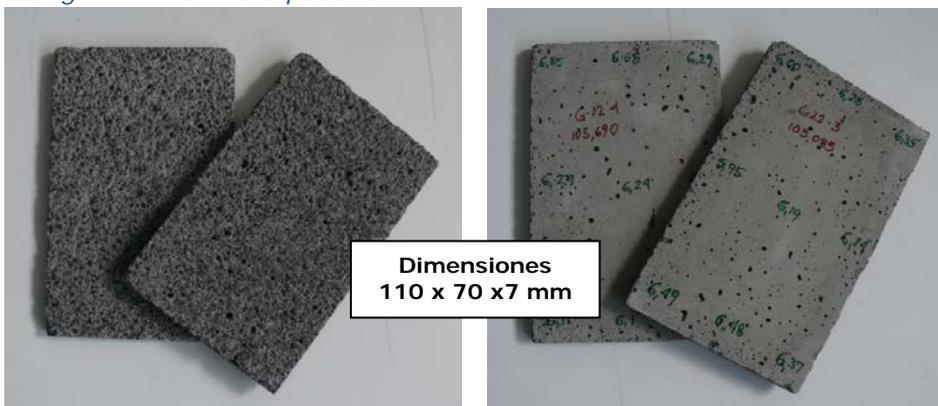
El ensayo tiene ciertas limitaciones asociadas a la propia configuración del equipo de medida. Las dimensiones de las muestras deben ser 110 x 70 cm. Para un ensayo se necesitan un mínimo de dos plaquitas, aunque lo recomendable para asegurar la fiabilidad del resultado final sean 3 parejas. El rango de conductividad entre las que opera el equipo es de 0,1 a 2,0 W/mk.

Ejemplo:

Ensayo de conductividad para caracterización de material base mortero

Un fabricante de materiales en base mortero quiere conocer la conductividad térmica de uno de sus productos, el cual tiene aditivos de otros materiales tales como el caucho para conferirle ciertas propiedades aislantes.

El cliente envía el bloque con sus dimensiones originales salido de fábrica y se procede al cortado para la extracción de las plaquitas que se van a ensayar. Se obtienen seis probetas, agrupándose en parejas en función de similitudes entre sus espesores. Las caras de las plaquitas son lijadas para obtener una mayor homogeneidad en los espesores.



Dimensiones
110 x 70 x 7 mm

Se realizan las 3 partes de las que consta el ensayo, la primera en estado libre, la segunda en la que se genera calor y una última en la que se vuelve al estado libre.

Por último se analizan los valores obtenidos para las 3 parejas de plaquitas y el resultado final es el promedio de todos ellos. Para este caso particular, la conductividad del material en base mortero con aditivos de diferentes materiales (caucho) es de:

$$\lambda = 0,62 \pm 0,02 \text{ W/mK}$$



11.3. Transmitancia térmica de carpinterías

OBJETIVO

Comprobar la **transmitancia térmica** de **conjuntos acristalados**.

RESULTADOS

Determinar el valor de la **transmitancia térmica**, U [W/m^2K], de las carpinterías (conjunto marco, vidrio y cajón de persiana si corresponde).

METODOLOGÍA

La probeta se coloca entre una cámara caliente y una fría, en las cuales se controlan las temperaturas. Se miden temperaturas de aire y superficie así como la potencia a suministrar en la cámara caliente. El equipo se llama caja caliente guardada.

UNE-EN ISO 12567-1:2011 “Comportamiento térmico de puertas y ventanas. Determinación de la transmitancia térmica por el método de la caja caliente. Parte 1: Puertas y ventanas completas”.

UNE-EN ISO 8990:1997: “Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada.”

PLANIFICACIÓN Y DURACIÓN

Mediciones de al menos 1 semana, según la estabilidad de las condiciones de ensayo. Requiere un periodo de análisis de los datos, verificación de su validez y obtención del resultado. Se debe planificar con antelación para fabricar la ventana del ensayo.

LIMITACIONES

Las dimensiones de la muestra deben ser de 1,23 x 1,48 m, por el equipo de medida.

El objetivo del ensayo es conocer el valor real de la transmitancia térmica [W/m^2K] para conjuntos acristalados (vidrio, marco y cajón de persiana si corresponde).

Desde un punto de vista energético, los huecos son el componente crítico en la envolvente de los edificios, dado que es el punto por el que existen mayores fugas de calor. Esto es debido a que la transmitancia media de las carpinterías

es sensiblemente mayor al resto de la envolvente térmica. Por este motivo, es de vital importancia conocer las propiedades reales de los cerramientos acristalados que se están colocando en la obra, con la finalidad de poder conocer con certeza el grado de dichas pérdidas de calor.

Hoy en día, la tecnología va avanzando y cada vez se están construyendo ventanas más competitivas, térmicamente hablando. Los triples vidrios con cámara doble son cada vez más comunes, hay diversos tipos de láminas bajo emisivas y cámaras rellenas por algún gas inerte para aportar aislamiento térmico al conjunto. Los marcos actuales son muy variados, desde los perfiles de aluminio con roturas de puente térmico de grandes espesores, pasando por perfilierías de PVC o madera, hasta soluciones innovadoras y mixtas de todo tipo.

Mediante el ensayo de ventana en caja caliente guardada se puede ensayar cualquier tipo de ventana, permitiéndonos conocer sus prestaciones con alta fiabilidad. El ensayo se realiza en el equipo de caja caliente guardada (compuesta por una cámara caliente -CC- y una cámara fría -CF-). En el interior de la cámara caliente se encuentra la caja de medida, aislada térmicamente. La caja de medida tiene una sección de medida de 1,63 x 1,88 m². La muestra se coloca en un porta-muestras con un hueco en su parte central, con unas dimensiones de 1,23 x 1,48 m². El resto del porta-muestras está altamente aislado, mediante una capa heterogénea de poliestireno expandido de 12 cm de espesor. En la imagen siguiente se puede ver un esquema del equipo.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº uds. de carpintería	Nº ensayos, seleccionar las de menor transmitancia térmica	Nº ensayos, seleccionar los tipos con mayor número de unidades en obra
$n \leq 50$	Se recomienda ensayar carpinterías con $U < 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	
$50 < n \leq 150$	1	0
$150 < n \leq 300$	1	1
$300 < n \leq 500$	2	1
$n > 500$	2	2

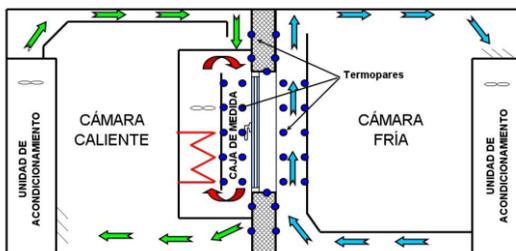


Figura 15. Equipo de caja caliente guardada y esquema de las cámaras

Se aplica un salto de temperaturas, programando la cámara caliente para que mantenga una temperatura constante de 20°C, y la cámara fría se establece a 0°C. Por este motivo se genera un flujo de calor que atraviesa la muestra, que es medido y controlado durante todo el trascurso del ensayo.

La transmisión térmica total medida, U_m , del sistema de ventana se calcula según la norma UNE-EN ISO 12567-1:2002 de acuerdo con la siguiente expresión:

Fórmula para el cálculo de la Transmitancia térmica de ensayo

$$U_m = \frac{\Phi / A}{\theta_{ni} - \theta_{ne}}$$

U_m : Transmitancia térmica medida en ensayo (W/m^2K)

θ_{ni} : Temperatura ambiente en el lado caliente (K)

θ_{ne} : Temperatura ambiente en el lado frío (K)

Φ : flujo de calor a través de probeta (W)

A: Superficie de medida, perpendicular al flujo de calor (m^2)



La transmitancia térmica medida de la probeta U_m , debe ser corregida para obtener la transmitancia térmica normalizada U_w .

Fórmula para el cálculo de la Transmitancia térmica Normalizada

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_m} - R_{s,t} + R_{(s,t),st}}$$

$R_{s,t}$: Suma de las resistencias térmicas superficiales exterior e interior en el ensayo

$R_{(s,t),st}$: Suma de las resistencias térmicas superficiales exterior e interior normalizadas, cuyo valor en Europa es $0,17\text{m}^2\text{K/W}$

LIMITACIONES

El ensayo tiene ciertas limitaciones asociadas a la propia configuración del equipo.

La muestra debe tener unas dimensiones específicas normalizadas de 1,23 x 1,48 m, para poder acomodarse al porta-muestras del equipo.

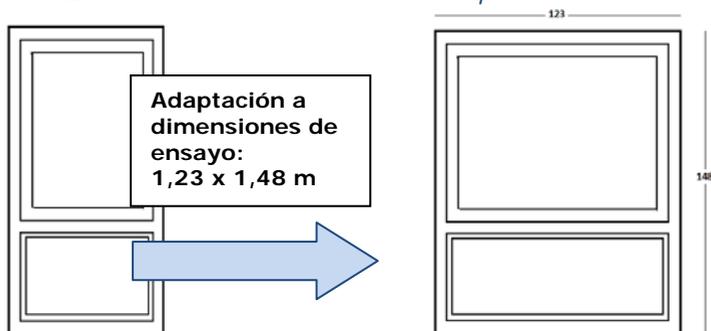
La muestra debe estar correctamente sellada una vez colocada en su posición, para asegurar su posicionamiento y para que no existan fugas que puedan perturbar los resultados del ensayo.

Ejemplo:

Ensayo de transmitancia para control de recepción en obra de carpinterías

La dirección facultativa de la obra desea verificar las propiedades térmicas de las carpinterías y este ensayo se incluye en el Libro de Control de Calidad. Se ha seleccionado el tipo de carpintería más común en el proyecto para que el ensayo sea representativo.

El primer paso es adaptar las dimensiones originales de la carpintería a las dimensiones estandarizadas del ensayo. Se realiza una adaptación a 1,23 x 1,48 m que mantenga las mismas proporciones de marco-vidrio y si es posible también la configuración de las hojas, el número y la forma de apertura practicable o fija. En este caso, hay una hoja de vidrio fijo inferior y una hoja practicable superior. El marco es de aluminio con rotura de puente térmico y los vidrios son dobles 6-16-6, con lámina bajo emisiva. Así, en el taller de carpintería realizan una unidad de la ventana adaptada.



La ventana se instala en el equipo de caja caliente guardada, en el hueco destinado para las muestras y se asegura la correcta colocación de la muestra. El ensayo tiene una duración aproximada de 7 días, durante los que se controlan que todas las variables sean correctas y cumplan la estabilidad definida en la norma. Una vez se comprueba que el ensayo tiene los puntos de medición suficientes para poder determinar la transmitancia térmica de la muestra con total seguridad, se finaliza el ensayo y se procede al tratamiento de los datos.



T^a ambiente en cámara caliente(°C)	19,99
T^a ambiente en cámara fría (°C)	-0,08
ΔT ambiente (°C)	20,07
Flujo de calor (W/m^2)	40,96
V_i Flujo de aire en cámara caliente, descendente (m/s)	0,01
V_c Flujo de aire en cámara fría, ascendente (m/s)	1,52
R_{st} ($m^2 \cdot K / W$)	0,17

El análisis incluye las diferentes temperaturas de las dos cámaras, caliente y fría, las velocidades de aire y el flujo de calor que ha atravesado la muestra. El flujo de calor y el valor de la transmitancia térmica se mantienen constantes en el tiempo, por lo que se puede considerar como válido el resultado obtenido.

En este ejemplo, la carpintería obtiene un valor final de transmitancia térmica de:

$$U_w = 2,04 \pm 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$



12. Ensayos de control de ejecución de la obra.

12.1. Ensayo de Puerta ventilador

OBJETIVO

Comprobar la **efectividad de las soluciones de estanqueidad al aire** ejecutadas en obra. Y localizar los **principales puntos de infiltraciones**.

RESULTADOS

Tasa de Renovaciones hora promedio a 50 Pa de presión, **n50** [h^{-1}].

Caudal de infiltraciones promedio a 50 Pa de presión, **V50** [m^3/h].

Ubicación de los principales puntos de fuga de aire.

METODOLOGÍA

Se puede medir el edificio o partes representativas (p.e.viviendas). Primero se revisa que la envolvente cumpla las exigencias de la norma y se comprueba el estado de los elementos de estanqueidad, las carpinterías, las instalaciones y los encuentros. Se mide el volumen interior in-situ y se instala la puerta ventilador. Se mide en depresión y sobrepresión y se determina el caudal promedio de infiltraciones (v50). Se localizan las fugas de aire utilizando medios auxiliares (termoanemómetro, termografía, humo, etc.) y utilizando el ventilador en depresión nominal de 50 Pa (modo crucero).

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

ISO 9972:2015 *Thermal performance of buildings -- Determination of air permeability of buildings -- Fan pressurization method.*

PLANIFICACIÓN, DURACIÓN y MUESTREO

Un ensayo y localización de fugas en vivienda dura entre 2-5h. Se pueden ensayar otros recintos como contraste. Requiere un periodo posterior de análisis de datos, para verificar su validez y obtener los resultados finales.

LIMITACIONES

El recinto a ensayar en obra debe tener completada la línea de estanqueidad al aire del proyecto. Los elementos o materiales de estanqueidad deben estar accesibles para detectar las fugas correctamente y poder solucionar los problemas con el menor coste de intervención.

Este ensayo es un punto clave del control de calidad en la fase de ejecución. Permite analizar el nivel de estanqueidad al aire conseguido con las soluciones definidas en el proyecto de ejecución. Por un lado se comprueban los encuentros constructivos de la envolvente, como las uniones de paredes con suelos y techos, o el montaje de carpinterías (ventanas, puertas, etc.). Por otro lado, se comprueban los distintos elementos que atraviesan la envolvente del recinto, como los patinillos, los conductos de desagüe de pisos superiores, las acometidas de calefacción, los cableados de electricidad, telecomunicaciones, etc.

Por ello, la planificación de obra debe reorganizarse para que se pueda ensayar el funcionamiento de la línea de estanqueidad, como un conjunto de elementos claramente definidos y cerrados. Es decir, que deben estar correctamente levantados los cerramientos, paredes, suelos, pasos de instalaciones, cajas de registros y carpinterías. Para conseguir recintos estancos ($n_{50} < 2 \text{ h}^{-1}$ aproximadamente) los elementos deben formar una superficie continua y estanca al aire. En esta fase, es muy conveniente que no haya acabados definitivos todavía, para poder localizar las fugas de aire y corregirlas. Se pueden realizar ensayos parciales para verificar el montaje adecuado de carpinterías u otras soluciones, como muestra el ejemplo más adelante.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº espacios habitables	Nº ensayos, seleccionar los espacios más representativos del edificio
$n \leq 10$	1
$10 < n \leq 30$	2
$30 < n \leq 50$	3
$n \geq 50$	4

Este ensayo es una herramienta que puede utilizarse con diferentes objetivos y pueden hacerse labores de sellado temporal diferentes a las establecidas en la norma, para hacer diagnósticos puntuales especializados, a criterio del técnico del ensayo. En el caso de proyectos de edificios de muy bajo consumo o con carácter pasivo, la estanqueidad al aire se convierte en un aspecto crítico del comportamiento energético.

El procedimiento de ensayo requiere una preparación específica según la norma que se aplique, habiendo ligeras diferencias entre la más habitual UNE-EN 13829:2002 y la más reciente ISO 9972:2015. En general, la medición se realiza sellando temporalmente con cinta u otro elemento estanco todas las aberturas intencionadas de la envolvente para ventilación (como las rejillas de admisión y/o extracción); para determinar las posibles vías de paso de flujo de aire no controlado (infiltraciones).

El ensayo consiste en la obtención de una curva de caudal de aire que cruza la puerta ventilador en relación a la diferencia de presión interior-externo. En primer lugar, se comprueban las condiciones ambientales tanto al inicio como al final del ensayo, ya que se exige que la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la vivienda sea inferior a 5 Pa. Posteriormente, el ensayo mide el caudal en varios puntos vinculados a diferentes presiones, habitualmente son 10 puntos de medida entre 70 y 20 Pa. Además, en cada uno de los niveles de presión se hace un muestreo múltiple (100 valores es habitual) y se toma su valor promedio. Estas 10 puntos se miden dos veces (en depresión y en sobrepresión), ya que se hacen las 10 mediciones en un sentido y después se le da la vuelta al ventilador para hacer las 10 medidas restantes. Finalmente, a partir de las 2 curvas de caudal para sobrepresión y depresión se extrae su valor promedio de caudal v50 [m³/h]. Conociendo el volumen del espacio ensayado, se hace el cálculo de las renovaciones por hora n50 [h⁻¹].

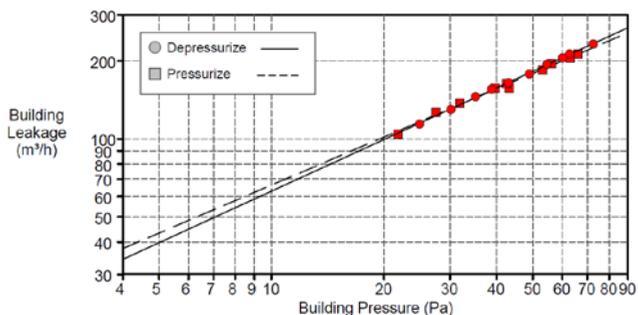


Figura 16. Gráfica de la estanqueidad durante el ensayo a distintas presiones

Aunque hay diferentes tipos de indicadores de referencia del grado de estanqueidad al aire, el más habitual en Euskadi y España es el n50 [h⁻¹], la tasa de renovaciones hora a 50 Pa de diferencia de presión interior-externo. Como se ha explicado anteriormente, este valor resume con gran precisión la

estanqueidad al aire de la envolvente, ya que se obtiene a partir de 10 parejas de puntos en sobrepresión y depresión, con 100 mediciones cada punto.

Mediante el “modo crucero” se mantiene la vivienda a una depresión constante de -50 Pa y se inspecciona la envolvente buscando puntos de flujo de aire, ya sea por sensación al tacto con las manos, mediante medida localizada de velocidades de aire con un anemómetro, o con una cámara termográfica (termografía activa).

NOTA:

“Build tight, Ventilate right”

La estanqueidad al aire es un aspecto principal de las pérdidas de calor. Sin embargo, las viviendas muy estancas al aire pueden tener graves problemas de salubridad si no ventilan adecuadamente. Para evitar este riesgo, cuanto mayor sea la estanqueidad al aire, mejor deberá ser el control del sistema de ventilación y su mantenimiento.

Ejemplo 1:

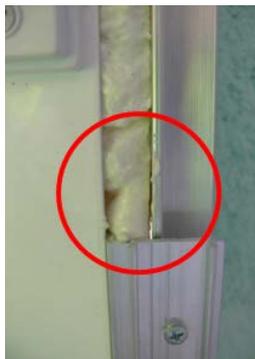
Puerta ventilador en fase de obra de un edificio de vivienda colectiva

Se desea verificar si se cumple el objetivo voluntario de estanqueidad al aire, $n_{50} \leq 2 \text{ h}^{-1}$.

A diferencia de las casas pasivas, este valor de estanqueidad puede conseguirse sin necesidad de crear una capa estanca continua específica... Pero sí exige una especial atención en todas las soluciones constructivas y la ejecución de los encuentros y los pasos de instalaciones.

El avance de la obra se hizo específicamente para poder realizar este ensayo. En obra se seleccionó una vivienda tipo, con la envolvente, huecos y pasos de instalaciones completas.





A partir del primer ensayo se realizaron unos sellados correctores y se bajó hasta $1,4 \text{ h}^{-1}$. Sin embargo, el ensayo de final de obra resultó en $2,3 \text{ h}^{-1}$. Se comprobaron varias viviendas y se concluyó que las instalaciones montadas más adelante no estaban bien selladas.

Gracias a los errores detectados en obra se redujeron las infiltraciones en casi un 50%.

Ejemplo 2:

Comprobación en fase de obra de la calidad de los sellados de montaje de carpinterías

Se hizo una medición en una sub-zona para valorar el nivel de estanqueidad de los encuentros de montaje de las carpinterías tipo en fachada. El ensayo permitió descubrir que la silicona prevista no se adhería correctamente a las carpinterías. Tras aplicar medidas correctoras, se repitieron ensayos en varias habitaciones y el resultado mejoró notablemente.



13. Ensayos de control de la obra terminada

13.1. Verificación de la Resistencia Térmica in-situ.

OBJETIVO

Conocer el **grado de aislamiento real** de cerramientos planos opacos.

RESULTADOS

Valor de la **Resistencia térmica** real de cerramientos planos opacos, R_t .
También es posible determinar la **transmitancia térmica** del elemento, U.

METODOLOGÍA

Medir simultáneamente el flujo de calor y la diferencia de temperaturas entre las caras interior y exterior de un cerramiento opaco, registrando estos tres valores con frecuencias de diez minutos.

ISO 9869-1:2014. *Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method.*

DURACIÓN, PLANIFICACIÓN Y MUESTREO

Mediciones de al menos 2 semanas, en función del salto de temperaturas interior-exterior.

Requiere un periodo de análisis de los datos, verificación de su validez y obtención del resultado.

LIMITACIONES

El espacio debe estar acondicionado para mantener un salto térmico mínimo respecto a las temperaturas exteriores.

Se debe medir en un punto homogéneo del cerramiento, alejado de puentes térmicos, huecos de ventanas y fuentes de calor cercanas.

Este ensayo permite comprobar in-situ la resistencia térmica real de los cerramientos opacos. Se utiliza un procedimiento estandarizado según norma que define cómo medir el flujo de calor a través de un cerramiento y el salto térmico existente entre ambas caras (interior y exterior). El ensayo debe realizarse cumpliendo las exigencias de la norma ISO 9869-1:2014.



La medición debe seguir el procedimiento, para minimizar las incertidumbres relacionadas con una medición en condiciones dinámicas. Para que los datos permitan obtener un resultado fiable, es necesario que el espacio interior esté calefactado para mantener un flujo identificable y ajustar la duración del ensayo. En general, una fachada tipo actual puede necesitar un periodo de medición de entre 1 a 3 semanas.

Además, es recomendable utilizar una frecuencia de medida de 10 minutos.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº tipos de materiales	Nº ensayos	
	< 20 espacios habitable	≥ 20 espacios habitables
$n \leq 5$	Se recomiendan 3	3
$5 < n \leq 10$	3	5
$n \geq 10$	5	5

Ejemplos de la instrumentación del ensayo:

- Fluxímetro o medidor de flujo de calor.
- 2 Sondas de temperatura superficial
- Equipo adquirente autoguardante
- Otros accesorios: cintas de montaje, pasta térmica, fuentes de alimentación, calefactores portátiles,...

NOTA:

Un local acondicionado térmicamente favorece la realización de esta medición, en tanto que las condiciones interiores no fluctúan directamente en función de las condiciones exteriores, facilitando el posterior tratamiento dinámico de los datos. Si el local no está acondicionado, debe plantearse una calefacción provisional y aleatoria del mismo para el ensayo.

Otro aspecto importante es la selección del punto de medida. La medición se hace preferentemente en una fachada norte o en lugares con la menor incidencia posible de la radiación solar directa. Se debe seleccionar un tramo de cerramiento homogéneo, sin incidencia de puentes térmicos o irregularidades térmicas. Es conveniente verificar la homogeneidad del cerramiento utilizando termografía infrarroja por el interior antes de instalar la instrumentación.

En el lado interior del cerramiento (lado caliente o protegido) se instala un fluxímetro y una sonda de temperatura superficial. En el lado exterior (lado frío o exterior) se posiciona otra sonda de temperatura superficial. Según el contacto con el cerramiento, puede ser conveniente usar pasta térmica conductiva en su montaje.



Figura 17. Montaje de la instrumentación en el interior de una fachada

La medida de la Resistencia Térmica in-situ de cerramientos planos opacos puede hacerse tanto en obra nueva como en edificios existentes.

En obra nueva, puede hacerse a partir del momento en que el cerramiento ha rematado su configuración definitiva y dependiendo del criterio técnico puede aceptarse la realización del mismo aun cuando no estén aplicados los acabados superficiales.

En edificios ya construidos es especialmente útil ya que permite caracterizar el comportamiento de cerramientos indeterminados. Así todo, requiere una comprobación del punto de medida y es conveniente recabar toda información posible a través de inspecciones termográficas o incluso catas de exploración interior para mayor certeza.

LIMITACIONES

El entorno del punto de medida debe ser homogéneo, sin irregularidades o encuentros.

Se debe comprobar que los flujos de calor laterales no tengan un efecto significativo.

Este método no constituye un método de alta precisión que pueda reemplazar métodos de medida de la resistencia térmica en laboratorio, como por ejemplo el de la caja caliente guardada definido por UNE-EN ISO 8990: 1996.

Ejemplo:

Comprobación de los niveles de aislamiento térmico instalados en cerramientos

Se desea comprobar los grados de aislamiento térmico de la envolvente de un edificio de construcción reciente. Debido a diversos problemas con la documentación, se opta por realizar ensayos de resistencia in-situ.

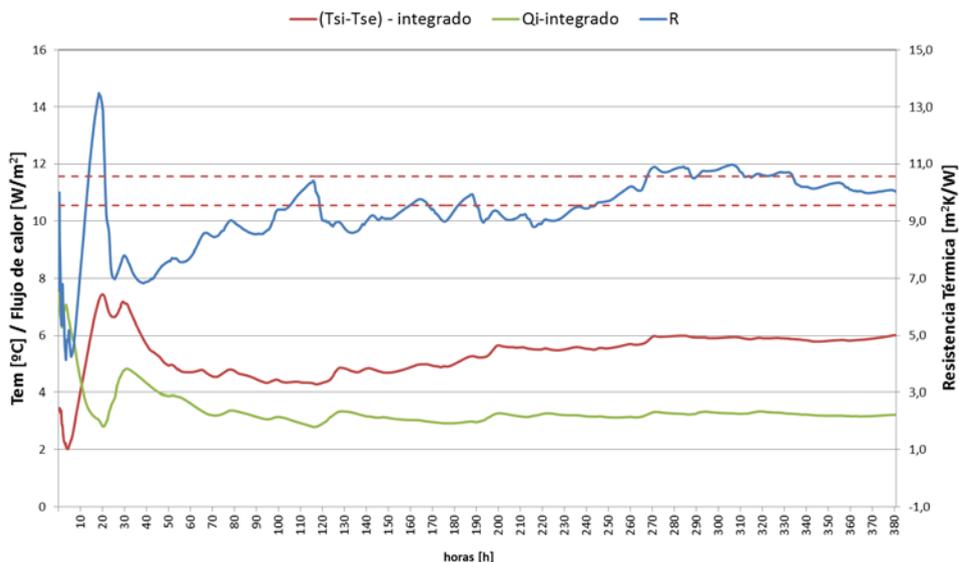
Se planifica medir los 3 elementos principales de la envolvente: la fachada tipo, el forjado inferior y la cubierta plana.



Secciones tipo del antepecho de cubierta (izquierda) y suelo (derecha)

Cada punto de medición requiere pequeñas adaptaciones. En la fachada ventilada, se procede a desmontar una pieza para acceder instalar la sonda de

temperatura en la cara exterior del aislamiento. En el forjado inferior fue difícil localizar un punto sin bajantes cercanas o pasos de instalaciones. Y en la cubierta, donde se había cambiado la solución de losetas con aislamiento por una capa de grava, hubo que buscar un punto interior libre de falso techo y se apartó temporalmente la grava de protección para montar el sensor superficial en la cara exterior del aislamiento.



Los resultados finales confirmaron que los tres elementos de la envolvente térmica cumplían las exigencias mínimas del CTE (DB HE 2006). Sin embargo, se descubrió que la cubierta tenía 4 cm menos aislamiento del previsto, esto se explica ya que al cambiar las losas por la grava de protección, no se colocó la segunda capa de aislamiento térmico de las losas.

Esta herramienta puede servir para detectar irregularidades y para cuantificar el grado de aislamiento real presente en un cerramiento.



13.2. Verificación de la estanqueidad: Puerta ventilador.

OBJETIVO

Determinar la **estanqueidad al aire** de final de obra o edificio terminado.
Localizar los **principales puntos de fuga de aire**.

RESULTADOS

Tasa de Renovaciones hora promedio a 50 Pa de presión, **n50** [h^{-1}].

Caudal de infiltraciones promedio a 50 Pa de presión, **v50** [m^3/h].

Ubicación de los principales puntos de fuga de aire.

METODOLOGÍA

Se puede medir el edificio o partes representativas (p.e.viviendas). Primero se revisa que la envolvente cumpla las exigencias de la norma y se comprueba el estado de los elementos de estanqueidad, las carpinterías, las instalaciones y los encuentros. Se mide el volumen interior in-situ y se instala la puerta ventilador. Se mide en depresión y sobrepresión y se determina el caudal promedio de infiltraciones (v_{50}). Se localizan las fugas de aire utilizando medios auxiliares (termoanemómetro, termografía, humo, etc.) y utilizando el ventilador en depresión nominal de 50 Pa (modo crucero).

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

ISO 9972:2015 *Thermal performance of buildings -- Determination of air permeability of buildings -- Fan pressurization method.*

PLANIFICACIÓN, DURACIÓN y MUESTREO

Un ensayo y localización de fugas en vivienda dura entre 2-5h. Se pueden ensayar otros recintos como contraste. Requiere un periodo posterior de análisis de datos, para verificar su validez y obtener los resultados finales.

LIMITACIONES

El recinto debe estar completado, en las condiciones de entrega finales incluyendo acabados. El caudal máximo del ventilador limita la dimensión del recinto a ensayar, habitualmente se ensayan algunas viviendas de forma individual. Se deben seleccionar espacios o tipologías variadas, representativas del conjunto del edificio según cada caso.

El nivel de permeabilidad al aire de la envolvente se mide mediante el ensayo denominado “Puerta – ventilador”, UNE EN 13829. Se trata de un ensayo no destructivo que se realiza *in situ*, y que consiste en crear una diferencia de presión entre la vivienda y el ambiente exterior mediante un ventilador colocado en el marco de la puerta de acceso a la vivienda. De esta forma se mide el caudal de aire que atraviesa la envolvente y se establece el nivel de permeabilidad de la envolvente.

Este ensayo permite comprobar el grado de estanqueidad final del edificio y evaluar sus posibles efectos negativos tanto en el rendimiento del sistema de ventilación, como en el aumento de las pérdidas de calor en climatización. Se valora el cumplimiento de las prestaciones de estanqueidad al aire definidas en el proyecto de ejecución. En el caso de proyectos de edificios de muy bajo consumo o con carácter pasivo, la estanqueidad al aire se convierte en un aspecto crítico del comportamiento energético.

El ensayo de final de obra debería presentar mejores resultados que el ensayo durante la ejecución de la obra, siempre y cuando no se haya modificado la envolvente ya ensayada. Sin embargo, es bastante frecuente que el montaje de tabiquería, trasdosados o el paso de algunas instalaciones aumenten las infiltraciones. Al ensayarse con todos los acabados terminados, no suele ser posible acceder a la línea de estanqueidad, pero sí se pueden localizar fugas de aire puntuales y aplicar pequeñas correcciones que mejoren el resultado final. Por estos motivos, para conseguir buenos resultados es fundamental el ensayo de control durante la ejecución de la obra.

Por un lado se comprueban los encuentros constructivos visibles de la envolvente y el montaje de carpinterías (ventanas, puertas, etc.). Por otro lado, se comprueban los distintos elementos que atraviesan la envolvente del recinto, como los registros, patinillos, conductos de desagüe de pisos superiores, acometidas de calefacción, cableados de electricidad, telecomunicaciones, etc.

El procedimiento de ensayo requiere una preparación específica según la norma. En el apartado 12.1 se pueden consultar los detalles del procedimiento de ensayo de control durante la ejecución de la obra.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº espacios habitables	Nº ensayos, seleccionar los espacios más representativos del edificio
$n \leq 10$	1
$10 < n \leq 30$	2
$30 < n \leq 50$	3
$n \geq 50$	4

Por el momento no hay valores netos normativos sobre el grado de estanqueidad al aire que debe tener una vivienda. Existen algunas referencias de valores límite en normativas europeas, por ejemplo en Alemania se utilizan los siguientes umbrales para vivienda nueva:

- $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ para casas pasivas
- $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ para sistemas de ventilación mecánicos
- $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ para sistemas de ventilación natural

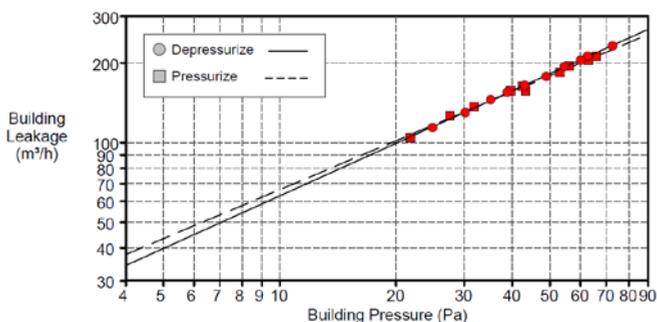


Figura 18. Aspecto de los acabados finales en una vivienda ensayada en el final de obra y resultados



Figura 19. Sellado temporal de rejillas de admisión (salón y habitaciones) y de extracción (Cocina y baños) durante el ensayo de estanqueidad al aire (Método B de la Norma UNE-EN 13829:2002)

Existen diversas fuentes que analizan la estanqueidad al aire en Europa, como el proyecto QualiCheck o el ETHICS. La Tabla 6, en la siguiente página, resume los umbrales de numerosos países europeos:



Country	Max Air Permeability		Pressure difference (Pa)	Comments
UK	10	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	50	Area includes ground floor
Finland	4	ac/h	50	This is the default value
	3	ac/h	50	less than 2 storeys
Norway	1.5	ac/h	50	over 2 storeys
	4	ac/h	50	domestic
France	1.2 (1.7)	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	4	ALI: offices/apartments. Ref. Val., default in brackets
	2.5 (3.0)	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	4	ALI: Industrial. Ref. Val., default in brackets
	0.8 (1.3)	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	4	ALI: Single houses. Ref. Val., default in brackets
Belgium	3	ac/h	50	housing with mechanical ventilation
Germany	1.5	ac/h	50	mechanical ventilation
	3	ac/h	50	natural ventilation
	0.6	ac/h	50	Passivhaus standard
Italy	10	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	98	schools
Netherlands	0.2	m^3s^{-1}	10	$\leq 500\text{m}^3$
	(Building Vol/500)*0.2	m^3s^{-1}	10	$> 500\text{m}^3$
Sweden	2.88	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	50	Housing. Area includes ground floor (quoted as 0.8 l/s/m ²)
	5.76	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	50	Industrial. Area includes ground floor (quoted as 1.6 l/s/m ²)
Switzerland	0.75	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	4	
Spain	27	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	100	Northerly, cooler areas
	50	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$	100	Southerly, warmer areas

Tabla 6. Comparativa de estanqueidad al aire en Europa. Fuente Proyecto ETHICS

NOTA:

La estanqueidad al aire es un aspecto principal de las pérdidas de calor. Sin embargo, las viviendas muy estancas al aire pueden tener graves problemas de salubridad si no ventilan adecuadamente. Para evitar este riesgo, cuanto mayor sea la estanqueidad al aire, mejor deberá ser el control del sistema de ventilación y su mantenimiento.



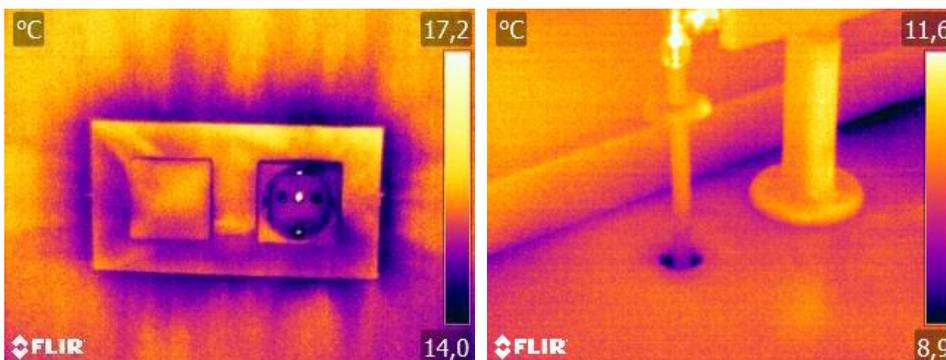
Los puntos críticos se pueden detectar mediante herramientas complementarias. La termografía infrarroja es una de las más útiles para localizar con precisión los efectos, siempre que exista una diferencia de temperatura interior/exterior suficiente.

Otra de las herramientas habituales es mediante humo (proveniente de cartuchos o generadores), que permite apreciar entradas, siempre que se pueda acceder al exterior de la envolvente. Es muy importante hacer un diagnóstico detallado de la estanqueidad al aire de las soluciones constructivas ejecutadas, para poder aplicar medidas correctoras en todo el edificio.

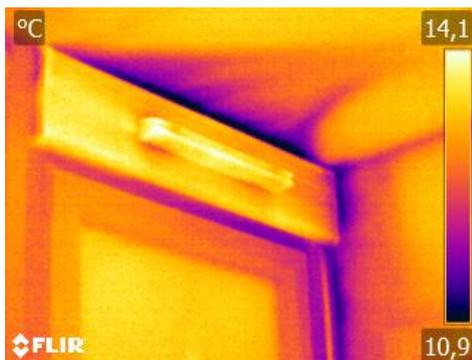
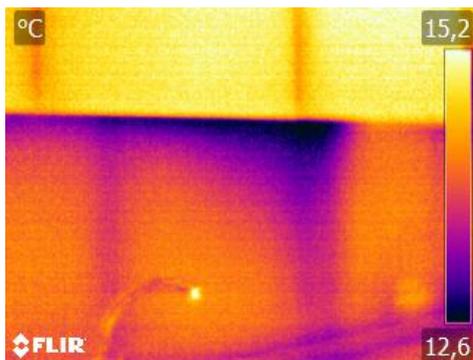
Ejemplo:

Puntos habituales de infiltración de aire detectados en el ensayo de final de obra

Se muestran ejemplos de pasos de aire no controlados en viviendas terminadas, detectados por termografía activa y por medidor de velocidad de aire, en la inspección de la envolvente mientras la vivienda permanece en depresión constante de -50 Pa (modo crucero de la puerta ventilador)



Infiltraciones por instalaciones tanto de calefacción, como eléctricas y de fontanería



Infiltraciones por taladros de montaje de mobiliario en cocina y en encuentro deficientemente resuelto en cajón de persiana.



Los tiradores de persiana, tanto en el cajón como en el marco (izquierda), como los cuadros de registros eléctricos y de calefacción (derecha), suelen ser puntos habituales de infiltración.



13.3. Control de la renovación de aire interior: Gases trazadores.

OBJETIVO

Comprobar los **caudales de ventilación** de cada una de las estancias interiores, hacer el balance global, **equilibrar admisión-extracción** y cuantificar los caudales de infiltración.

RESULTADOS

Tasa de renovación de aire de cada estancia ACH (h^{-1}).

Balance global de la renovación de aire en la vivienda: ventilación más infiltraciones.

Verificación del sistema de ventilación respecto al proyecto.

Detección de zonas de estancamiento del flujo de aire, medición de la "edad del aire".

METODOLOGÍA

Definir las estancias a ensayar. Se procede secuencialmente y en cada estancia se libera un gas trazador y se mide el decaimiento de su concentración. Para asegurarse de que el gas trazador se difunde por toda la estancia en el momento de la medición, se hace una leve agitación del aire interior con un ventilador a baja velocidad. Mediante el analizador de gases se determina la velocidad con la cual disminuye la concentración del gas y esta velocidad está asociada al nivel de renovación de aire de la estancia analizada. Antes de pasar a otra estancia, hay un breve periodo de aireación de toda la vivienda para eliminar restos del gas trazador.

UNE-EN ISO 12569:2012 *Comportamiento térmico de los edificios y de los materiales. Determinación del caudal de aire específico en edificios. Método de dilución de gas trazador. (ISO 12569:2000).*

DURACIÓN, PLANIFICACIÓN Y MUESTREO

La medición de una estancia dura en torno a 1 h. El ensayo de una vivienda habitual puede durar unas 7 h. Los estudios de "edad del aire" son más complejos, durando hasta 1 jornada por estancia.

LIMITACIONES

La vivienda debe estar completamente terminada, la ventilación plenamente operativa y las puertas interiores cerradas.

Es necesario que todas las estancias tengan el sistema de ventilación funcionando con la misma configuración.

El CTE DB-HS3 establece unos caudales mínimos de ventilación en cada local de la vivienda. Mediante la técnica de gases trazadores se pueden medir los caudales de ventilación en cada local de la vivienda con gran precisión y sin las limitaciones de otras técnicas. Además de los caudales de ventilación, es posible medir otros parámetros que caracterizan el funcionamiento del sistema de ventilación. Estos parámetros se refieren a la capacidad de renovar el aire del sistema de ventilación en distintos puntos del local (“edad del aire”).

La técnica de los gases trazadores consiste en la emisión controlada de un gas no presente en el ambiente. Como se realiza la emisión del gas trazador, define el método empleado. Se registra la evolución del gas trazador en el tiempo, para relacionarlo con el caudal de ventilación del local ensayado.

Las normas UNE EN ISO 12569 y ASTM E 741-00 describen los requisitos que son necesarios cumplir y el procedimiento de ensayo. Estas normas establecen las comprobaciones que son necesarias realizar antes, durante y después de cada ensayo. Asimismo, definen las características de la instrumentación a utilizar en cuanto a precisión. En la figura siguiente se muestra la instrumentación requerida.



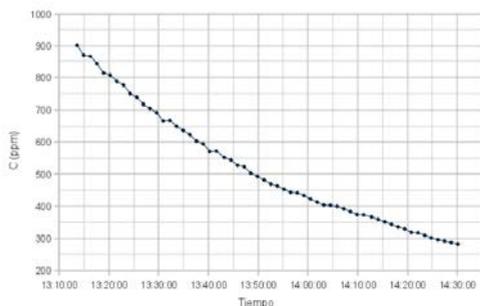
Figura 20. Ensayo de comprobación de caudales de ventilación mediante gases trazadores

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo, se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº espacios habitables	Nº ensayos, seleccionar los espacios más representativos del edificio
$n \leq 10$	Se recomienda ensayar 1 espacio habitable
$10 < n \leq 30$	1
$30 < n \leq 50$	2
$n \geq 50$	3

Los tres métodos de ensayo utilizados son la caída de concentración o dilución del gas trazador, el método de la inyección constante (se emite gas a una razón constante) y el método de la concentración constante (se emite el gas suficiente para mantener constante su concentración en el ambiente), siendo el primero el empleado en la comprobación de caudales y los demás en análisis de eficiencia de la ventilación. Al igual que el ensayo de "Puerta-ventilador" se trata de un ensayo no destructivo, pero es necesario realizarlo con la obra finalizada.

La medición de la caída de la concentración produce un registro como el mostrado en la siguiente gráfica:



$$Q = V \cdot \frac{\ln C(t_0) - \ln C(t_i)}{t}$$

$C(t_0)$ → Concentración del gas trazador en el instante t_0

$C(t_i)$ → Concentración del gas trazador en el instante t_i

t → Intervalo de tiempo entre t_0 y t_i

Figura 21. Curva de caída de la concentración del gas trazador

NOTA

En estancias con aberturas y/o dimensiones complejas, también es posible analizar la eficiencia de la renovación de aire interior, determinando posibles zonas de estancamiento del flujo de aire dentro de una estancia, en una medición conocida como "edad del aire".

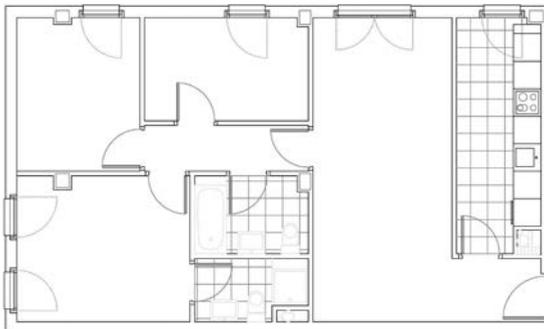
Ejemplo:

Medición de caudales interiores en una vivienda de tres dormitorios

Se analiza una vivienda en un edificio residencial colectivo, compuesta por: salón, cocina, tres dormitorios, baño y aseo. El sistema de ventilación es de Flujo Simple, con una extracción mecánica en los locales húmedos y admisión natural en los locales secos mediante aberturas directas en ventanas.

Se desea comprobar los niveles de ventilación mínimas del CTE DB-HS3 en cada estancia, así como hacer el balance neto global de la vivienda.

Para que la vivienda sea representativa, se selecciona una vivienda desfavorable preferentemente una vivienda situada en la planta inferior.

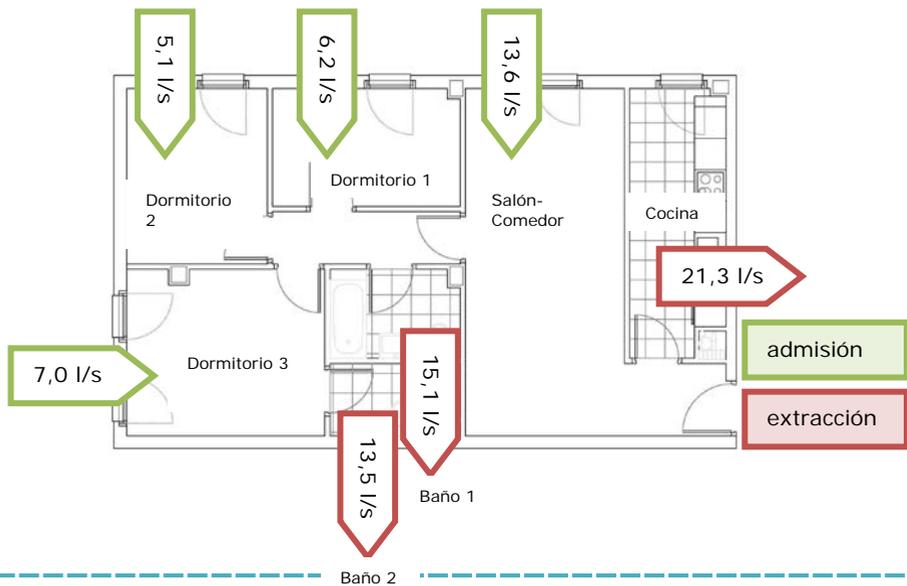


Se mide la renovación de aire en cada estancia de la vivienda, una a una. Todas las puertas y ventanas permanecen cerradas durante el ensayo. Durante todo el ensayo se monitorizan y registran variables complementarias como temperatura/humedad ambiente interior y exterior y velocidad de aire en alguna rejilla de extracción.





Es necesario controlar que el sistema de ventilación esta encendido y operando de forma nominal durante todo el ensayo, para poder combinar las mediciones de todas las estancias.



Resultados y actuaciones correctoras:

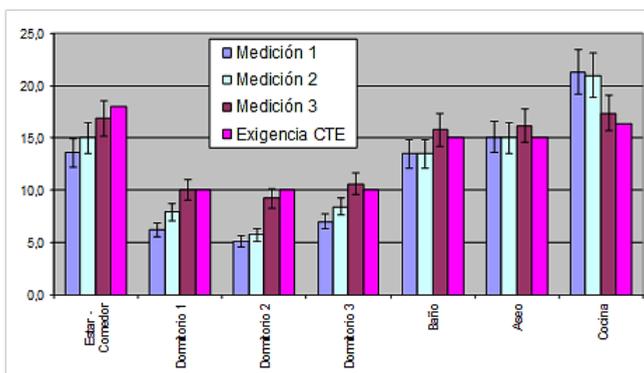
Se detecta una importante presencia de infiltraciones en la cocina. Una inspección permitió comprobar fallos en la campana extractora de humos y la ausencia de válvula anti-retorno de humos. Tras corregirlo se hizo una segunda medición y el desbalance se redujo a 12,5 l/s.

Las rejillas de admisión de caudal constante, podían ajustarse para permitir mayor o menor paso de aire. Se ajustaron para permitir un mayor caudal de admisión, al tiempo que la rejilla de cocina se reemplazó por otra de menor capacidad. En esta ocasión el desbalance se redujo a 2,7 l/s, al tiempo que se ajustó la renovación de cada estancia a su valor indicado por CTE.

Local	Exigencia (l/s)	Medición 1 (l/s)	Medición 2 (l/s)	Medición 3 (l/s)
Estar - Comedor	18	13,6	15,0	16,9
Dormitorio 1	10	6,2	7,9	10,0
Dormitorio 2	10	5,1	5,7	9,2
Dormitorio 3	10	7,0	8,4	10,6
Baño	15	13,5	13,5	15,8
Aseo	15	15,1	15,0	16,2
Cocina	16,4	21,3	21,0	17,4

$$\text{Sale} \quad \text{Entra}$$

$$49,4 \quad - \quad 46,7 = 2,7 \text{ l/s}$$



La tabla y gráfica anteriores muestran una comparativa de la medición inicial con las otras dos mediciones adicionales para corregir los defectos detectados. Se observa como finalmente se consiguió alcanzar los niveles exigidos por salubridad en el CTE (DB-HS 2009) para esta vivienda. Como conclusión, este ensayo permitió corregir carencias de hasta el 50% en la renovación de aire. Estas correcciones fueron realizadas en todas las demás viviendas del edificio.

13.4. Termografía infrarroja.

OBJETIVO

Verificar el **comportamiento térmico homogéneo de los cerramientos** del edificio terminado y confirmar la ausencia de **irregularidades** significativas.

RESULTADOS

Variaciones y comparaciones de temperatura superficial en torno a los **encuentros constructivos** y en los distintos **cerramientos** del edificio, exteriores y/o interiores.

METODOLOGÍA

Acondicionar el edificio en condiciones de uso nominales y analizar las diferencias de temperaturas superficiales exteriores entre los principales cerramientos de la envolvente térmica y en las áreas cercanas a los encuentros constructivos.

EN 13187:1998 *Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method (ISO 6781:1983 modificada).*

PLANIFICACIÓN, DURACIÓN Y MUESTREO

El edificio debe estar acondicionado y estabilizado (calefacción desde unas 24-48 h antes).

Las mediciones duran 1-2 días en función de la complejidad del edificio y requiere un periodo de análisis de las imágenes prolongado para la obtención de resultados.

LIMITACIONES

La termografía es una herramienta con gran potencial, pero la interpretación es compleja y conviene usar medidas complementarias. Debe hacerlas un profesional formado y cumpliendo las condiciones climatológicas exigidas por la norma ($\Delta T_{i-e} > 10^{\circ}\text{C}$, cerramientos secos, con temperaturas estabilizadas en las horas previas al ensayo, etc.).

La termografía Infrarroja (IR) permite detectar irregularidades en la envolvente de los edificios, empleando una cámara termográfica para detectar variaciones en las temperaturas superficiales de los elementos constructivos. Las variaciones de la temperatura superficial se pueden tener diferentes

causas: Irregularidades en el aislamiento, contenido de humedad, infiltraciones, defectos constructivos,... Sin embargo, es una herramienta compleja y para poder atribuir causas y efectos es necesario cumplir las condiciones mínimas de la norma EN 13187:1998. Conviene apoyarse en profesionales cualificados, como los Termógrafos acreditados por organismos de formación internacionales (ITC y otros).

Sus principales ventajas residen en que es una herramienta no invasiva y no destructiva; de forma que no molesta a los ocupantes y puede repetirse varias veces hasta conseguir imágenes concluyentes que permitan analizar cada comportamiento térmico local.

Los resultados pueden estar afectados por diversas limitaciones como la climatología, el estado de acondicionamiento del edificio y las incertidumbres del propio método. En general, para que los resultados sean concluyentes es necesario complementar las termografías infrarrojas con otros estudios complementarios como el cálculo de los puentes térmicos, la monitorización de temperaturas interiores o la medición de la resistencia térmica in-situ.

Para hacer una correcta inspección termográfica en edificios, es necesario seguir el procedimiento específico definido en la **norma EN 13187:1998**, *Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method (ISO 6781:1983 modificada)*. La cual se divide en dos procedimientos, uno simplificado para edificios y otro más detallado para el control en la industria.



Figura 22. Ejemplos de modelos cámaras termográficas. Fuente: FLIR, FLUKE, TESTO

Es necesario que el edificio esté terminado y calefactado según su uso nominal. Se puede utilizar como herramienta de control de ejecución de obra, pero sólo sirve para localizar las irregularidades o defectos, no permite determinar su importancia.

En cuanto al muestreo o lotes de ensayo, se propone seguir las indicaciones que se dan en la siguiente tabla.

Nº espacios habitables	Nº ensayos
$n \leq 20$	Se recomienda
$n \geq 20$	1

Las termografías dependen completamente de la meteorología. Es necesario realizarlo con un salto térmico de al menos 10 °C (temperaturas exteriores por debajo de 10 °C). El horario ideal para la toma de termografías es de madrugada (0 - 8 h) y no deberían realizarse inspecciones exteriores de día debido al efecto desestabilizador de la radiación solar en los cerramientos.

Planificación antes del ensayo: Analizar la envolvente, materiales, orientación, carpinterías y puentes térmicos. Estimar el campo de temperaturas de la envolvente para localizar diferencias.

Principales pasos del ensayo:

- Medir o anotar los datos climatológicos durante la prueba (T, humedad, viento)
- Medir los valores de la Emisividad (ϵ) y la Temperatura Aparente Reflejada (Tref).
- Comenzar con una inspección preliminar y profundizar en los detalles encontrados.
- Posicionar los puntos de captura de termografías y de toma de datos.
- La precisión de medida de la temperatura es la mayor de $\pm 10\%$ o $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
- En caso de duda con reflejos, variando la posición de la termografía.
- En presencia de infiltraciones importantes, se recomienda medir su caudal

Contenido mínimo del informe según la norma EN 13187:1998:

- Descripción del cliente, objeto del estudio y el edificio estudiado.
- Fecha y hora.
- Temperatura de aire interior y exterior durante ensayo.
- Factores climáticos detectados (viento, cambios bruscos, etc).
- Identificación de las partes del edificio analizadas.



- Tipo, alcance y posición de cada efecto detectado.
- Resultados de mediciones e investigaciones suplementarias.
- Fecha y firma del profesional.

LIMITACIONES

Climatología: sin radiación solar, $\Delta T > 10^{\circ}C$, viento moderado, sin lluvia reciente, sin niebla, climatología estable en horas previas (minimizar efecto de la inercia).

Conocimiento del edificio: Características de la envolvente térmica, soluciones de encuentros constructivos (posibles puentes térmicos), emisividad de los materiales y acceso al interior.

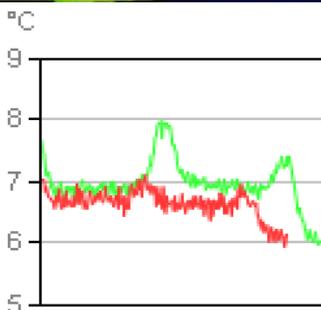
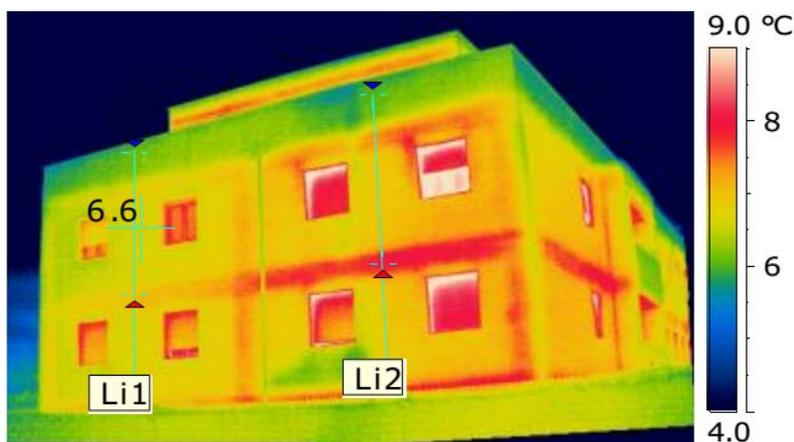
Equipos de medida adecuados: Cámara infrarroja regulada, sensores de T y HR calibrados.

Ejemplo:

Ensayo de control de la calidad de la envolvente térmica

En un edificio de vivienda colectiva ya en uso que desea verificar la calidad constructiva y el cumplimiento del CTE DB-HE. La termografía infrarroja es muy útil para detectar irregularidades en la envolvente y mostrarlas de forma visual. Además, no es destructiva o invasiva y evita cualquier molestia a los vecinos.

Para hacer valoraciones numéricas es imprescindible conocer las temperaturas interiores y las condiciones exteriores, como indica la norma EN 13187:1998. Esto puede ser muy sencillo en casos de final de obra, aplicando una consigna común a todas las viviendas. Pero en este ejemplo no es posible, porque las temperaturas y horarios de uso son diferentes en cada vivienda.

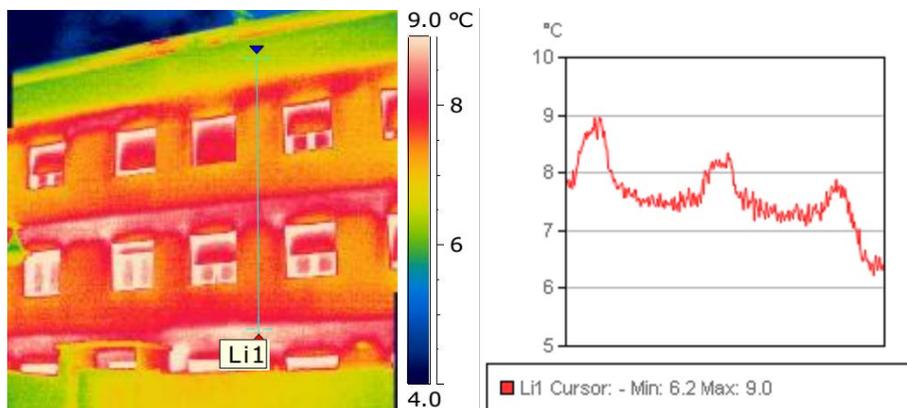


■ Li1 Cursor: - Min: 5.9 Max: 7.1
■ Li2 Cursor: - Min: 5.9 Max: 8.0

La termografía infrarroja se apoya en medidas complementarias, como:

- 1) Monitorización de temperatura y humedad relativa interior en 6 viviendas para tener puntos de referencia fiables y su evolución desde unos días antes del ensayo.
- 2) Medición de la Resistencia térmica in-situ en un punto homogéneo de la fachada, para verificar el nivel de aislamiento térmico instalado en las fachadas.
- 3) Simulación de los puentes térmicos 2D de frente de forjado y de encuentro fachada-cubierta en las condiciones de uso y climáticas del ensayo.

Las fachadas muestran distintas temperaturas y hay diferencias entre puentes térmicos. Con la medición de la R in-situ verificamos el grado de aislamiento en el tramo de fachada y con la monitorización se pueden conocer las temperaturas interiores de las viviendas. La vivienda superior izquierda no estaba calefactada durante el ensayo y por ello casi no se ven los PT.



Esta fachada tiene muy marcados los puentes térmicos. Con la simulación 2D contrastamos los valores teóricos-reales y comprobamos que la solución de fachada ejecutada cumple las exigencias f_{Rsi} del CTE DB-HE en los encuentros analizados. No se aprecian defectos.

Se ha comprobado el potencial de la termografía infrarroja y sus considerables exigencias para poder hacer valoraciones numéricas (cuantitativas). Es recomendable realizar este control como final de obra; ya que podrían calefactarse todos los espacios a una temperatura homogénea y analizar las termografías, sin necesidad de medidas complementarias.



14. Ensayos de desarrollo de producto.

14.1. Ensayo de Transmitancia térmica de muros

OBJETIVO

Conocer la **transmitancia térmica** de **cerramientos opacos**.

Analizar el comportamiento térmico real de **cerramientos innovadores o singulares**.

Mejorar el montaje de **capas intersticiales** y reducir el riesgo de condensaciones.

RESULTADOS

La **transmitancia térmica**, U [W/m^2K], de materiales heterogéneos, cerramientos y otras soluciones constructivas. El comportamiento de las **capas** y el **riesgo de condensaciones**.

METODOLOGÍA

La muestra se coloca entre una cámara caliente y una fría, en las cuales se controlan las temperaturas. Se miden temperaturas de aire y superficie así como la potencia a suministrar en la cámara caliente. El equipo se llama caja caliente guardada.

UNE-EN ISO 8990:1997 "Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada."

PLANIFICACIÓN y DURACIÓN

Mediciones de al menos 2 semanas, según la estabilidad de las condiciones de ensayo.

Requiere el levantamiento de la muestra a escala real y su estabilización. Es necesario un periodo posterior de análisis de datos, para verificar su validez y obtener los resultados finales. En total puede requerir varios meses.

LIMITACIONES

Las dimensiones de la muestra están limitadas a 2 x 2 m. por el equipo de medida.



El objetivo del ensayo es conocer el valor real de la resistencia térmica [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] y de la transmitancia térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] para materiales heterogéneos, medianeras, fachadas y otros tipos de soluciones constructivas. Es especialmente útil para cerramientos multicapa innovadores, donde puede haber fenómenos de condensaciones intersticiales o se desea comprobar los efectos de aplicar distintas secuencias de montaje, el orden de las capas, el tipo de perfilera, etc.

Mediante el ensayo de muros en caja caliente guardada se puede ensayar cualquier tipo de solución constructiva, permitiéndonos conocer sus prestaciones con alta fiabilidad. No solo aporta información de las prestaciones térmicas de las soluciones, sino que además informa del comportamiento real de las mismas, incluyendo el efecto de los puentes térmicos internos de la propia solución constructiva y la cuantificación de la eficiencia del aislamiento térmico de cada solución.

El levante de la muestra se realiza en pabellón bajo condiciones de seguridad y control. El material es enviado por el cliente. La muestra se construye en un marco con estructura metálica que aporta rigidez a la solución, y que cuenta con relleno de material aislante para neutralizar las pérdidas de calor por borde durante el ensayo. Las dimensiones de la solución son 2 x 2 metros.

Una vez se ha terminado el montaje de la muestra, se lleva mediante puente grúa a un equipo denominado secadero, para que se acondicione a unas determinadas condiciones de humedad (50%) y temperatura (23°C). Este proceso tiene como finalidad eliminar la humedad que contiene la solución debido al proceso de montaje, especialmente para los elementos en los que se usa mortero. Periódicamente se realizan pesadas de la muestra para controlar la variación del peso, considerándose que la misma está estabilizada si no disminuye 1 kg entre pesada y pesada.

Una vez la muestra está acondicionada, el ensayo puede empezar. Para ello se utiliza el equipo de caja caliente guardada (compuesta por una cámara caliente (CC) y una cámara fría (CF)). En el interior de la cámara caliente se encuentra la caja de medida, aislada térmicamente. La caja de medida tiene una sección de medida de 1 m². En la imagen siguiente se puede ver un esquema del equipo.



Figura 23. Equipo acondicionador de humedad - temperatura (izquierda) y muestra ensayada (derecha)

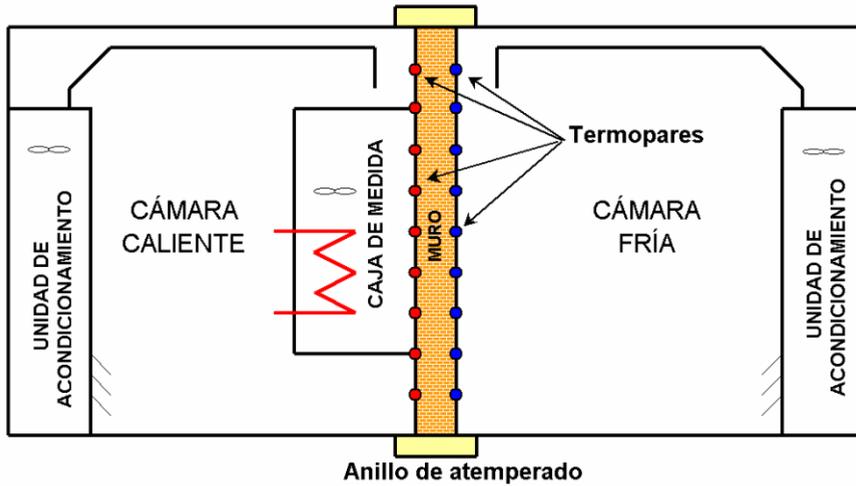


Figura 24. Esquema de las cámaras del ensayo de caja caliente guardada

Se aplica un salto de temperaturas, programando la cámara caliente para que mantenga una temperatura constante de 20°C , y la cámara fría se establece a 0°C . Por este motivo se genera un flujo de calor que atraviesa la muestra, que es medido y controlado durante todo el trascurso del ensayo.



Figura 25. Montaje de la muestra dentro de la caja caliente guardada

La resistencia térmica superficial del muro (R_s) se expresa en $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ y se calcula según la norma UNE EN ISO 8990:1997, de acuerdo con la siguiente expresión:

Fórmula para el cálculo de la Resistencia Térmica superficial del muro

$$R_s = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{\Phi}{A}} = \frac{\Delta T}{\frac{\Phi}{A}}$$

T_{si} : Temperatura de la superficie interior o lado caliente (K)

T_{se} : Temperatura de la superficie exterior o lado frío (K)

Θ_{ne} : Temperatura ambiente en el lado frío (K),

Φ : Flujo de calor a través de la probeta (W),

A: Superficie de medida, perpendicular al flujo de calor (m^2).

La transmitancia térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] vendrá dada por la expresión que incluye los efectos de resistencia superficial de convección. Por ello hay dos expresiones, una para cerramientos que separan el ambiente exterior y otra para particiones que separan dos ambientes interiores. En cada caso, la transmitancia vendrá dada por la expresión:

Fórmulas para el cálculo de la Transmitancia Térmica del muro

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_{si}}$$

R_{si} : Es la resistencia térmica superficial interior, cuyo valor normalizado para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor horizontal es $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

R_{se} : Es la resistencia térmica superficial exterior, cuyo valor normalizado para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor horizontal es $0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

LIMITACIONES

El ensayo tiene ciertas limitaciones asociadas a la propia configuración del equipo.

La muestra debe tener unas dimensiones específicas de 2 x 2 metros y un espesor máximo de 40 cm.

Ejemplo:

Ensayo de control de una solución constructiva

Un fabricante de piezas cerámicas quiere caracterizar su solución constructiva para poder introducirla en el mercado de la construcción. Está interesado en conocer la resistencia térmica que aporta su bloque de termoarcilla por lo que realiza el ensayo en la caja caliente guardada para muros.

Como primer paso, se construye la muestra a ensayar, que debe tener unas dimensiones de 2 x 2 metros. Para este proceso se utiliza un marco rígido de estructura metálica y un relleno perimetral de aislamiento, que servirá de porta-muestras para el ensayo.

La solución constructiva final se compone de un enfoscado de mortero de 1,5 cm, una hoja de bloque cerámico de 12 cm de espesor y otra capa de mortero de 1,5 cm.

**Dimensiones:
2.00 x 2.00 m**



Una vez construida la muestra, se acondiciona en la cámara de acondicionamiento para que pierda toda la humedad inherente al proceso de montaje. Periódicamente se realizan pesadas de la muestra, y cuando no existen variaciones en peso, se considera que la muestra ha perdido toda la humedad y está estabilizada.

El siguiente paso es colocar la muestra en el equipo de caja caliente guardada mediante puente grúa. Se asegura la correcta colocación y se procede al ensayo, el cual tiene una duración aproximada de 2 semanas. Durante el ensayo se controla que todas las variables son correctas y que se está consiguiendo una estabilidad para que los resultados obtenidos sean fiables y representativos.



Características del ensayo	Valor
T ^a media superficial muestra lado caliente (°C)	17,01
T ^a media superficial muestra lado frío (°C)	1,83
ΔT medio superficial (°C)	16,58
Flujo de calor medio (W/m ²)	61,02
Masa inicial (kg)	1450
Masa final (kg)	1450
Duración del ensayo (h)	118

Una vez se comprueba que el ensayo tiene puntos de medición más que suficientes para poder determinar el valor de resistencia térmica de la muestra con total seguridad, se finaliza el ensayo y se procede al tratamiento de los datos.

El análisis incluye las diferentes temperaturas de las dos cámaras, caliente y fría, velocidades de aire y flujo de calor que ha atravesado la muestra. El flujo de calor y el valor de la resistencia térmica se mantienen constantes en el tiempo, por lo que se puede considerar como válido el resultado obtenido.

En este ejemplo, la solución constructiva tiene una resistencia y transmitancia térmica de:

$$U = 2,26 \pm 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R = 0,27 \pm 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$$



14.2. Caracterización de envolventes innovadoras PASLINK

OBJETIVO

Caracterización y modelización térmica en condiciones exteriores de **cubiertas y cerramientos verticales** opacos, semitransparentes y fachadas ventiladas.

RESULTADOS

Valor de la **transmitancia térmica** real de las soluciones constructivas [W/m^2K].

También es posible determinar la **capacidad térmica** [kJ/m^2K] de la solución, así como el **factor solar** de elementos semitransparentes.

Extrapolación de resultados para otras ciudades, zonas climáticas, etc...

Resulta de gran interés para **elementos activos y soluciones ventiladas**.

METODOLOGÍA

Se genera una potencia de calefacción con rutina aleatoria en el interior de la celda y se mide el flujo de calor que atraviesa la muestra así como las temperaturas en las diferentes capas, velocidades de aire en cámaras ventiladas, presiones, etc.

El ensayo se realiza según los procedimientos descritos en el documento "Van Dick, H.A.L. and Van Der Linden, G.P. PASLINK Calibration and component test procedures. TNO, Delf, 1995" **desarrollado por la red Europea PASLINK EEIG**.

DURACIÓN Y PLANIFICACIÓN

La **duración mínima** del ensayo ronda las **3 semanas**, para asegurar resultados fiables. Normalmente, los ciclos de calefacción aleatoria son de 10 días y hay unos periodos de oscilación libre antes y después de los ciclos de calefacción.

LIMITACIONES

Las dimensiones de la muestra son 2,7 x 2,7 m. para elementos verticales y 3,7 x 2,1 m. para elementos horizontales.

Construcción in-situ en los pabellones adyacentes a las celdas, y transporte de la muestra mediante grúa para posterior fijación a la celda de ensayos.



Figura 26. Ensayos realizados dentro de la red Europea DYNASTEE y las especificaciones PASLINK test.

DYNAMIC ANALYSIS, SIMULATION AND TESTING APPLIED TO THE ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF BUILDINGS



Web oficial de la red: www.dynastee.info
 Área Térmica LCCE-GV: termica@euskadi.eus

Los documentos de la red Europea PASLINK EEIG, actualmente red DYNASTEE, recogen los protocolos estándar de ensayo, así como el tratamiento de datos y la identificación de parámetros para la obtención de resultados fiables de los valores de transmitancia térmica, factor solar y capacidad térmica, en estado transitorio y en condiciones exteriores.

El ensayo en una célula PASLINK consiste básicamente en medir los flujos de calor a través de la muestra con gran precisión, así como la evolución de las temperaturas superficiales y de ambiente asociadas (Figura 28). Al mismo tiempo se registran todos los parámetros del ambiente exterior que afectan a la muestra durante el periodo de estudio y los del interior de la sala de ensayos. La sala de ensayos es básicamente un calorímetro que permite cuantificar con fiabilidad los intercambios energéticos, tanto ganancias como pérdidas, entre el ambiente interior, controlado, y el exterior, libre, discriminándose los intercambios de calor a través del elemento a ensayar de los que se producen a través del resto de paredes del equipo.

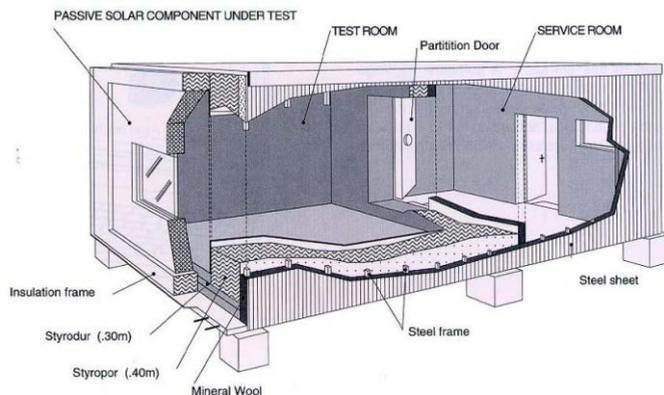


Figura 27. Estructura general de una célula de ensayos PASLINK.

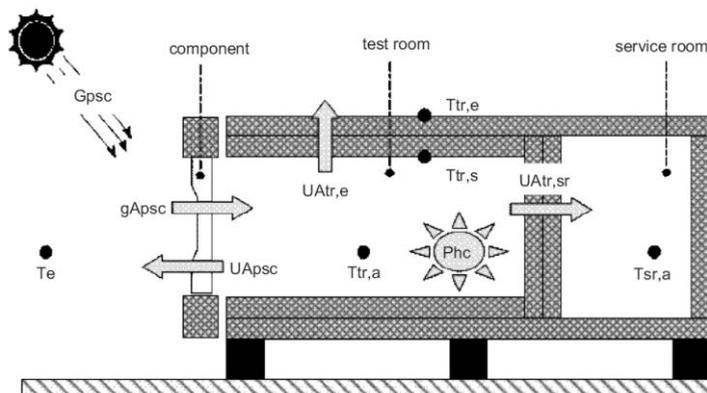


Figura 28. Flujos de calor en una célula de ensayos PASLINK.

La primera de las siguientes ecuaciones en estado estacionario muestra cómo calcular Q_{psc} , que es el calor que atraviesa el elemento constructivo a ensayar ($psc =$ Passive Solar Component), siendo Phc la potencia cedida por una resistencia calefactora para mantener el ambiente interior en unas condiciones controladas.

Por tanto, conocido Q_{psc} , se puede determinar el valor UA (transmitancia térmica) y g (factor de la ganancia solar) del elemento constructivo bajo ensayo. Esta relación se muestra en la siguiente ecuación.

En el proyecto PASLINK se consiguió que, en la segunda ecuación, la única incógnita fuera Q_{psc} , y se pudiera cuantificar en régimen dinámico. Esto se ha logrado con la introducción de los HFS Tiles en toda la superficie interior del cerramiento. Los HFS Tiles directamente evalúan el flujo de calor en cada



instante a través de la envolvente, de forma, que empleando un adecuado patrón de la señal de excitación P_{hc} , potencia cedida o evacuada en el interior de la habitación de ensayos, Q_{psc} queda completamente definido.

Fórmulas para el cálculo del calor que atraviesa el elemento constructivo, la Transmitancia Térmica y factor de la ganancia solar del elemento constructivo

$$Q_{psc} = P_{hc} - (UA)_{tr,e} \times \Delta T_{tr,e} - (UA)_{tr,sr} \times \Delta T_{tr,sr}$$

$$Q_{psc} = (UA)_{psc} \times \Delta T_{psc} - (gA)_{psc} \times G_{psc}$$

La variable que se controla es la potencia cedida en el interior de la sala de ensayos. Dicha potencia es la suma del consumo de un ventilador, para la homogenización del ambiente interior, más la potencia cedida por la resistencia calefactora. El ventilador funciona el 100% del tiempo, evitando la estratificación del aire en la sala de ensayos, asegurando un gradiente máximo inferior a $0,5^{\circ}\text{C}$, en tanto que, la resistencia se utiliza para generar una señal dinámica.

El clima interno de la habitación de ensayos está monitorizada en detalle por:

- Vatímetro de potencia en sala de ensayos ($u_{QSP} = \pm 0,2 \%$).
- 8 sensores de temperatura (PT100) de aire protegidos contra la radiación ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 9 sensores de temperatura (PT100) superficial ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 257 medidores de flujo de calor (HFS Tiles). Estos sensores están conectados en serie y generan 21 señales ($u_{HFS} = \pm 5 \%$).
- Medida inicial y final en cada ensayo de las infiltraciones de aire ($u_{QSP} < 0,5 \%$)

Con el fin de monitorizar las condiciones reales de clima exterior lo más representativo y exactamente posible, se utilizan los siguientes sensores:

- 3 sensores de radiación solar (horizontal global, horizontal difusa y vertical global ($u_{Rad} = \pm 3 \%$))
- 5 sensores de temperatura (PT100) de aire ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 3 sensores de temperatura (PT100) superficial ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- Humedad relativa ($u_{rH} = \pm 2\%$).
- Velocidad y dirección del viento ($u_{a-vel} = \pm 1 \text{ m/s}$ / $u_{a-dir} = \pm 10^{\circ}$).

La muestra para ensayar se construye en el LCCE del Gobierno Vasco. Sus dimensiones para el caso de las fachadas son de $2,7 \times 2,7$ metros y para el caso de las cubiertas $3,7 \times 2,1$ metros. Estas muestras se levantan dentro de un premarco aislante.

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

15. Documentos de referencia

Se indican a continuación, los documentos citados y utilizados para la realización de esta guía que pueden ser utilizados como información complementaria.

NORMATIVA LEGAL

Código Técnico de la Edificación (CTE)

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 23-octubre-2007) y corrección de errores y erratas en Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre.

Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE DB-HE 2013)

Orden FOM /1635/2013 del 10 de septiembre por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE (BOE 12-septiembre-2013) y corrección de errores del BOE del 08/11/2013.

Documento Básico de Salubridad (CTE DB-HS 2009)

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 23-octubre-2007) y corrección de errores y erratas en BOE 20-diciembre-2007, BOE 25-enero-2008, BOE 23-abril-2009 y BOE 23-septiembre-2009.

Documento de Apoyo al DB-HE: Cálculo de parámetros característicos de la envolvente (DA DB-HE / 1).

Febrero 2015.

Documento de Apoyo al DB-HE: Puentes Térmicos (CTE DA-HE/3).

Mayo 2014.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE 2013).

Documento consolidado de septiembre de 2013, del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y las correcciones de errores y modificaciones posteriores hasta 2013.

Protocolo para la realización del control de la Certificación Energética de Edificios en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

1 de octubre de 2015.

CONTROL DE CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

Guía básica para el control acústico, ejecución de obra y obra terminada:

Herramienta de apoyo para el control de la calidad acústica de los edificios, durante la fase de ejecución y verificación final. Recoge información de apoyo para realizar un control durante la construcción de un edificio, enfocado a la consecución de los objetivos de calidad acústicos así como una propuesta de verificación acústica del edificio una vez esté terminado.

http://www.garraioak.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/guia_basica.pdf

Área Térmica, **El impacto de los puentes térmicos de los huecos de fachada en la rehabilitación con SATE**, III Congreso sobre Estrategias para la Rehabilitación Energética de Edificios (ERE2+), 2015, Madrid.

PROYECTOS Y GUÍAS TÉCNICAS DE INTERÉS

Guías francesas basadas en la norma RT2012:

- Diseño y control de Estanqueidad y Puentes térmicos.
Mémento de conception et de mise en œuvre à l'attention des concepteurs, artisans et entreprises du bâtiment. 2010.
- Inspección visual de los sistemas de ventilación.
Référentiel de contrôle visuel, issu de PROMEVENT, 2016.

www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/etancheite-a-lair/information-et-documents-ressources.html

Proyecto QUALICheck:

Estudia la fiabilidad de los Certificados de Eficiencia Energética y la calidad en la ejecución de obra. Hay varias fichas disponibles:

- Parámetros de ventilación
- Control de estanqueidad
- Estandarización del control de calidad en la ejecución

www.qualicheck-platform.eu

Proyecto EFFINERGIE+:

Para mejorar el rendimiento energético del edificio, se han creado bases de datos de proyectos y se han desarrollado herramientas o guías de apoyo: calidad en la ejecución, rehabilitación energética, confort en verano, energía embebida y mejoras de la financiación.

<http://www.effinergie.org/>

Plataforma TighVent:

Es un consorcio de organismos europeos que desarrolla herramientas y procedimientos para mejorar la eficiencia energética, a través de las mejoras en ventilación y estanqueidad. Fue lanzado por la red INIVE EEIG (International Network for Information on Ventilation and Energy Performance) y sus principales socios son: BPIE, European Climate Foundation, Eurima, Lindab, Soudal, Tremco illbruck, Wienerberger, BlowerDoor GmbH y RetroTec.
www.tightvent.eu

Proyecto BUILDUP SKILLS:

Un proyecto que analiza los pasos necesarios para conseguir una mejora en la ejecución de las obras. Realizado entre 2013 y 2016. Hay documentos informativos disponibles en la web europea y en la versión española "Construye2020".

www.buildupskills.eu
www.construye2020.eu

Proyecto ETHICS:

Un estudio de las problemáticas de edificios con estructuras de acero o entramado de acero, para conseguir un buen rendimiento térmico, incluye diseño y control de obra.

<http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2008/ETHICS/ETHICS.html>

GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL TÉRMICO
EN EDIFICACIÓN

ANEXOS



Anexo I: Ficha de seguimiento del control térmico.

La siguiente ficha S1 puede servir para realizar el seguimiento en obra de las prestaciones térmicas del edificio. Define la secuencia de los principales pasos del control térmico y se fundamenta en los aspectos del control recogidos en la norma UNE 92325:2016 de productos de aislamiento térmico en la edificación y cerramientos acristalados.

Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

S1		SEGUIMIENTO DEL PLAN DE CONTROL TÉRMICO			
OBRA					
S.1	PLANIFICACIÓN. El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica:	SI	NO	Observaciones / Medidas correctoras	
S.1.1	Características de los cerramientos y particiones: FICHA P1				
S.1.1.1	Características de los materiales aislantes térmicos				
S.1.1.2	Ubicación general de los cerramientos y particiones en el edificio				
S.1.2	Características de las carpinterías y cerramientos acristalados: FICHA P2				
S.1.3	Soluciones constructivas de los Puentes Térmicos: FICHA P3				
S.1.3.1	Identificación de todos los Puentes Térmicos				
S.1.3.2	Definición de las soluciones de estanqueidad para todos los Puentes Térmicos				
S.1.4	Características de los sistemas de ventilación: FICHA P4				
S.1.5	Características de los sistemas de iluminación: FICHA P5				
S.1.6	Previsión de ensayos y Control de la CEE: FICHA P6				
S.1.7	Ensayos realizados para el desarrollo de productos o materiales: FICHA T1				
S.2	RECEPCIÓN. La Dirección Facultativa debe comprobar durante la recepción de productos, equipos y materiales los siguientes aspectos:	SI	NO	Observaciones / Medidas correctoras	
S.2.1	Comprobar las prestaciones y calidad de los materiales aislantes: FICHA R1				
S.2.2	Comprobar las prestaciones y calidad de los materiales de estanqueidad al aire: FICHA R2				
S.2.3	Comprobar las prestaciones y calidad de las carpinterías: FICHA R3				
S.2.4	Comprobar las prestaciones y calidad de los productos y equipos de sistema de ventilación: FICHA R4				
S.2.5	Ensayos realizados durante la recepción de materiales y productos: FICHA T1				
S.3	EJECUCIÓN. La Dirección Facultativa debe comprobar los siguientes aspectos durante la ejecución de la obra:	SI	NO	Observaciones / Medidas correctoras	
S.3.1	Control de ejecución de cerramientos y particiones: FICHA E1				
S.3.1.1	Seguimiento de proyecto				
S.3.1.2	Continuidad del aislamiento				
S.3.1.3	Continuidad de la capa de la estanqueidad al aire				
S.3.2	Control de ejecución de los puentes térmicos: FICHA E2				
S.3.2.1	Seguimiento de proyecto				
S.3.2.2	Continuidad del aislamiento				
S.3.2.3	Control de ejecución de estanqueidad al aire				
S.3.3	Control de ejecución de carpinterías: FICHA E3				
S.3.3.1	Correcta disposición de las carpinterías				
S.3.3.2	Correcta disposición de las cajas de persianas				
S.3.4	Control de la instalación de sistema de ventilación: FICHA E4				
S.3.4.1	Comprobación de las aberturas de ventilación				
S.3.4.2	Comprobación de los Conductos de ventilación				
S.3.4.3	Comprobación de las unidades de ventilación				
S.3.4.4	Comprobación de la regulación del sistema de ventilación				
S.3.5.	Ensayos de Control de Calidad de ejecución de obra: FICHA T1				
S.4	INSPECCIÓN FINAL. La Dirección Facultativa debe comprobar los siguientes aspectos del edificio terminado:	SI	NO	Observaciones / Medidas correctoras	
S.4.1	Control de los resultados de los ensayos de Control de Calidad de edificio terminado: FICHA T1				
Observaciones / Medidas correctoras		Dirección Facultativa / Constructor			



Anexo II: Fichas de planificación

El objetivo es comprobar que existe la documentación suficiente en el Proyecto de Ejecución para poder construir con calidad los aspectos térmicos del edificio (envolvente y ventilación).

Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

P1	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	CERRAMIENTOS Y PARTICIONES			
-----------	------------------------	----------------------	-----------------------------------	--	--	--

OBRA	
------	--

El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las siguientes características de los cerramientos, particiones y materiales aislantes:

TIPO DE CERRAMIENTO	Composición y espesor total	Transmitancia térmica	Capacidad térmica	Comprobación de las condensaciones	Localización	Observaciones
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					

TIPO DE MATERIAL AISLANTE	Conocer el espesor	Conocer la conductividad térmica	Conocer la Resistencia térmica	Conocer el Factor de Resistencia a la difusión de vapor de agua		Observaciones
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

P2	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	CARPINTERÍAS Y CERRAMIENTOS ACRISTALADOS			
-----------	------------------------	----------------------	---	--	--	--

OBRA	
------	--

El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las siguientes características de las carpinterías y cerramientos, acristalados:

TIPOS DE CARPINTERÍAS Y CERRAMIENTOS ACRISTALADOS						
Esesores de los vidrios que componen la superficie acristalada	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Emisividad de los vidrios	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Transmitancia térmica de la superficie acristalada	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Factor solar modificado del vidrio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Naturaleza del marco	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Transmitancia térmica del marco	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Absortividad del marco	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Permeabilidad al aire de la carpintería	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Dimensiones de las carpinterías	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
Observaciones						

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

P3	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	PUENTES TÉRMICOS Y ESTANQUEIDAD				
OBRA							

El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las siguientes características de los puentes térmicos y encuentros constructivos:

TIPO DE PUENTE TÉRMICO	Definición de planos	Conocer la transmitancia térmica lineal	Comprobación de condensaciones	Continuidad de aislamiento	Previsión de solución de estanqueidad	Incluido en el CEE	Observaciones
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						

* Nota aclaratoria: Clasificación de los grupos de tipos de Puentes Térmicos según DA-DB HE3

- P1- Pilar Integrado en fachada- con continuidad del aislamiento
- P2- Pilar Integrado en fachada- sin continuidad del aislamiento
- J1- Jamba- con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería
- J2- Jamba- sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería
- J3- Jamba-sin continuidad del aislamiento con una separación importante entre estos elementos
- D1- Dintel- con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería
- D2- Dintel- sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería
- D3- Dintel- sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con cargadero pasante y carpintería a haces exteriores
- A1- Alfeizar- con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería
- A2- Alfeizar- sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento
- A3- Alfeizar- sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con gran separación entre ellos
- C1- Capialzado- de PVC o madera con aislamiento
- C2- Capialzado- de PVC o madera sin aislamiento
- C3- Capialzado- metálico
- FF1- Frente de forjado- con continuidad del aislamiento de fachada
- FF2- Frente de forjado- sin continuidad del aislamiento de fachada
- CP1- Cubierta Plana- con continuidad del aislamiento de fachada y el de cubierta
- CP2- Cubierta Plana- sin continuidad del aislamiento de fachada y el de cubierta
- E1- esquina- salientes (al exterior)
- E2- esquina- entrantes (al interior)
- FI1- Forjados inferior- en contacto con el aire con aislamiento sobre el forjado o con continuidad entre el aislamiento de fachada y del forjado
- FI2- Forjados inferior- en contacto con el aire con aislamiento bajo el forjado, sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el del forjado
- S1- Suelo en contacto con el terreno- con continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera
- S2- Suelo en contacto con el terreno- sin continuidad entre el aislamiento de fachada y solera
- S3- Suelo en contacto con el terreno- sin aislamiento en fachada

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

P4	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	SISTEMAS DE VENTILACIÓN
-----------	------------------------	----------------------	--------------------------------

OBRA	
------	--

El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las siguientes características de los sistemas de ventilación:

	SI	NO	Observaciones
1. Memoria y planos de los sistemas de ventilación			
2. Marca y modelo de los equipos de VMC			
3. Dimensiones y colocación de los equipos			
4. Caudales de renovación de aire en diseño [m³/h]			
5. Superficie/estancias a las que da servicio cada equipo VMC			
6. Eficiencia de los recuperadores de calor [%] Norma UNE-EN 13141-7:2011			
7. Consumo eléctrico ó SFP [W] Norma UNE-EN 13141-7:2011			
8. Nivel de potencia acústica [dB] Norma UNE-EN ISO 5135:1999			
9. Clases de filtros para admisión y extracción			
10. Descripción de los conductos de ventilación			
11. Descripción de las aberturas de ventilación (admisión, de paso y de extracción)			
12. Previsión de algún tipo de regulación de los caudales de ventilación			
13. Previsión de medidas y/o soluciones de estanqueidad en la red de ventilación			

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

P5	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	ILUMINACIÓN		
OBRA					
El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar que el proyecto de ejecución incluye o especifica las siguientes características de los sistemas de iluminación:					
IDENTIFICACIÓN DE LA ESTANCIA/ZONA					
1. Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. Máximo VEEI permitido	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Potencia instalada para la iluminación	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. Potencia máxima permitida para la iluminación	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Utilización de sistemas de control y regulación	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6. Sistemas de aprovechamiento de luz natural	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
Observaciones					
Observaciones/ Medidas Correctoras:			Dirección Facultativa/ Constructor:		

P6	CONTROL TÉRMICO	PLANIFICACIÓN	PROGRAMA DE ENSAYOS Y CONTROL
OBRA			
El proyectista o el redactor del Plan de Control de Calidad debe comprobar en el proyecto de ejecución la previsión de ensayos, comprobaciones o pruebas de servicio; así como el tipo de control de la CEE:			
	SI	NO	Observaciones
1.	Se ha seguido el Protocolo para la realización del control de la Certificación Energética de Edificios en la C.A.P.V.		
2.	Previsión de ensayos de control de calidad durante la ejecución de obra:		Producto/tipo/lote a ensayar
2.1.	Ensayo de Conductividad Térmica para materiales aislantes		
2.2.	Ensayo de THASYS		
2.3.	Ensayo de Transmitancia Térmica de muros. Caja Caliente Guardada		
2.4.	Ensayo de Transmitancia Térmica de carpinterías exteriores. Caja Caliente Guardada.		
2.5.	Ensayo de estanqueidad al aire. Puerta Ventilador		
2.6.	Otros		
3.	Previsión de ensayos de verificación de obra terminada:		Producto/tipo/lote a ensayar
3.1.	Ensayo de Resistencia Térmica Insitu		
3.2.	Ensayo de estanqueidad al aire. Puerta Ventilador		
3.3.	Ensayo de Control de la renovación de aire interior. Gases Trazadores		
3.4.	Termografía Infrarroja		
3.5.	Otros		
Observaciones/ Medidas Correctoras:			Dirección Facultativa/ Constructor:



Anexo III: Fichas de control de recepción

El objetivo es comprobar que las características de materiales y productos recepcionados coinciden con lo previsto en el Proyecto de Ejecución.

Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

R1	CONTROL TÉRMICO	RECEPCIÓN	MATERIALES AISLANTES		
OBRA					
La Dirección Facultativa debe realizar las siguientes actuaciones durante la recepción de materiales aislantes en la obra:					
PRODUCTO/MATERIAL AISLANTE					
IDENTIFICACIÓN DEL CERRAMIENTO					
1. El producto llega a obra con el embalaje original, debidamente etiquetado y en perfectas condiciones	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. El embalaje contiene la etiqueta identificativa con las características esenciales del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Presencia de documento de calidad					
3.1. Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Certificado de Garantía del fabricante, firmada por persona física	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3. Etiquetado del marcado CE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4. Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.5. Marcas de conformidad a Norma de Producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.6. Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (sin marcado CE)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.7. Documento de Idoneidad Técnica DIT	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.8. Documento de adecuación al uso DUA	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.9. Certificado de ensayos realizados por un laboratorio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. El producto de aislamiento es el especificado en proyecto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Las características del aislamiento cumplen con lo especificado en la memoria del proyecto					
5.1. Espesor	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.2. Resistencia Térmica	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.3. Densidad	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.4. Capacidad Calorífica Específica	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.5. Emisividad de barreras radiantes	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6. Se han seguido las recomendaciones del fabricante en el almacenamiento o acopio del aislamiento	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
7. Ensayo de Conductividad Térmica para materiales aislantes	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
Observaciones					
Observaciones/ Medidas Correctoras:			Dirección Facultativa/ Constructor:		

R2	CONTROL TÉRMICO	RECEPCIÓN	MATERIALES DE ESTANQUEIDAD AL AIRE
----	-----------------	-----------	------------------------------------

OBRA	
------	--

La Dirección Facultativa debe realizar las siguientes actuaciones durante la recepción de materiales de estanqueidad en la obra:

MATERIALES DE ESTANQUEIDAD					
IDENTIFICACIÓN DEL CERRAMIENTO					
1. El producto llega a obra con el embalaje original, debidamente etiquetado y en perfectas condiciones	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. El embalaje contiene la etiqueta identificativa con las características esenciales del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Presencia de documento de calidad					
3.1. Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Certificado de Garantía del fabricante, firmada por persona física	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3. Etiquetado del marcado CE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4. Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.5. Marcas de conformidad a Norma de Producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.6. Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (sin marcado CE)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.7. Documento de Idoneidad Técnica DIT	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.8. Documento de adecuación al uso DAU	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.9. Certificado de ensayos realizados por un laboratorio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. El producto es el especificado en proyecto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Las características del producto cumplen con lo especificado en la memoria del proyecto					
5.1. Permeabilidad al vapor	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.2. Estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6. Se han seguido las recomendaciones del fabricante en el almacenamiento o acopio del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
Observaciones					

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

R3	CONTROL TÉRMICO	RECEPCIÓN	CARPINTERÍAS Y CER. ACRISTALADOS
----	-----------------	-----------	----------------------------------

OBRA	
------	--

La Dirección Facultativa debe realizar las siguientes actuaciones durante la recepción de carpinterías y cerramientos acristalados en obra:

TIPO DE CARPINTERÍA O CERRAMIENTO ACRISTALADO					
1. El producto llega a obra con el embalaje original, debidamente etiquetado y en perfectas condiciones	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. El embalaje contiene la etiqueta identificativa con las características esenciales del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Presencia de documento de calidad					
3.1. Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Certificado de Garantía del fabricante, firmada por persona física	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3. Etiquetado del marcado CE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4. Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.5. Marcas de conformidad a Norma de Producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.6. Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (sin marcado CE)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.7. Documento de Idoneidad Técnica DIT	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.8. Documento de adecuación al uso DAU	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.9. Certificado de ensayos realizados por un laboratorio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. El producto de carpintería o cerramiento acristalado es el especificado en proyecto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Las características de la carpintería o cerramiento acristalado cumplen con lo especificado en la memoria del proyecto					
5.2. Transmitancia Térmica de marco	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.3. Transmitancia Térmica del vidrio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.4. Transmitancia Térmica de la caja de persiana	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.5. Permeabilidad al aire (clase)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.6. Emisividad del vidrio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.7. Factor Solar [%]	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.8. Dimensiones, apertura y unidades de carpinterías	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.9. Dimensiones, unidades y sellado de vidrios	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6. Se han seguido las recomendaciones del fabricante en el almacenamiento o acopio del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
7. Ensayo de Transmitancia Térmica. Caja Caliente Guardada.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
Observaciones					

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

R4	CONTROL TÉRMICO	RECEPCIÓN	PRODUCTOS Y EQUIPOS DE VENTILACIÓN
----	-----------------	-----------	------------------------------------

OBRA

La Dirección Facultativa debe realizar las siguientes actuaciones durante la recepción de equipos del sistema de ventilación en la obra:

PRODUCTO O EQUIPO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN					
1. El producto llega a obra con el embalaje original, debidamente etiquetado y en perfectas condiciones	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. El embalaje contiene la etiqueta identificativa con las características esenciales del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Presencia de documento de calidad					
3.1. Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Certificado de Garantía del fabricante, firmada por persona física	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3. Etiquetado del marcado CE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4. Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.5. Marcas de conformidad a Norma de Producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.6. Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (sin marcado CE)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.7. Documento de Idoneidad Técnica DIT	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.8. Documento de adecuación al uso DAU	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.9. Certificado de ensayos realizados por un laboratorio	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. El producto es el especificado en proyecto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Las características del producto cumplen con lo especificado en la memoria del proyecto					
5.1. Dimensiones del equipo VMC	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.2. Eficiencia del recuperador de calor según la norma EN 13141-7 (sí procede)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.3. Consumo eléctrico o SFP	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.4. Caudal de renovación de aire de diseño (m3/h)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.5. Clases de filtros en admisión y extracción	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.6. Sistema de regulación de caudal de ventilación	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6. Se han seguido las recomendaciones del fabricante en el almacenamiento o acopio del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
Observaciones					

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:



Anexo IV: Fichas de control de ejecución en obra

El objetivo es comprobar una adecuada ejecución de cerramientos y sistema de ventilación.

Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

E1	CONTROL TÉRMICO	EJECUCIÓN DE LA OBRA	CERRAMIENTOS Y PARTICIONES		
OBRA					
La Dirección Facultativa debe comprobar que durante la ejecución de los cerramientos y particiones se realizan las siguientes actuaciones:					
TIPO DE CERRAMIENTO					
1.	Comprobar capas puestas en obra según proyecto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2. Continuidad del aislamiento					
2.1.	Comprobación previa del soporte: integridad, limpieza, adherencia, planeidad y verticalidad.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2.2.	Comprobar correcto estado de conservación/integridad del aislamiento antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2.3.	Comprobar replanteo del aislamiento según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2.4.	Comprobar ausencia de juntas abiertas en aislamiento	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2.5.	Comprobar fijaciones y accesorios de remate según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
2.6.	Comprobar elementos exteriores de fachada que puedan afectar al replanteo o continuidad de la envolvente térmica.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
3. Continuidad de la capa de estanqueidad al aire					
3.1.	Comprobar correcto estado de conservación/integridad del material antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
3.2.	Comprobar sujeción de capa de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
3.3.	Comprobar solapes según especificaciones del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
4.	Preparar cerramiento para ensayo de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
5.	Comprobar estado del aislamiento tras el paso de instalaciones	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
6.	Documentación complementaria adjunta (fotografías, planos, etc) con identificación y fecha				
Observaciones/ Medidas Correctoras:				Dirección Facultativa/ Constructor:	

E2.1	CONTROL TÉRMICO	EJECUCIÓN DE LA OBRA	P. TÉRMICOS Y ESTANQUEIDAD AL AIRE (I)		
OBRA					

La Dirección Facultativa debe comprobar que durante la ejecución de los puentes térmicos se realizan las siguientes actuaciones:

TIPO DE PUENTES TÉRMICOS (tipos de puente térmico según DA-DB-HE/3, descripción completa en ficha P3)		P Pilar fachada	J Jamba	D Dintel	A Alféizar	C Capialzado
IDENTIFICACIÓN DEL PUENTE TÉRMICO						
1.	Comprobar la compatibilidad de los materiales del encuentro	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. Continuidad del aislamiento						
2.1.	Comprobación previa del soporte: integridad, limpieza, adherencia, planeidad y verticalidad.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.2.	Comprobar correcto estado de conservación/integridad del aislamiento antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.3.	Comprobar replanteo del aislamiento según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.4.	Comprobar ausencia de juntas abiertas en aislamiento	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.5.	Comprobar fijaciones y accesorios de remate según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.6.	Comprobar elementos exteriores de fachada que puedan afectar al replanteo o continuidad de la	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.7.	Comprobar montaje de aislamiento complementario	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Continuidad de la capa de estanqueidad al aire						
3.1.	Comprobar correcto estado de conservación/integridad del material antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2.	Comprobar sujeción de capa de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3.	Comprobar solapes según especificaciones del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4.	Comprobar montaje complementario de materiales de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. Continuidad de la lámina para-vapor						
4.1.	Comprobar correcto estado de conservación/integridad del material antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4.2.	Comprobar sujeción de capa de lámina de vapor	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4.3.	Comprobar solapes según producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5.	Adjuntar foto de la ejecución del encuentro: identificación y fecha					
6. Puentes Térmicos no definidos en proyecto						
6.1.	Informar a la dirección facultativa	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6.2.	Informar al Agente de control de la CEE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6.3.	Ejecutar la solución aprobada por la DF	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
7.	Documentación complementaria adjunta (fotografías, planos, etc) con identificación y fecha					

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

E2.2	CONTROL TÉRMICO	EJECUCIÓN DE LA OBRA	P. TÉRMICOS Y ESTANQUEIDAD AL AIRE (II)		
OBRA					
La Dirección Facultativa debe comprobar que durante la ejecución de los puentes térmicos se realizan las siguientes actuaciones:					
TIPO DE PUENTES TÉRMICOS (tipos de puente térmico según DA-DB-HE/3, descripción completa en ficha P3)	FF Frente forjado	CP Cubierta Plana	E Esquina	FI Forjado Inferior	S Suelo terreno
IDENTIFICACIÓN DEL PUENTE TÉRMICO					
1. Comprobar la compatibilidad de los materiales del encuentro	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. Continuidad del aislamiento					
2.1. Comprobación previa del soporte: integridad, limpieza, adherencia, planeidad y verticalidad.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.2. Comprobar correcto estado de conservación/integridad del aislamiento antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.3. Comprobar replanteo del aislamiento según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.4. Comprobar ausencia de juntas abiertas en aislamiento	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.5. Comprobar fijaciones y accesorios de remate según las indicaciones del producto.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.6. Comprobar elementos exteriores de fachada que puedan afectar al replanteo o continuidad de la	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.7. Comprobar montaje de aislamiento complementario	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Continuidad de la capa de estanqueidad al aire					
3.1. Comprobar correcto estado de conservación/integridad del material antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Comprobar sujeción de capa de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.3. Comprobar solapes según especificaciones del producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.4. Comprobar montaje complementario de materiales de estanqueidad al aire	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. Continuidad de la lámina para-vapor					
4.1. Comprobar correcto estado de conservación/integridad del material antes de su colocación.	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4.2. Comprobar sujeción de capa de lámina de vapor	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4.3. Comprobar solapes según producto	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
5. Adjuntar foto de la ejecución del encuentro: identificación y fecha					
6. Puentes Térmicos no definidos en proyecto					
6.1. Informar a la dirección facultativa	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6.2. Informar al Agente de control de la CEE	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
6.3. Ejecutar la solución aprobada por la DF	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
7. Documentación complementaria adjunta (fotografías, planos, etc) con identificación y fecha					
Observaciones/ Medidas Correctoras:			Dirección Facultativa/ Constructor:		

E3	CONTROL TÉRMICO	EJECUCIÓN DE LA OBRA	CARPINTERÍAS Y CER. ACRISTALADOS		
-----------	------------------------	-----------------------------	---	--	--

OBRA	
------	--

La Dirección Facultativa debe comprobar que durante la ejecución de las carpinterías o cerramientos acristalados se realizan las siguientes actuaciones:

TIPO DE CARPINTERÍAS O CERRAMIENTO ACRISTALADO					
1. Marca de calidad o certificado de montaje	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2. Carpinterías					
2.1. Comprobar la alineación del premarco (si procede)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.2. Comprobar la fijación del premarco (si procede)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.3. Comprobar la ausencia de grietas alrededor del premarco (si procede)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.4. Comprobar las dimensiones y desviaciones del premarco (si procede)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.5. Compatibilidad de premarco y marco	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.6. Identificación de marcos	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.7. Identificación de vidrios y posición de láminas Bajo Emisivas	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.8. Alineación de las carpinterías	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.9. Fijación de carpinterías	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.10. Estanqueidad interior	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
2.11. Sellado exterior	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3. Persianas					
3.1. Comprobar la junta de estanqueidad	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
3.2. Sellado exterior	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
4. Documentación complementaria adjunta (fotografías, planos, etc) con identificación y fecha					

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

E4	CONTROL TÉRMICO	EJECUCIÓN DE LA OBRA	SISTEMAS DE VENTILACIÓN
OBRA			
La Dirección Facultativa debe comprobar que durante la instalación del sistema de ventilación se realizan las siguientes actuaciones:			
	SI	NO	Observaciones
IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN			
1. Aberturas de ventilación			
1.1. Identificar las aberturas de ventilación			
1.2. Comprobar el montaje de aberturas de ventilación según proyecto			
1.3. Comprobar la regulación de las aberturas de ventilación			
1.4. Comprobar las dimensiones de las aberturas de paso integradas en puertas y particiones.			
2. Conductos de ventilación			
2.1. Identificar los conductos de ventilación			
2.2. Comprobar montaje de conductos según proyecto			
2.3. Comprobar montaje de válvulas (antiretorno, anti-incendio, etc.)			
3. Unidades de ventilación			
3.1. Identificar las unidades de ventilación			
3.2. Comprobar montaje de las unidades de ventilación según proyecto			
3.3. Comprobar los filtros instalados según proyecto			
4. Regulación de la ventilación:			
4.1. Comprobar el montaje de sondas de control (CO2, humedad, presencia, etc.)			
5. Comprobar el estado de los filtros antes en el fin de obra (sustituirlos si es necesario)			
6. Previsión de ensayo de puerta ventilador, Norma UNE-EN 13829			
7. Documentación complementaria adjunta (fotografías, planos, etc) con identificación y fecha			
Observaciones/ Medidas Correctoras:			Dirección Facultativa/ Constructor:



Anexo V: Fichas de ensayos de control de final de obra

El objetivo es comprobar la calidad de los cerramientos y sistema de ventilación al finalizar la obra.

Las fichas están disponibles para descargar en la página Web oficial de Laboratorio de Control de Calidad del Gobierno Vasco.

T1.1	CONTROL TÉRMICO	OBRA TERMINADA	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS (I)
-------------	------------------------	-----------------------	---

OBRA	
------	--

La Dirección Facultativa debe recoger los resultados de los ensayos realizados durante todo el proceso de la obra:

ENSAYOS EN CADA ETAPA DEL CONTROL TÉRMICO	Identificación del elemento ensayado	nº informe	Exigencia	Resultado	Observaciones	Conforme
IDENTIFICACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTO						
Conductividad Térmica UNE-EN 12667:2002						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
THASYS ASTM C-1114						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Transmitancia térmica de muros, caja caliente guardada UNE-EN ISO 8990:1997						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Transmitancia térmica de carpinterías, caja caliente guardada UNE-EN ISO 12567-1:2011						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
PASLINK Procedimiento red DYNASTEE						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
RECEPCIÓN						
Conductividad Térmica UNE-EN 12667:2002						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
THASYS ASTM C-1114						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Transmitancia térmica de carpinterías, caja caliente guardada UNE-EN ISO 12567-1:2011						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

T1.2	CONTROL TÉRMICO	OBRA TERMINADA	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS (II)
-------------	------------------------	-----------------------	--

OBRA	
------	--

La Dirección Facultativa debe recoger los resultados de los ensayos realizados durante todo el proceso de la obra:

ENSAYOS EN CADA ETAPA DEL CONTROL TÉRMICO	Identificación del elemento ensayado	nº informe	Exigencia	Resultado	Observaciones	Conforme
EJECUCIÓN EN LA OBRA						
Estanqueidad al Aire. Puerta Ventilador UNE-EN 13829:2002						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
FINAL DE LA OBRA						
Estanqueidad al Aire. Puerta Ventilador UNE-EN 13829:2002						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Gases Trazadores UNE-EN ISO 12569:2012						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Termografía IR EN 13187:1998						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
R Insitu ISO 9869-1:2014						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Observaciones/ Medidas Correctoras:	Dirección Facultativa/ Constructor:

