

Física de Edificios: Transmisión de calor y masa en cerramientos

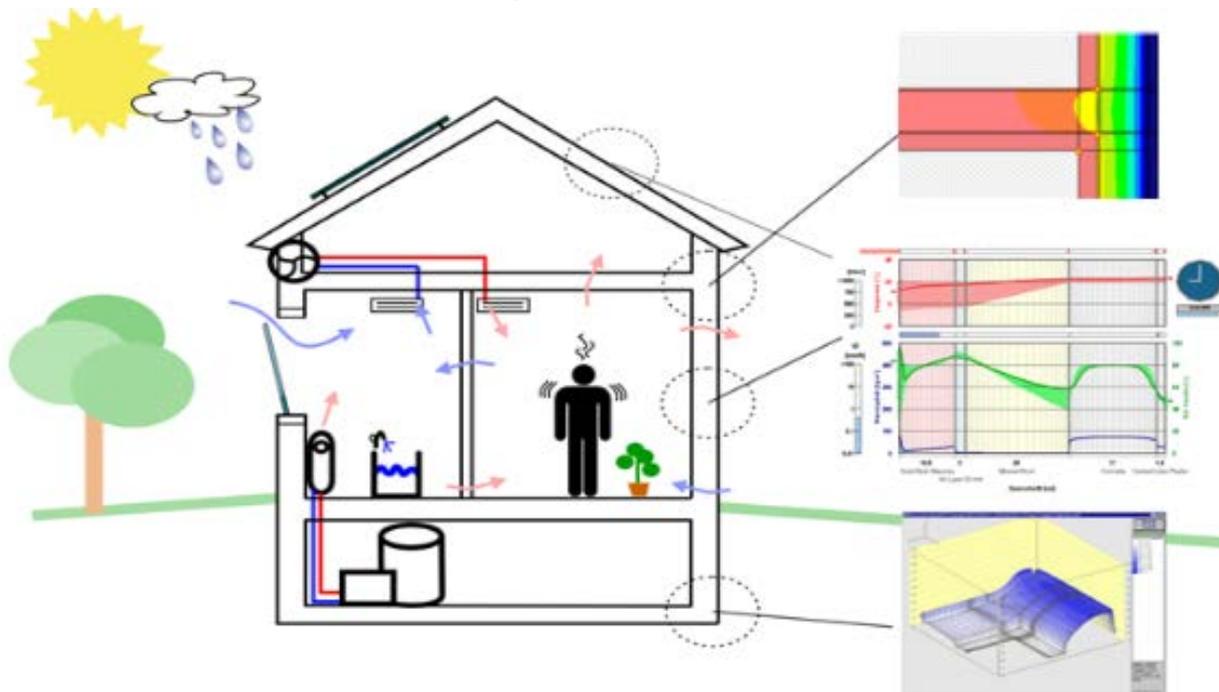


Figura: Fraunhofer Institute for Building Physics IBP
https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/2014/04/800x321_WUFI-Plus-Schaubild.png

- Iñaki Gómez Arriaran
- Moises Odriozola Maritorea
- Koldobika Martín Escudero
- Estibaliz Pérez Iribarren
- Iker González Pino
- Naiara Romero Antón





Tema 2 -

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE COMPONENTES DE CERRAMIENTOS



- Ensayos de caracterización térmica en edificios
 - 1ª parte: Nociones básicas acerca de la necesidad de ensayar y tipos de sensores que se emplean.
 - 2ª parte: Ensayos de laboratorios realizados bajo condiciones estandarizadas.
 - 3ª parte: Medidas realizadas in-situ.



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

- Objetivos
- Justificación de realizar mediciones
- Clasificación de ensayos
- Tipos de sensores



Objetivos

- Saber justificar la necesidad de realizar ensayos y llevar a cabo mediciones in-situ.
- Conocer los sensores empleados para la caracterización térmica.
- Diferenciar las características de los ensayos controlados conforme a una norma y las mediciones llevadas a cabo bajo condiciones reales.

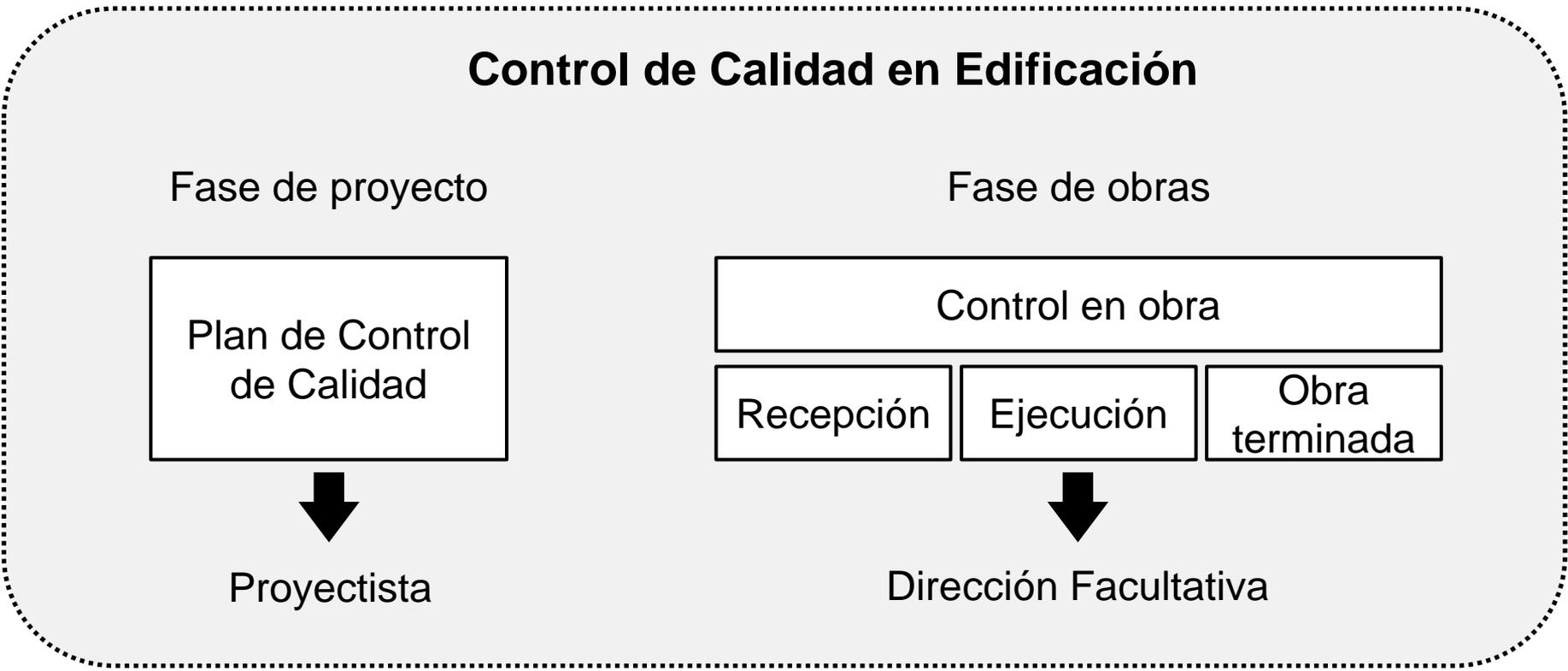


Justificación de realizar mediciones

- Existen diferentes razones por las que es necesario realizar medidas en el ámbito térmico de la edificación:
 - 1) Control de calidad de la obra (Decreto 209/104) → Exigencias de recepción en obra y ejecución en obra.
 - Asegurar trazabilidad de la obra
 - Recopilación de documentación certificada para obtener el visado en el final de obra.



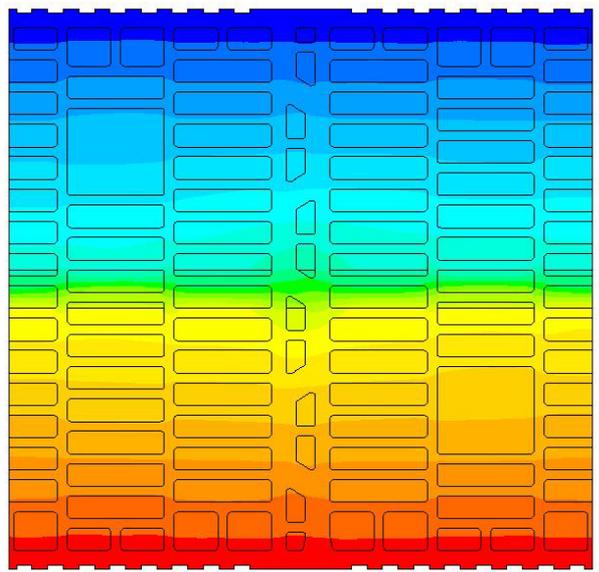
Justificación de realizar mediciones



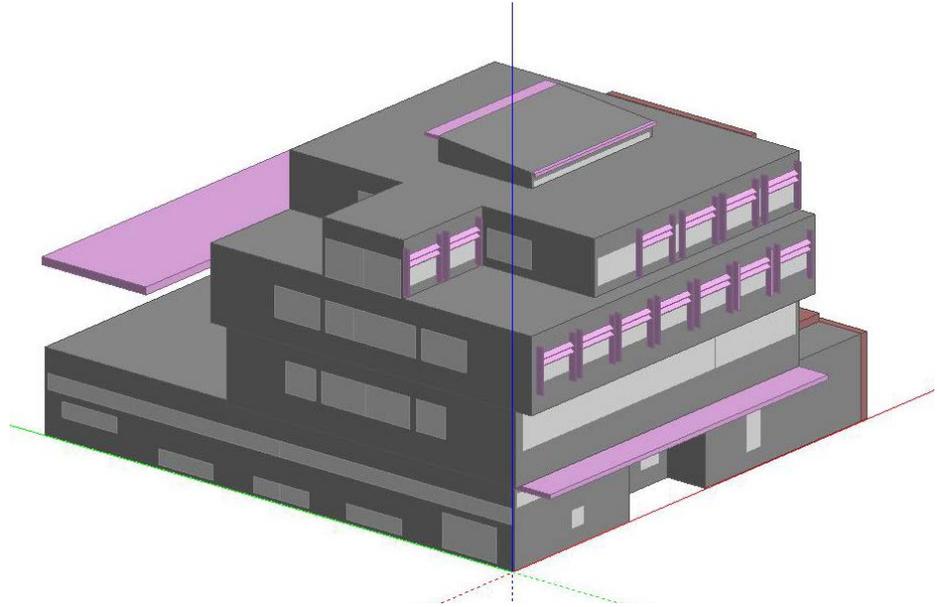


Justificación de realizar mediciones

2) Datos para modelos numéricos



Validación de propiedades térmicas



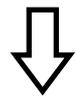
Bases de datos de materiales para cálculos



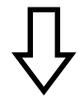
Justificación de realizar mediciones

3) Nuevos componentes en la edificación

Nuevas directivas en relación a la eficiencia energética de los edificios



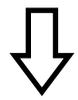
Nuevos desarrollos en fachadas ventiladas, sistemas de ventanas, fachadas acristaladas, sistemas de cubiertas, materiales PCM...



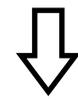
Caracterización
experimental



Caracterización
numérica



Métodos
estandarizados



Monitorización



Clasificación de ensayos

- Ensayos estandarizados:
 - Se realizan conforme a un procedimiento previamente definido y acotado (generalmente una norma)
 - Su objetivo es la trazabilidad en los resultados obtenidos.
 - Se realizan bajo condiciones muy controladas; bien porque se controlan los ambientes en los que se lleva a cabo, o bien porque las variables de los ambientes están perfectamente medidas.



Clasificación de ensayos

- Mediciones in-situ:
 - No siempre existe una normativa aplicable.
 - Los resultados dependen en parte de la experiencia de la persona técnica que realiza las mediciones.
 - Generalmente están condicionadas por las sollicitaciones exteriores.

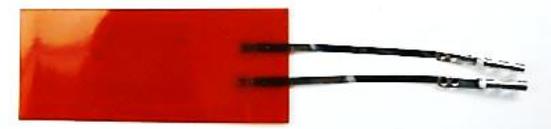
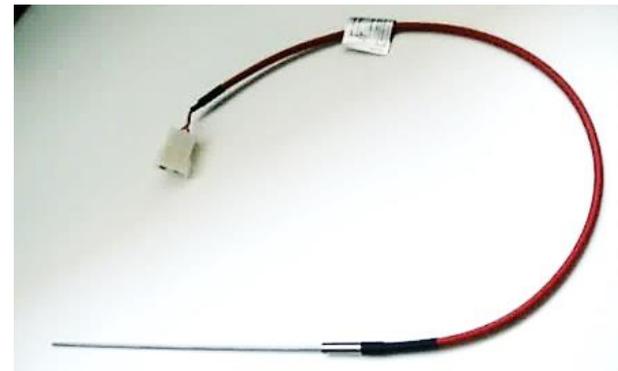
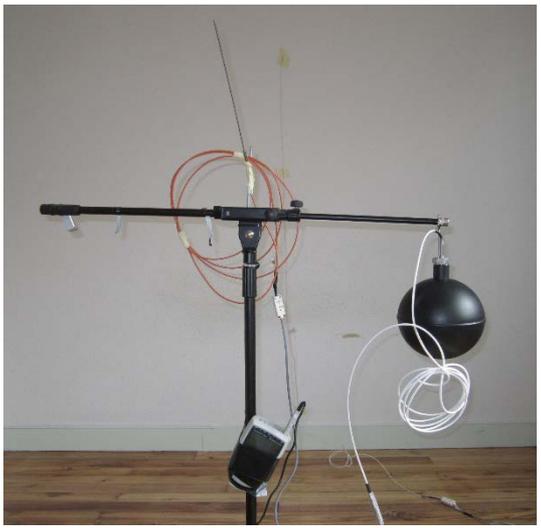


Tipos de sensores

- Algunas de las variables que se miden en los equipos empleados para la caracterización térmica son:
 - Temperatura → Termopares, termorresistencias, termopilas (para diferencias de temperaturas), termómetro de temperatura de globo, cámara infrarrojos,
 - Medida del flujo de calor → fluxímetros o watímetros para la medida de potencia generada por una resistencia eléctrica.
 - Humedad relativa → Higrómetros
 - Radiación → Piranómetro (global/difusa) y pirgeómetro (radiación de onda larga).
 - Velocidad del aire → Anemómetro
 - Iluminación → Luxómetro
 - Presión → Manómetro, transductor...



Tipos de sensores





Tipos de sensores

- Todas las salidas de los sensores tienen que estar comunicadas con un adquisidor de datos en el que se muestrea y almacenan las señales.





Tipos de sensores

- En el caso de medidas que se realicen bajo condiciones meteorológicas, suele ser necesario colocar una estación meteorológica

Estación meteorológica

- Temperatura
- Radiación solar
- Anemómetro
- Dirección del viento
- Presión barométrica
- Humedad relativa
- Precipitación





ENSAYOS DE LABORATORIO



ENSAYOS DE LABORATORIO

- Objetivos
- Conductivímetro
- Caja caliente guardada
- Celda de ensayos Paslink



Objetivos

- Conocer las características principales de los ensayos realizados en laboratorio.
- Conocer diferentes métodos de ensayo para la caracterización térmica de materiales y componentes empleados en la edificación.
- Identificar las propiedades térmicas que se pueden calcular con los diferentes métodos de caracterización.



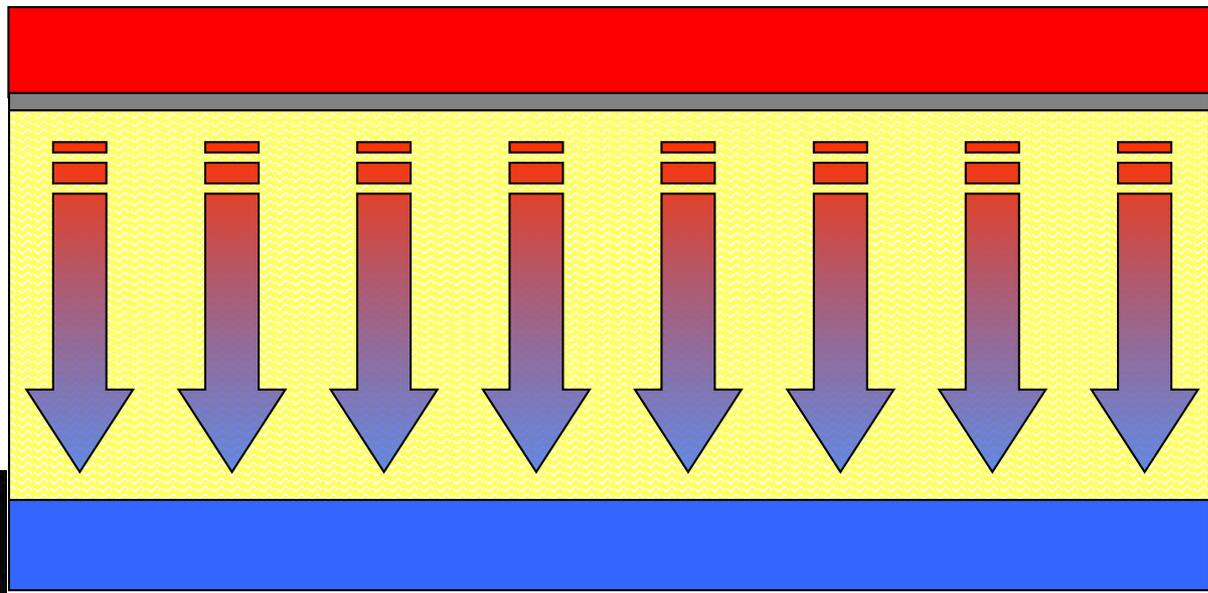
Conductivímetro

- **MEDIDA:** Conductividad térmica, k [$W/(m \cdot K)$] o resistencia térmica, R_t [$m^2 \cdot K/W$]
- **APLICACIÓN:** Materiales homogéneos de alta y media resistencia térmica
- **METODOLOGÍA:** Medir simultáneamente el flujo de calor que atraviesa la muestra y la diferencia de temperaturas entre las caras caliente y fría del equipo.
- **NORMA:** UNE-EN 12667:2002
- **LIMITACIONES:** Dimensiones de la probeta deben ser compatibles con el equipo de ensayo. Las caras del material plano-paralelas entre sí, evitando que exista rugosidad superficial.



Conductivímetro

14.2



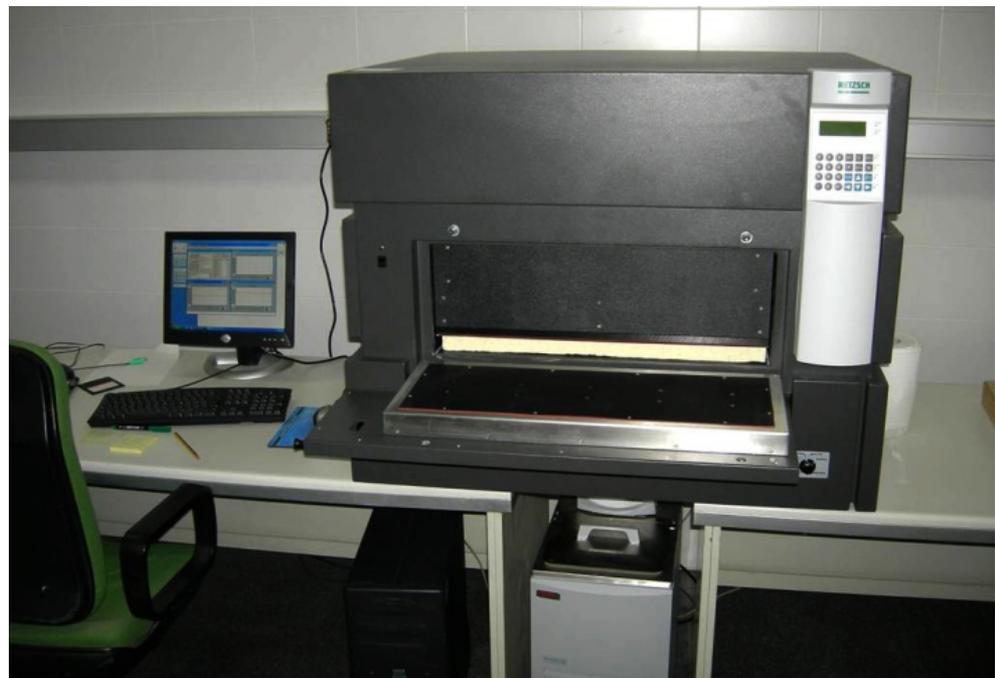
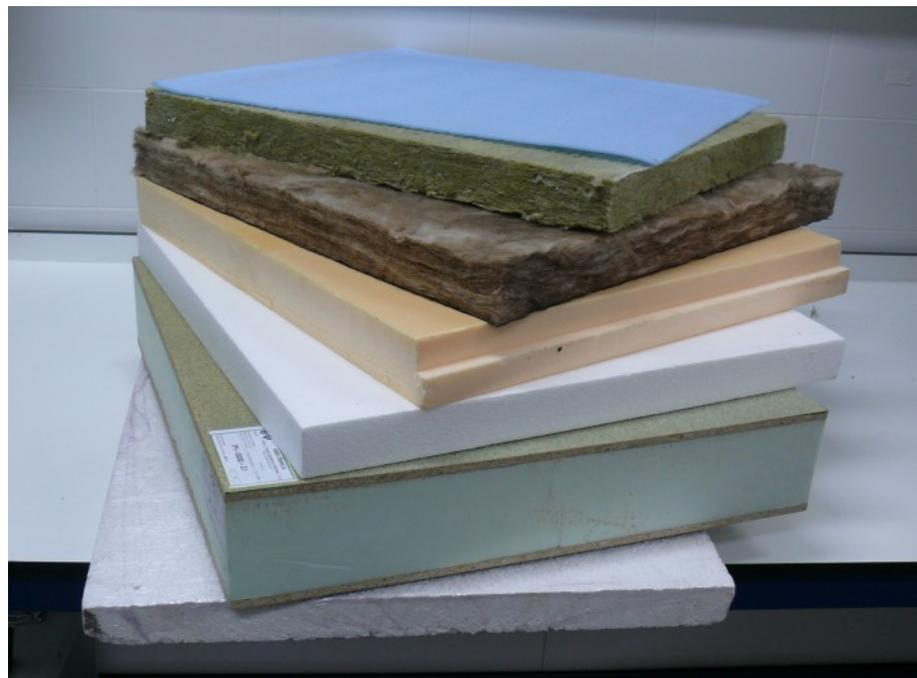
10.9

0.00

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \rightarrow k = \frac{\dot{Q} \cdot \Delta x}{A \cdot (T_{hot} - T_{cold})}$$



Conductivímetro



Materiales homogéneos aislantes

Conductivímetro



Conductivímetro

- **MEDIDA:** Conductividad térmica, k [W/(m·K)]
- **APLICACIÓN:** Materiales homogéneos de baja resistencia térmica
- **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)
- **LIMITACIONES:** Dimensiones de la probeta deben ser compatibles con el equipo de ensayo. Las caras del material deben ser plano-paralelas entre sí, evitando que exista rugosidad superficial.



Conductivímetro



Material homogéneo no aislante

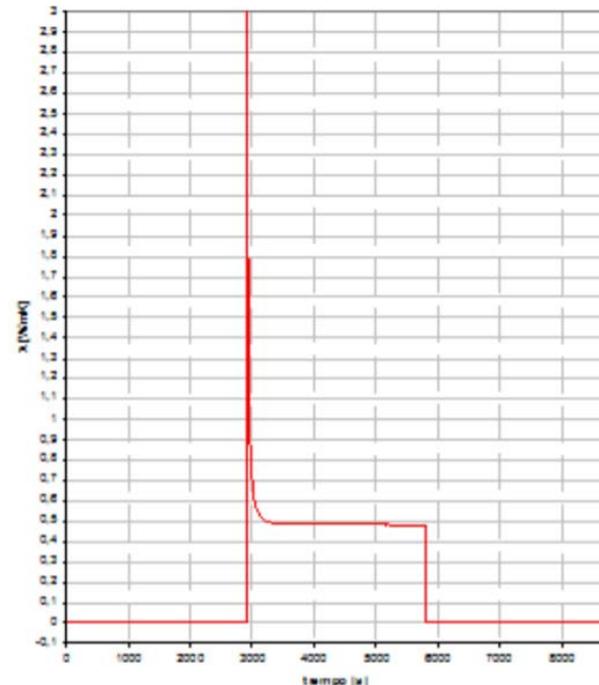
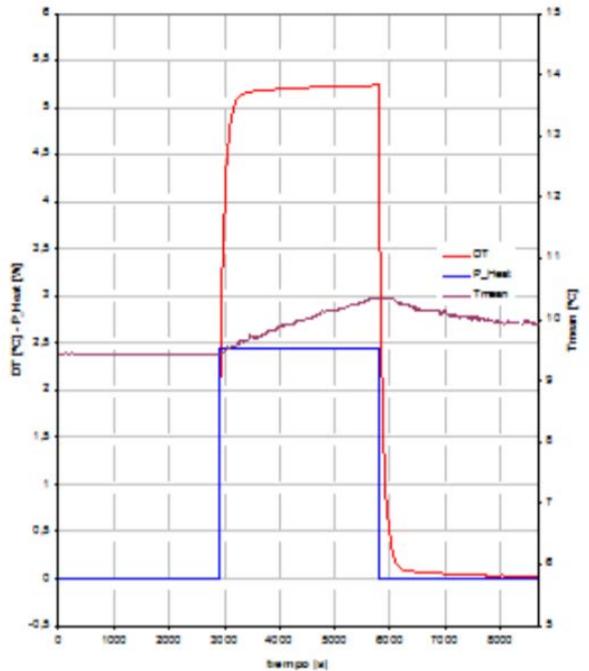


Conductivímetro



Conductivímetro

- Evolución del salto térmico, la potencia y la conductividad térmica durante un ensayo:





Caja Caliente Guardada

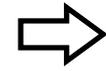
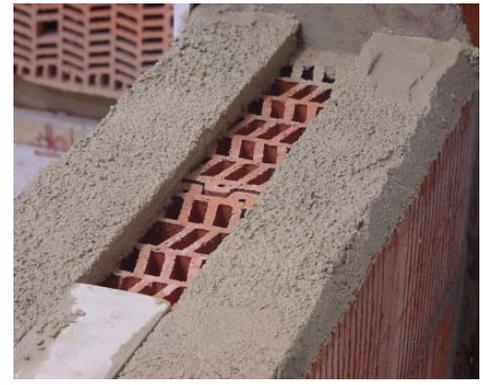
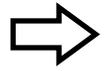
- **MEDIDA:** Transmitancia térmica, U [$W/(m^2 \cdot K)$]
- **APLICACIÓN:** Cerramientos opacos (multicapa y/o heterogéneos).
- **METODOLOGÍA:** La probeta se coloca entre una cámara caliente y una fría. Se miden temperaturas de aire y superficie así como la potencia a suministrar en la cámara caliente.
- **NORMA:** UNE-EN ISO 8990:1997, UNE 92204:1995, EN 1934:1998, EN 1946-4:2000
- **LIMITACIONES:** Dimensiones de la probeta deben ser conformes al equipo de medida. Cuanto más grandes mejor.



IV. Ensayos para la caracterización térmica

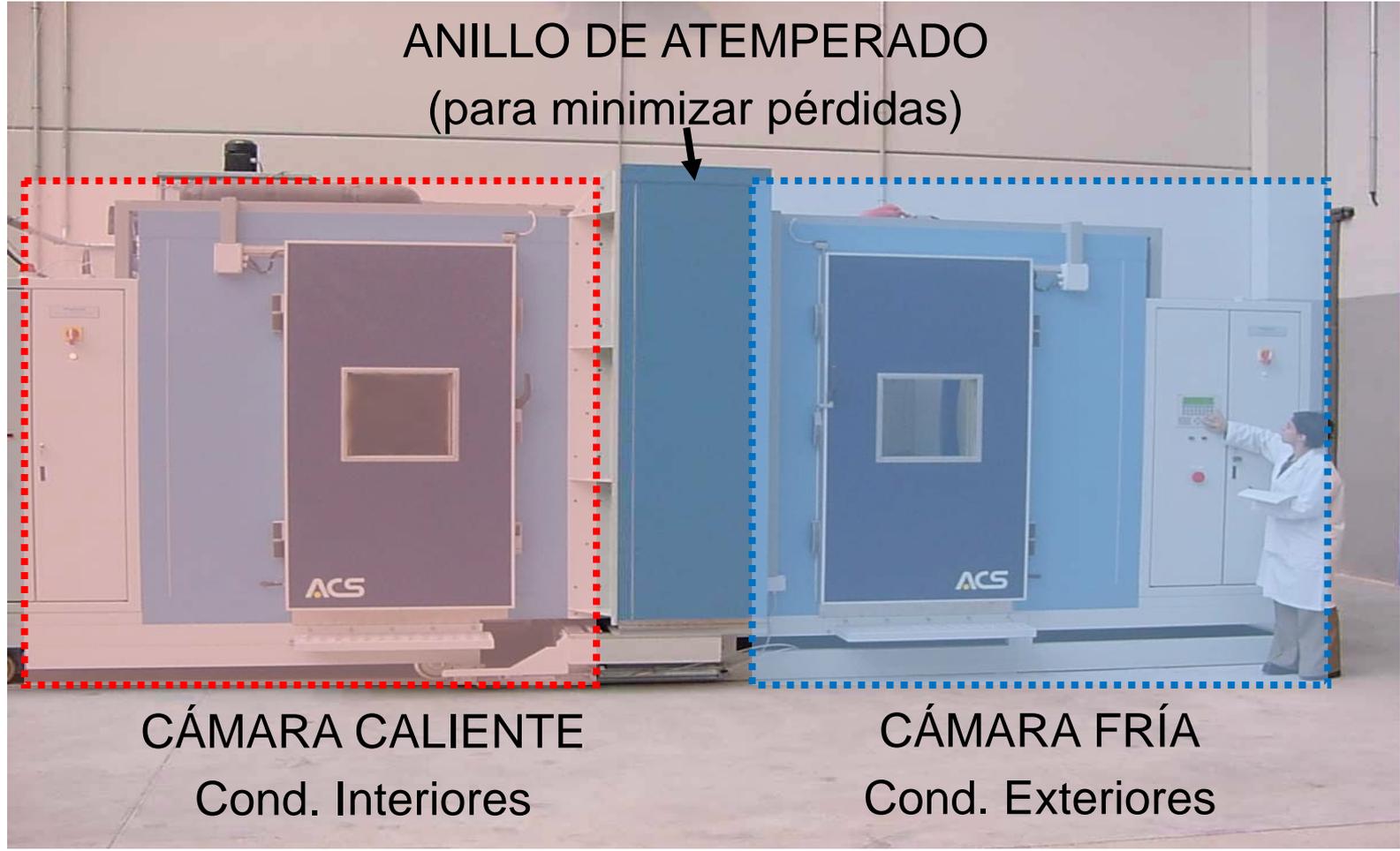
Tema 2: Ensayos de caracterización térmica de componentes de cerramientos

Caja Caliente Guardada



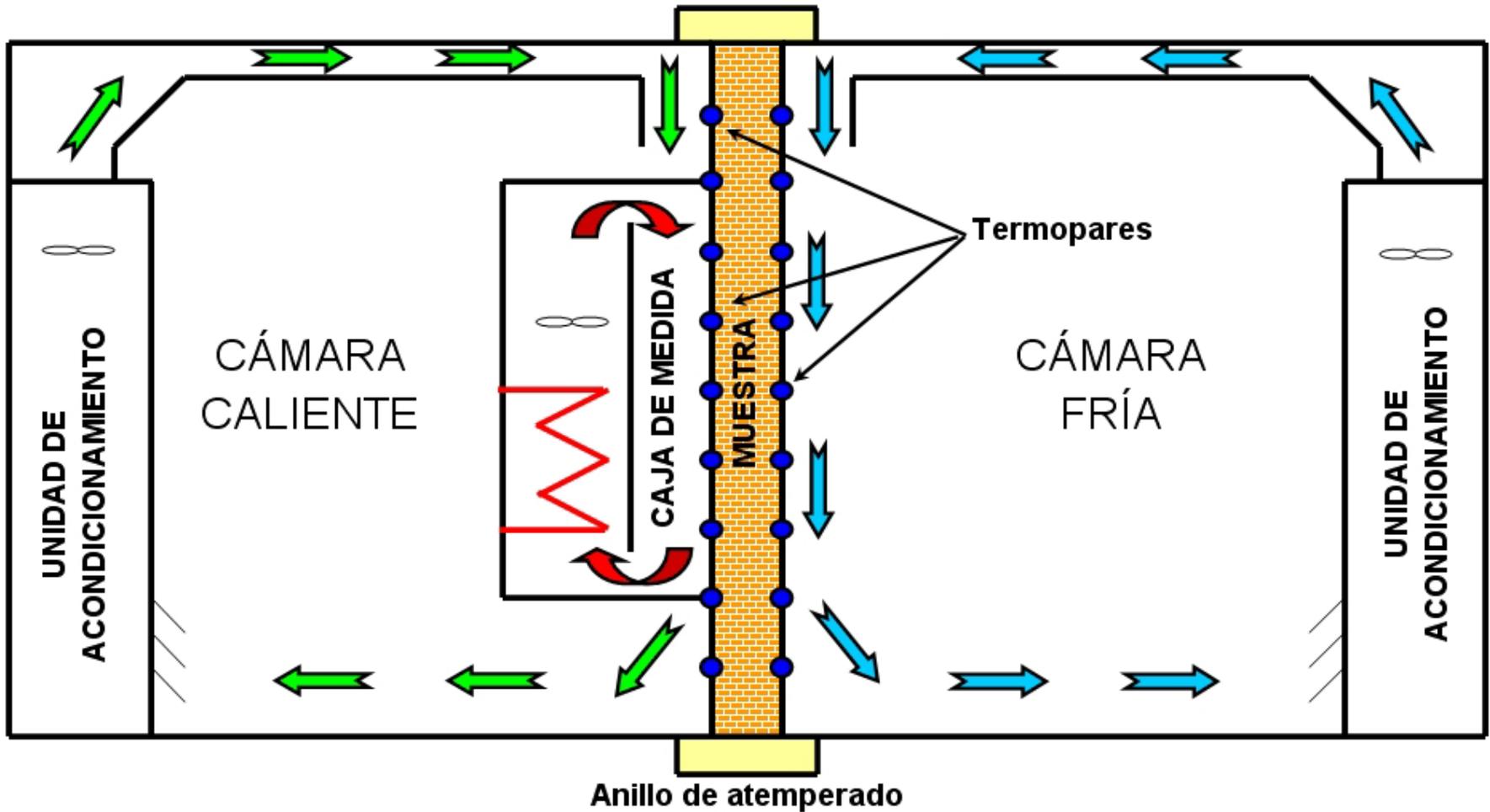


Caja Caliente Guardada





Caja Caliente Guardada





Caja Caliente Guardada

- Secado y acondicionado de la muestra a una temperatura y humedad determinada especificada por la norma (23°C y 50% HR)





Caja Caliente Guardada

- Antes de cada ensayo la probeta tiene que estabilizar su peso para que la humedad no afecte en el resultado.



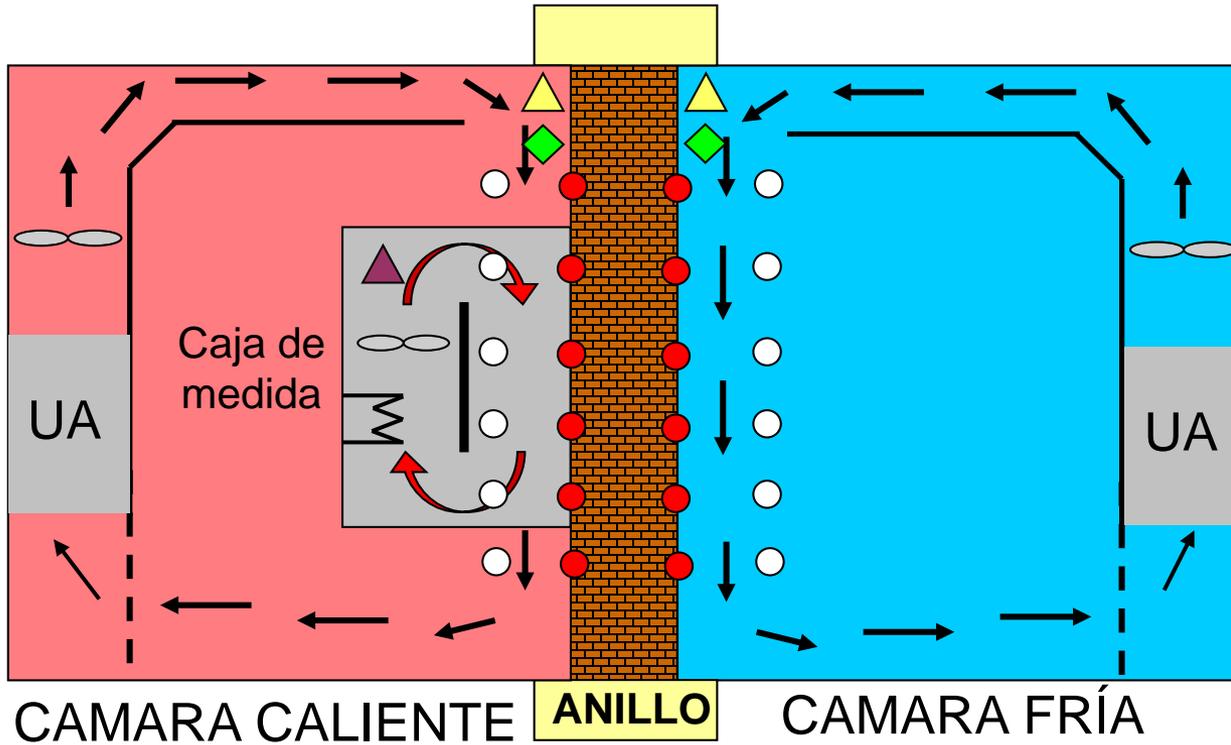
Pesaje de la probeta



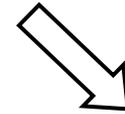
Célula de carga



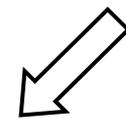
Caja Caliente Guardada



$$R_t = \frac{A \cdot (\bar{T}_{s,hot} - \bar{T}_{s,cold})}{\dot{Q}_{elec}}$$



Designed by Freepik





Caja Caliente Guardada

- **MEDIDA:** Transmitancia térmica, U [$W/(m^2 \cdot K)$]
- **APLICACIÓN:** Conjuntos acristalados (marco, vidrio y cajón de persiana si corresponde)
- **METODOLOGÍA:** La probeta se coloca entre una cámara caliente y una fría. Se miden temperaturas de aire y superficie así como la potencia a suministrar en la cámara caliente.
- **NORMA:** UNE-EN ISO 12567-1:2011, UNE-EN ISO 8990:1997, UNE-EN 12412-2:2005
- **LIMITACIONES:** Dimensiones de la probeta deben ser estándares (conforme a norma).



Caja Caliente Guardada

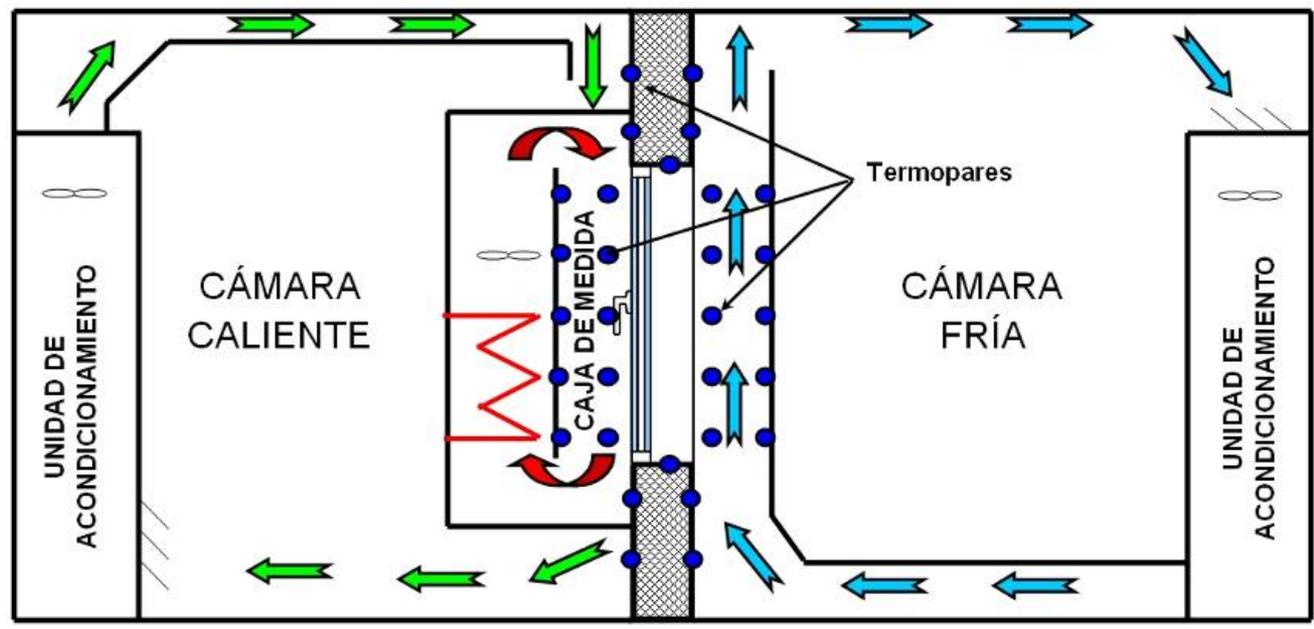


Equipo de Caja Caliente Guardada
para ventanas

Medidas de las ventanas:
1,23 x 1,48 m o 1,23 x 1,23 m



Caja Caliente Guardada



$$U = \frac{\dot{Q}_{elec}}{A \cdot (\bar{T}_{air,hot} - \bar{T}_{air,cold})}$$

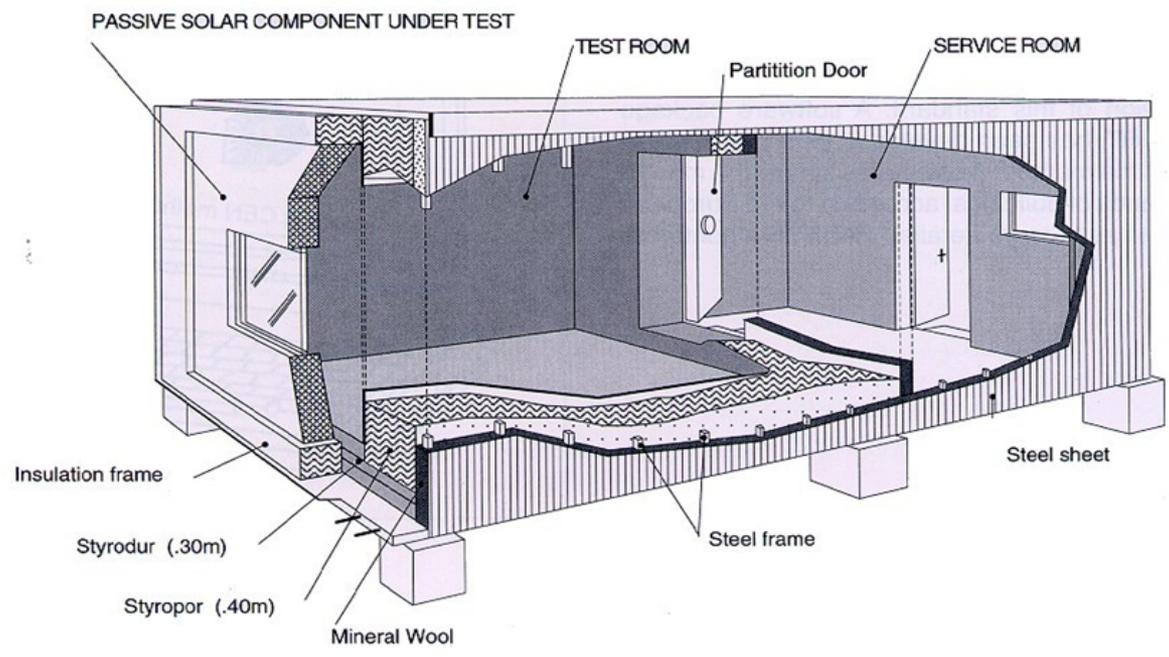


Celda de ensayo Paslink

- **MEDIDA:** Transmitancia térmica, U [$W/(m^2 \cdot K)$] y la capacidad térmica, C [$kJ/(m^2 \cdot K)$]. También el factor solar de elementos semitransparentes, g [-].
- **APLICACIÓN:** Caracterización y modelización térmica en condiciones exteriores de cubiertas, cerramientos verticales opacos o semitransparentes. Especialmente pensado para fachadas activas.
- **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.
- **NORMA:** No existe. Se realiza según los procedimientos desarrollados por la red Europea PASLINK EEIG
- **LIMITACIONES:** Dimensiones de la probeta. Construcción de la probeta in-situ y transporte grúa.



Celda de ensayo Paslink



Fuente: Red Paslink (DYNASTEE)

Medidas bajo condiciones meteorológicas exteriores



Designed by macrovector / Freepik



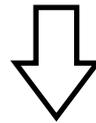
Celda de ensayo Paslink

- Un PROCESO DINAMICO obliga a considerar la variable TIEMPO
 - Para analizar procesos dinámicos se requieren técnicas matemáticas dinámicas que permitan extraer las características dinámicas a partir de la observación experimental.
 - Una adecuada configuración de ensayo debería proporcionar la información solicitada por el método matemático.



Celda de ensayo Paslink

Es necesario establecer un conjunto de herramientas de evaluación bien definidas, con relevancia científica y de aceptación comunitaria para los componentes de edificación.



Proyecto PASSYS (1986 – 1992)
“Passive Solar Components And System Testing”
35 células idénticas en 10 países de la UE



Celda de ensayo Paslink

Actualmente

- Pertenece a la red DYNASTEE (Dynamic Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental performance of buildings).
- Está incluido en INIVE (International Network for Information on Ventilation and Energy Performance)



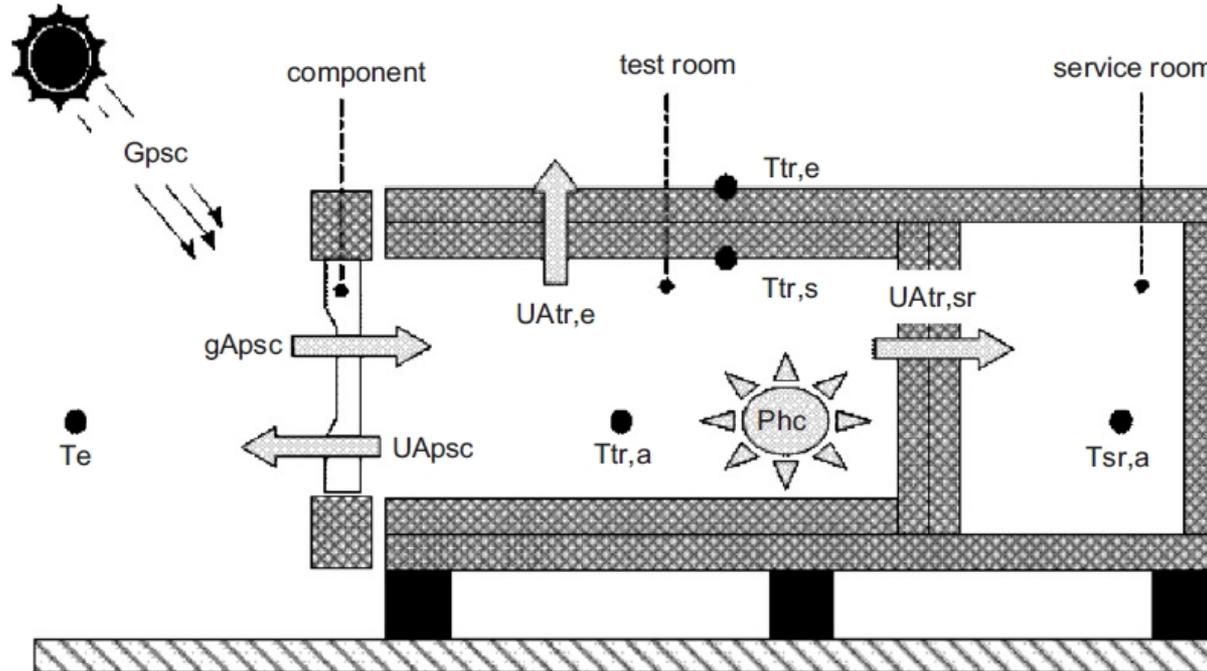


Celda de ensayo Paslink



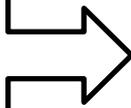


Celda de ensayo Paslink



Fuente: Red Paslink (DYNASTEER)

Medidas bajo condiciones meteorológicas exteriores



- Resistencia térmica $\rightarrow R_t$ [m^2K/W]
- Transmitancia térmica $\rightarrow U$ [W/m^2K]
- Factor solar $\rightarrow g$ [-]



Celda de ensayo Paslink

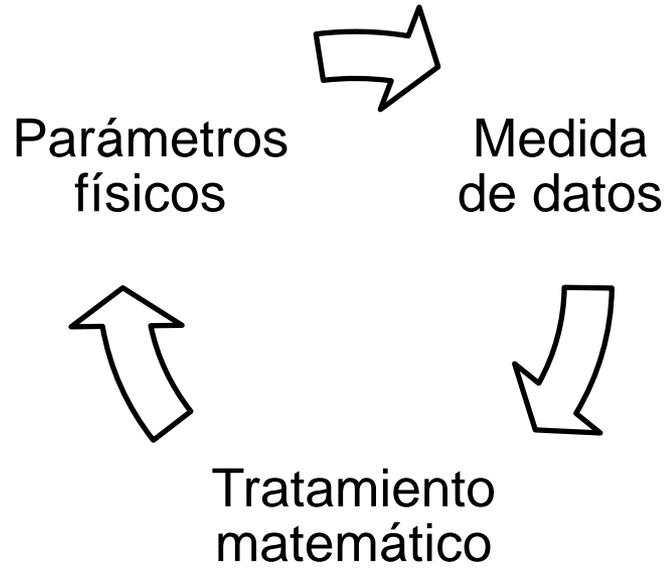
Procedimiento de ensayo Paslink:

- Diseñar el experimento considerando el proceso de análisis. Excitar el sistema físico.
- Realizar el experimento. Recoger datos a intervalos regulares.
- Pre-procesado. Filtrado espacial y temporal de datos.
- Análisis por estimación. Aplicar un modelo y un método.
- Post-procesado de los resultados y volver a ejecutar. Conversión de los parámetros matemáticos en físicos.



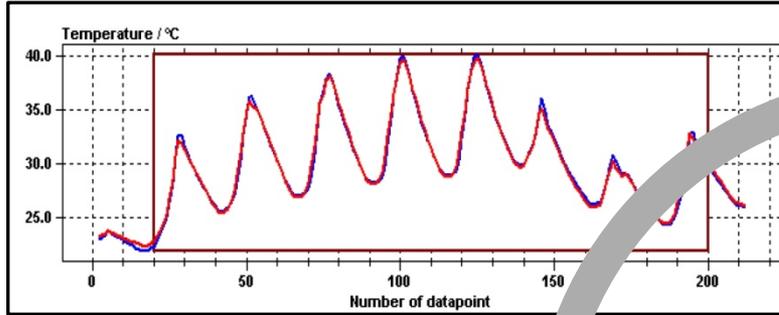
Celda de ensayo Paslink

El procedimiento de ensayos Paslink se basa en la **identificación de parámetros** físicos de la solución a ensayar a partir de datos medidos y un posterior un tratamiento matemático:





Celda de ensayo Paslink

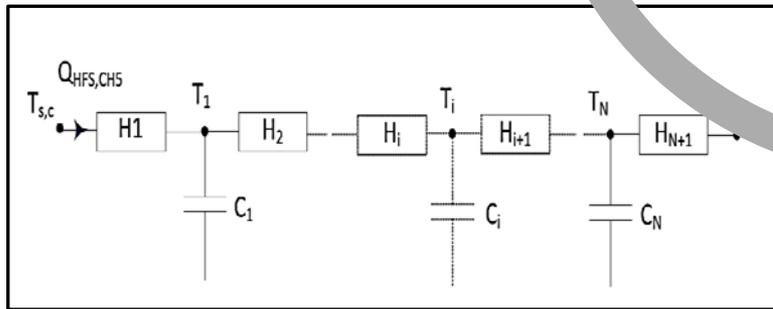


Sensórica

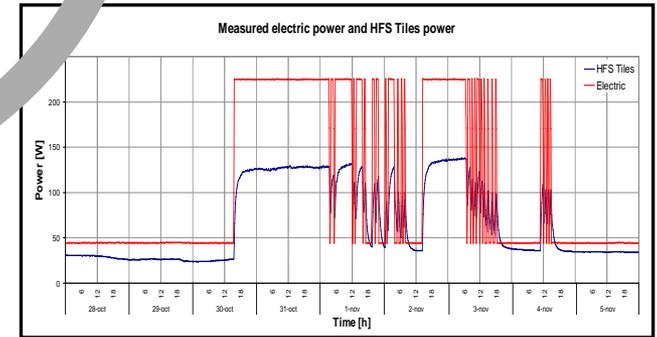
Tratamiento de datos

Ensayo de calidad

Procedimiento de ensayo



Modelado matemático





Celda de ensayo Paslink



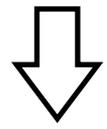
Movimiento de la probeta



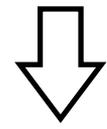
Construcción in situ



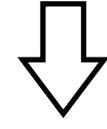
Celda de ensayo Paslink



Fachada ventilada



Cubierta ajardinada



Muro trombe



MEDIDAS IN SITU



MEDIDAS IN-SITU

- Objetivos
- Medida de la U in-situ
- Co-heating
- Puerta ventilador
- Gases trazadores
- Termografía infrarroja



Objetivos

- Conocer las características principales de los ensayos realizados in-situ.
- Conocer diferentes métodos de ensayo para la caracterización térmica de materiales, componentes o zonas de los edificios.
- Identificar las propiedades térmicas que se pueden calcular con los diferentes métodos de caracterización.



Medida de la U in-situ

- **MEDIDA:** Resistencia térmica superficie a superficie, R_t [$m^2 \cdot K/W$]. Se puede estimar también la transmitancia térmica, U [$W/(m^2 \cdot K)$]
- **APLICACIÓN:** Conocer el grado de aislamiento real de cerramientos planos opacos.
- **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.
- **NORMA:** ISO 9869-1:2014
- **LIMITACIONES:** El espacio debe estar acondicionado para mantener un salto térmico mínimo respecto al exterior. Se debe medir en un punto homogéneo del cerramiento, alejado de puentes térmicos, huecos de ventanas y fuentes de calor cercanas.



Medida de la U in-situ

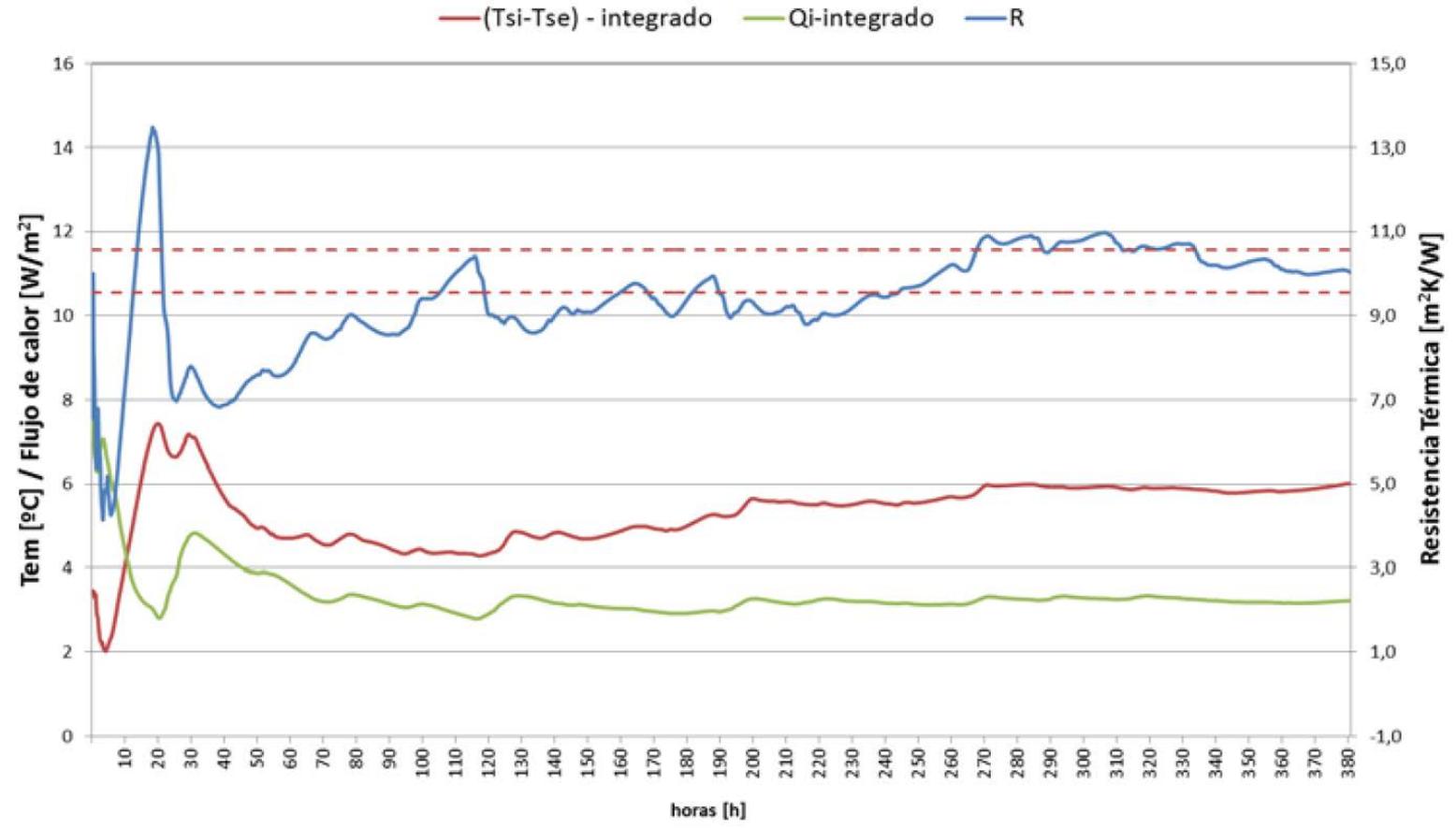


Instrumentación de ensayo:

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



Medida de la U in-situ





Co-heating

- **MEDIDA:** Coeficiente de pérdidas de calor que engloba las pérdidas por transmisión y ventilación/infiltración, HLC [W/K].
- **APLICACIÓN:** Caracterización térmica global de un edificio o una zona.
- **METODOLOGÍA:** Consiste en hacer un balance de energía en una zona o el edificio. Se genera calor en el interior, para que la dirección de las pérdidas sea siempre hacia el exterior.
- **NORMA:** No existe, aunque existen varias metodologías.
- **LIMITACIONES:** Dificultad de medir todas las variables a considerar, especialmente en edificios ocupados y las relacionadas con la radiación solar.



Co-heating

El HLC (Heat Loss Coefficient) considera las pérdidas de calor y de infiltración/ventilación a través de la envolvente del edificio dividido por el salto térmico entre el ambiente interior y el exterior. Por lo tanto depende de:

- Q → Entrada de calor al edificio (y del sistema de ventilación llegado el caso)
- K → Cargas de ocupación, equipos e iluminación.
- $S_a \cdot V_{sol}$ → Término relacionado con las ganancias solares a través de los sistemas semitransparentes.
- $T_{in} - T_{out}$ → Diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y exterior.

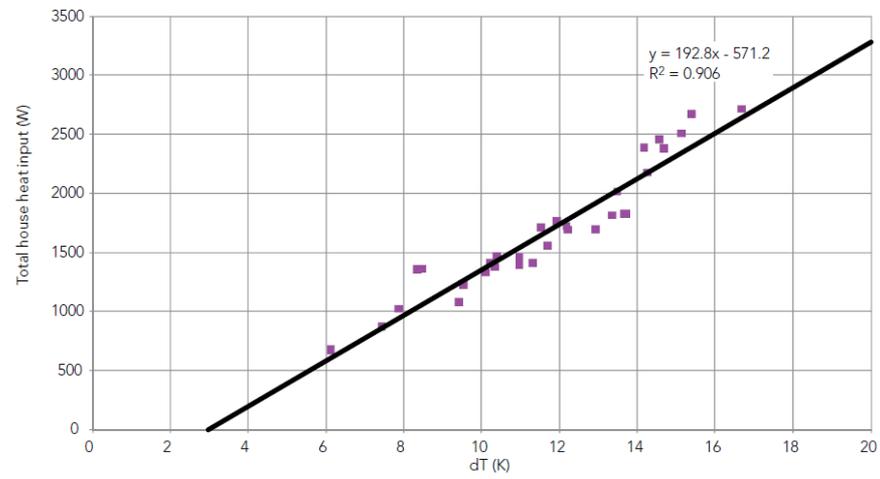
$$HLC = \frac{Q + K + S_a \cdot V_{sol}}{T_{in} - T_{out}}$$



Co-heating



Fuente: NHBC Foundation



Fuente: NHBC Foundation



Puerta ventilador

- **MEDIDA:** Tasa de Renovaciones hora promedio a 50 Pa de presión, n_{50} [h^{-1}].
- **APLICACIÓN:** En una zona térmica (local, habitación...).
- **METODOLOGÍA:** 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})
- **NORMA:** UNE-EN 13829:2002 y ISO 9972:2015
- **LIMITACIONES:** El caudal máximo del ventilador limita la dimensión del recinto a ensayar, habitualmente se ensayan algunas viviendas de forma individual.



Puerta ventilador

Ventajas:

- No requiere equipamiento sofisticado como en los gases trazadores.
- Puede ser usado para ver la efectividad de medidas de rehabilitación.
- Aporta información sobre el origen de dichas infiltraciones. La termografía infrarroja es una buena herramienta complementaria

Desventajas:

- Se trata de una medida indirecta de la infiltración. Aproxima el proceso real a un proceso artificial (generado por el usuario mediante presurización / despresurización).



Puerta ventilador





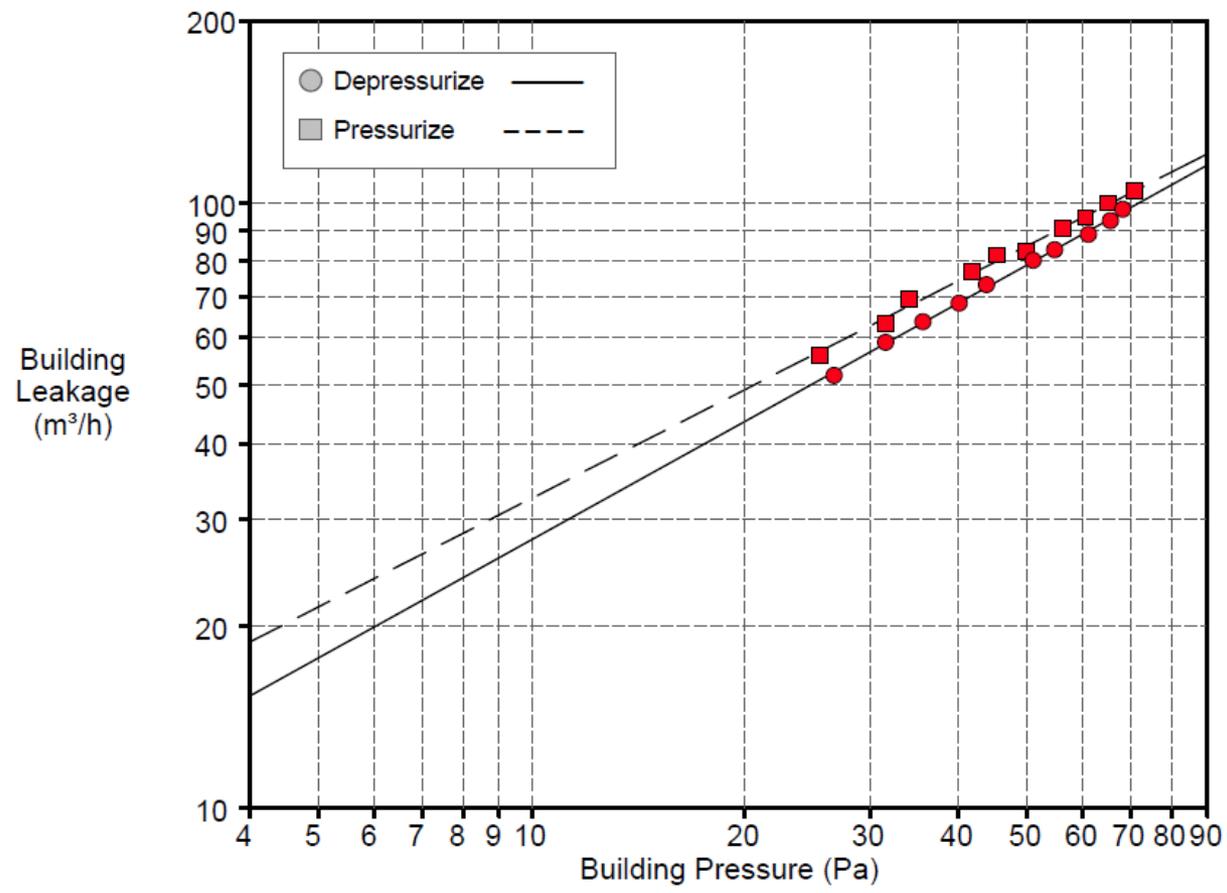
Puerta ventilador

Es importante tapar todas las posible fuentes de infiltración que no se quieran considerar durante el ensayo:





Puerta ventilador





Gases trazadores

- **MEDIDA:** Tasa de renovación de aire de cada estancia, ACH (h^{-1}).
Detección de zonas de estancamiento del flujo de aire, medición de la “edad del aire”.
- **APLICACIÓN:** Zonas térmicas del edificio.
- **METODOLOGÍA:** 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.
- **NORMA:** UNE-EN ISO 12569:2012
- **LIMITACIONES:** Es necesario que todas las estancias tengan el sistema de ventilación funcionando con la misma configuración.

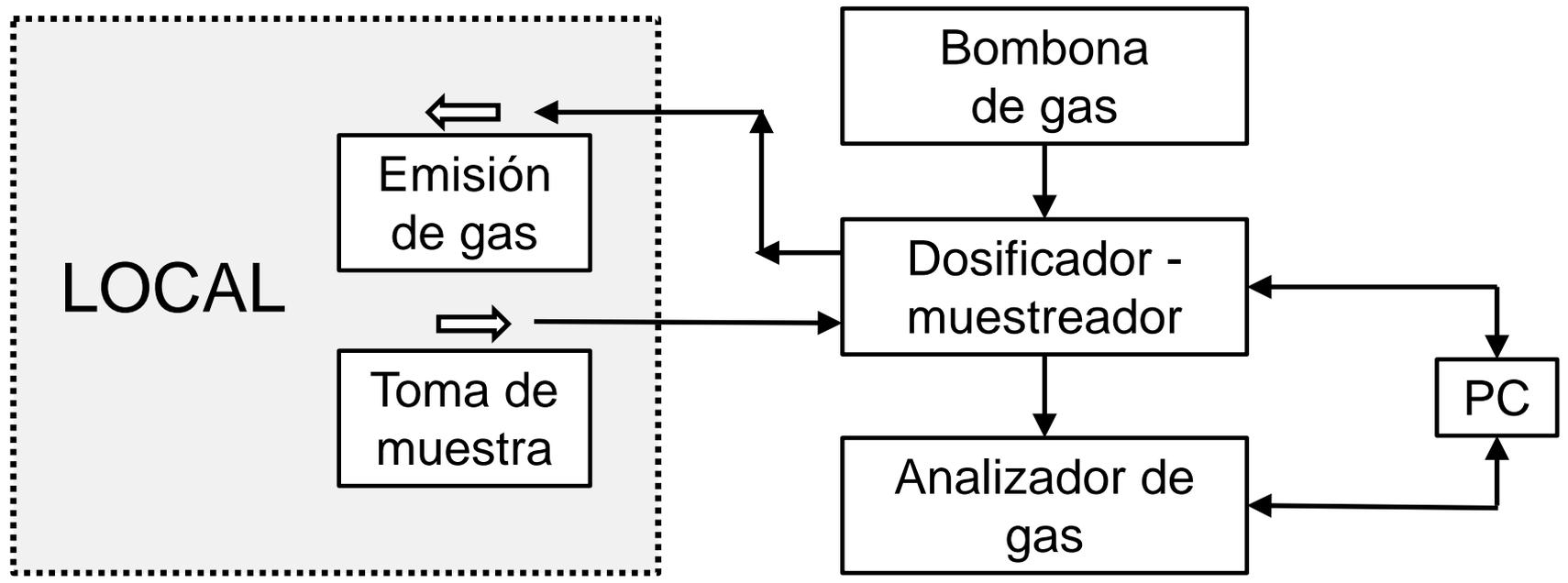


Gases trazadores

- Permite analizar el cumplimiento de las exigencias del CTE-DB HS3.
- Expresa la tasa de renovación de un local (renovaciones/hora)
- Aporta información sobre la ventilación (caudales, zonas de paso, etc).
- Compatible con pruebas de calidad de aire interior (medida de contaminantes, edad del aire, etc.).

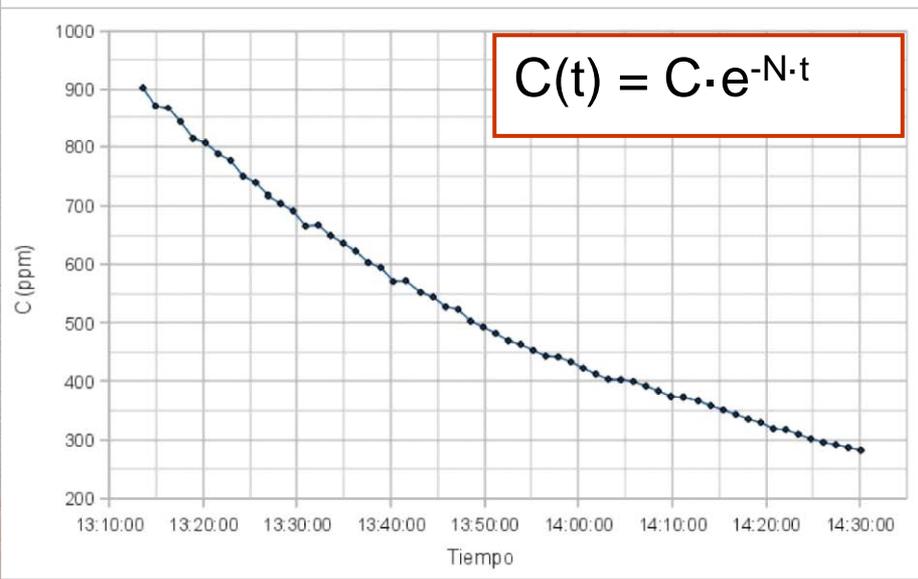


Gases trazadores





Gases trazadores





Termografía infrarroja

- **MEDIDA:** Variaciones y comparaciones de temperatura superficial en torno a los encuentros constructivos y en los distintos cerramientos.
- **APLICACIÓN:** Envoltentes del edificio por el exterior o interior.
- **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.
- **NORMA:** EN 13187:1998
- **LIMITACIONES:** La interpretación cuantitativa es compleja y conviene usar medidas complementarias. Condiciones climatológicas exigidas por la norma: $\Delta T > 10^\circ\text{C}$, cerramientos secos, con temperaturas estabilizadas en las horas previas al ensayo, sin radiación solar...





Termografía infrarroja

Técnica no intrusiva basada en la radiación emitida por los cuerpos.

Tiene múltiples aplicaciones en el sector de la edificación.

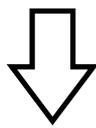
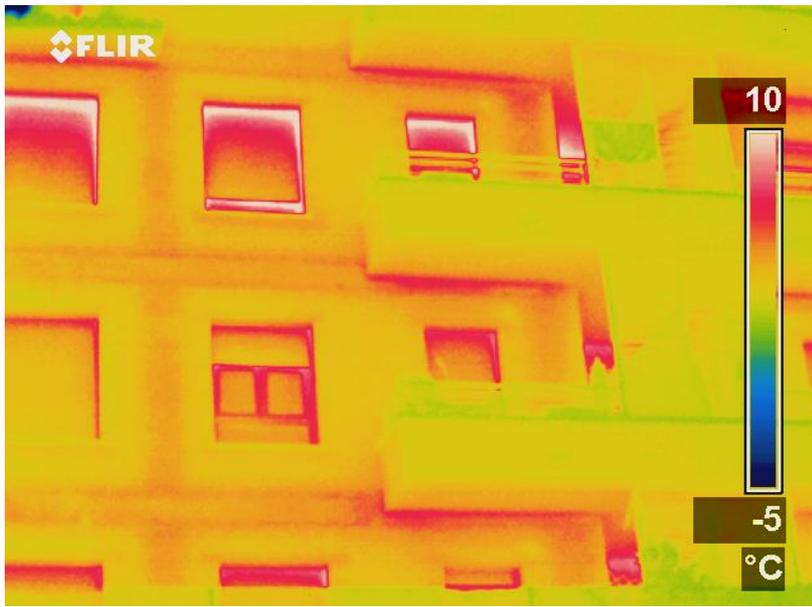
- Detección de puentes térmicos.
- Detección de humedades.
- Detección de infiltraciones.
- Restauración.



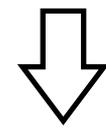
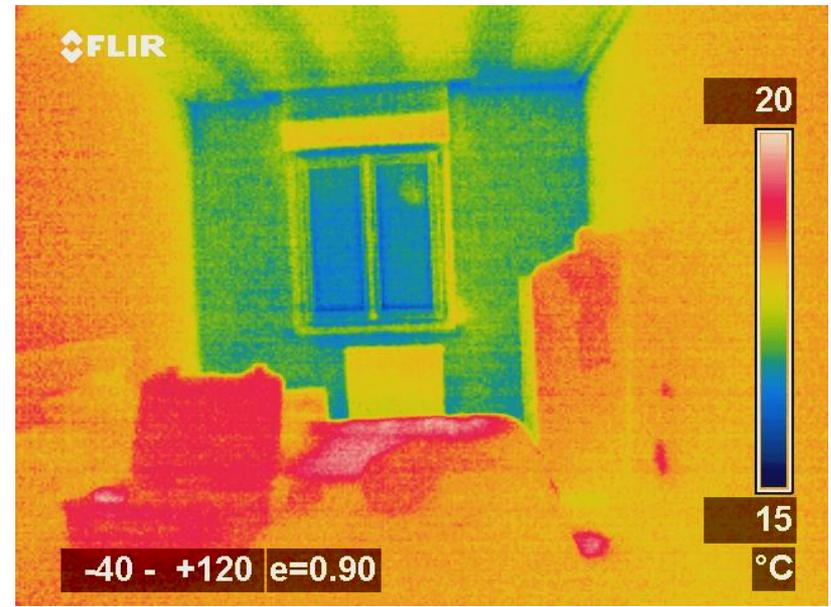
Fuente: Flir, Testo, Fluke



Termografía infrarroja



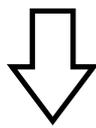
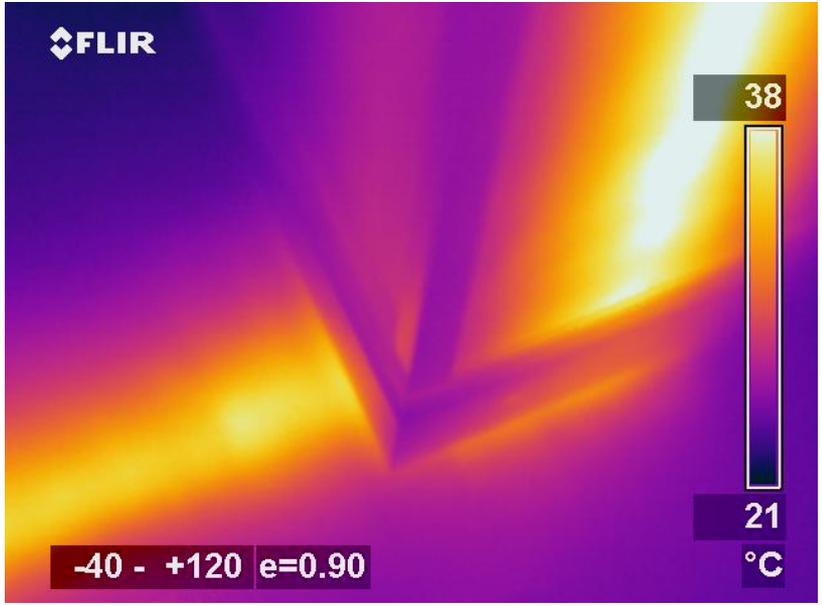
Puentes térmicos



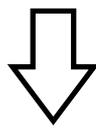
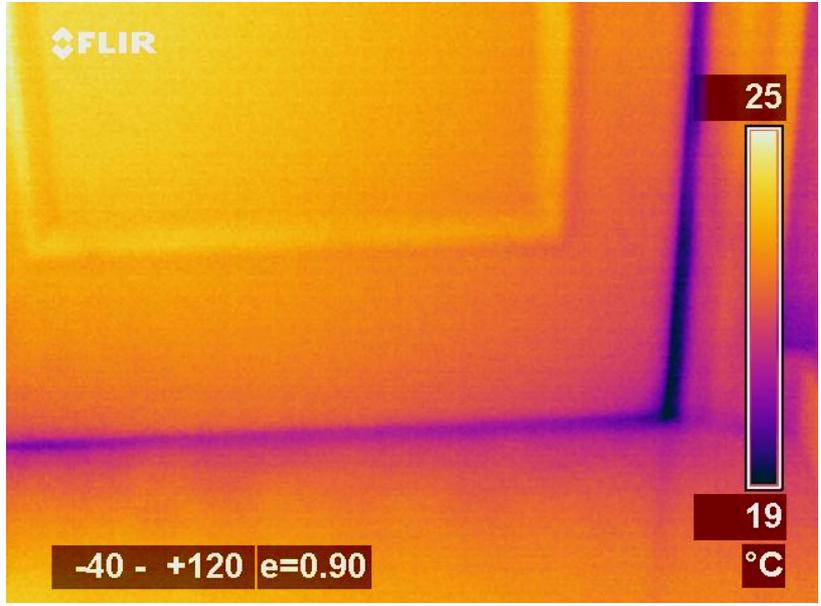
Ausencia aislamiento



Termografía infrarroja



Inspección humedades



Infiltraciones



Muchas
Gracias