

# PRÁCTICA Nº 1.1

## Casa térmica I. Conducción en régimen estacionario

### OBJETIVOS

Determinar la conductividad térmica ( $k$ ) de los distintos materiales de las paredes.

Obtener el coeficiente de transmisión de calor por convección entre el aire interior y las paredes ( $h_i$ ) y el coeficiente global de transmisión de calor ( $H$ ) para las paredes compuestas.

Estimar las pérdidas de calor ( $\phi$ ) a través de paredes planas.

**MATERIAL:** Casa térmica con 4 aberturas laterales de 21 cm x 21 cm para construir las paredes. Termopares de NiCr-Ni (sondas). Registradores de temperatura. Cronómetro. Cinta métrica.

*Elementos para construir paredes de ensayo:*

paneles de poliestireno (2cm)

paneles de madera de distintos espesores

paneles de vidrio de cristal simple y doble

2 bandas de esponja

cinta adhesiva

### Fundamento teórico

La transmisión de calor se puede realizar mediante tres mecanismos diferentes: conducción, convección y radiación. El calor que se transmite por unidad de tiempo o *flujo de calor* ( $\phi$ ) en una pared homogénea (simple o compuesta) sin fuentes que generen calor en su interior y rodeada de algún fluido como el aire, se transmite por conducción a través de la pared y por convección entre aire y pared (suponiendo despreciable la radiación).

El estado estacionario se alcanza cuando las temperaturas no varían en el tiempo y en ausencia de fuentes internas de calor, el flujo permanece constante. En este caso se cumple:

$$\phi_{CV\ int} = \phi_{CD} = \phi_{CV\ ext} = \phi = \text{constante}$$

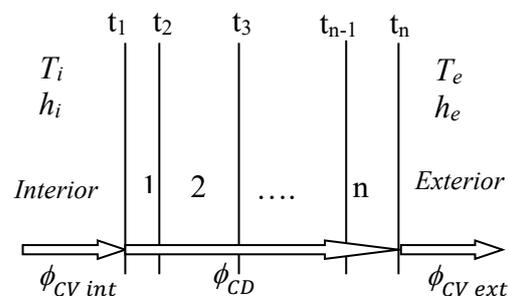


Figura 1.- Esquema de transferencia de calor a través de paredes

El flujo de calor por conducción (*ley de Fourier*) para paredes planas en régimen estacionario ( $\phi_{CD}$ ) se puede expresar mediante la ley de Ohm térmica como:

$$\phi_{CD} = \frac{\Delta T}{R_T} ; R_T = \frac{(t_1 - t_n)}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i S_i}} \quad \begin{array}{l} n - \text{Número de paredes} \\ k_i - \text{Conductividad térmica [W/(m}\cdot\text{K)]} \\ d_i - \text{Espesor} \\ S_i - \text{Superficie de la pared} \end{array} \quad (1)$$

El flujo de calor por convección (*ley de enfriamiento de Newton*) entre el aire y las paredes se determina:

$$\begin{array}{l} \text{Interior} \\ \phi_{cv,i} = h_i S (T_i - t_1) \end{array} \quad \begin{array}{l} h_i/h_e - \text{Coeficiente de convección int/ext [W/m}^2\text{K]} \\ t_i/t_e - \text{la temperatura del aire int/ext} \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Exterior} \\ \phi_{cv,e} = h_e S (t_n - T_e) \end{array}$$

El salto térmico total ( $T_i - T_e$ ) según las ecuaciones (1) y (2) se puede escribir:

$$(T_i - T_e) = (T_i - t_1) + (t_1 - t_n) + (t_n - T_e) = \phi \cdot S \left[ \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} \right] = \phi \cdot S \cdot H \quad (3)$$

$$\phi = H \cdot S (T_i - T_e) ; H = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} \right]}$$

donde  $H$  el coeficiente global de transmisión de calor. Este parámetro se utiliza cuando se trabaja con paredes compuestas de varios materiales.

**Nota:** Se puede tomar en promedio un valor del coeficiente de transmisión de calor por convección entre la superficie de la pared y el aire exterior,  $h_e = 7,1 \pm 0,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

## Descripción del montaje

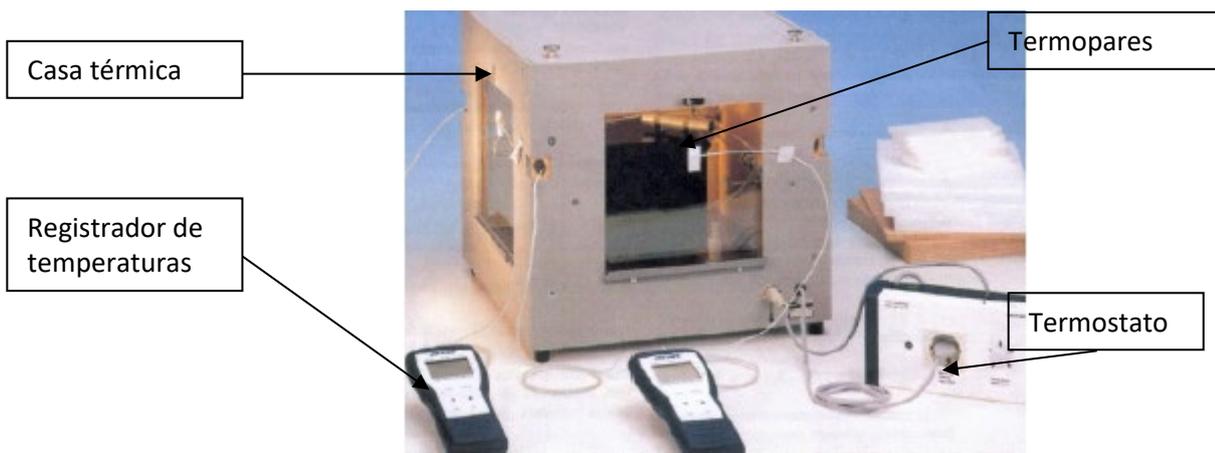


Figura 2.- Montaje experimental.

La *casa térmica* consiste en una caja con una abertura cuadrada en cada pared lateral donde se sitúan las paredes a ensayar. Se cierra con una tapa que se ajusta con cuatro tornillos.

En el interior se aloja el *elemento calefactor* que consiste en una bombilla bajo una caja negra para asegurar una radiación uniforme sobre las paredes. Dispone de un termostato que se conecta y

desconecta automáticamente para regular la temperatura del recinto y evitar un posible sobrecalentamiento de la bombilla.

#### *Construcción de las paredes*

Pared 1 (simple): panel de madera

Pared 2 (simple): panel de cristal

Pared 3 (compuesta): madera (exterior)-poliestireno (interior)

Pared 4 (compuesta): poliestireno (exterior)-capa de aire-madera (interior). Para mantener el hueco de aire se deben colocar las bandas de esponja entre ambos paneles.

Como no se dispone de suficientes termopares para controlar las temperaturas en todas las paredes simultáneamente, se comenzará estudiando el comportamiento de dos de ellas y posteriormente se repetirá el experimento con el resto de las paredes.

## Procedimiento experimental

- Antes de comenzar a calentar la casa térmica es conveniente medir simultáneamente la temperatura ambiente en una misma zona del laboratorio con todos los termopares que se vayan a utilizar en el experimento, con el fin de corregir la posible diferencia que pudiera aparecer en alguno de ellos. Utilizar una de las sondas como referencia. De esta manera todos están referidos a un origen común (calibración)
- Para conocer el valor de la temperatura interior y exterior de cada panel, fijar con cinta adhesiva termopares a ambos lados. Es conveniente introducir las sondas por los orificios de las esquinas de la casa. Procurar posicionar los termopares de forma que queden centrados y enfrentados lo máximo posible.
- Con el termostato de la casa al máximo medir las temperaturas cada 5 minutos hasta que se estabilicen. Esta fase de calentamiento se produce en régimen transitorio. Con la conexión/desconexión automática del termostato se consigue regular la temperatura en el interior del recinto, logrando así unas condiciones estables (régimen estacionario). A partir de ese momento, tomar medidas de todas las temperaturas cada minuto durante un periodo de unos 10 minutos.
- Repita el procedimiento anterior con el resto de las paredes de ensayo. No olvide reservar dos termopares para poder registrar la temperatura del aire interior y del exterior de la casa térmica y medir el espesor de todos los paneles.

## Cálculos y resultados

Para cada una de las paredes de la casa térmica:

1. Dibujar un esquema de la pared, identificando todas las temperaturas y la dirección del flujo de calor.
2. Anotar en una tabla las temperaturas medidas.
3. Calcular el flujo de calor transmitido ( $\phi$ ), el coeficiente de transmisión de calor por convección en el interior ( $h_i$ ), la conductividad térmica ( $k_x$ ) de los distintos materiales de los paneles y el coeficiente global de transmisión de calor ( $H$ ) para las paredes compuestas. Recoja todos los resultados en una tabla y no olvide hacer el cálculo de errores.
4. Representar en un gráfico la evolución de las temperaturas externa e interna de la pared en función del tiempo (régimen transitorio) hasta que se alcance el régimen estacionario.

## PRÁCTICA Nº 1.2

# Casa térmica II. Comportamiento de un cerramiento

### OBJETIVOS

Interpretar el comportamiento dinámico de los cerramientos de la casa térmica durante una exposición externa de radiación.

Comparar la capacidad calorífica de los materiales de las diferentes paredes.

Estudiar el comportamiento de los materiales aislantes.

**MATERIAL:** Casa térmica con 4 aberturas laterales de 21 cm x 21 cm para construir las paredes. Termopares de NiCr-Ni (sondas). Registradores de temperatura. Cronómetro. Cinta métrica. Lámpara de 120 W con su soporte.

*Elementos para construir paredes de ensayo:*

paneles de poliestireno (2cm)

paneles de madera de distintos espesores

paneles de vidrio de cristal simple y doble

2 bandas de esponja

cinta adhesiva

### Fundamento teórico

Las variaciones de radiación solar al incidir sobre los muros de una edificación provocan su calentamiento o enfriamiento, siendo más o menos acusado dependiendo del material de la pared. El efecto combinado del aislamiento y capacidad de acumulación térmica es lo que define la **inercia térmica** de un elemento constructivo.

#### Capacidad Térmica o Calorífica

Es la cantidad de energía necesaria para aumentar 1 grado la temperatura de una sustancia. La capacidad térmica expresa el calor que es capaz de absorber una sustancia para aumentar su temperatura.

$$C = c \cdot m = \rho \cdot V \cdot c \quad [\text{J/K}] \quad (4)$$

C = Capacidad Calorífica; m = masa (kg); c = calor específico (J/kg·K);  $\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>);

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

#### Aislamiento Térmico

Es la capacidad o propiedad de determinados materiales para oponerse al paso del calor por conducción. El aislamiento térmico tiene como objetivo el dificultar la transmisión de calor del interior al exterior y viceversa, para evitar las pérdidas de calor en períodos fríos y la ganancia del mismo en épocas cálidas.

El aislamiento térmico se evalúa mediante la resistencia térmica R

$$R = \frac{e}{k} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (5)$$

e = espesor; k = conductividad térmica. Si se trata de una pared plana compuesta con convección interior y exterior, la resistencia conjunta es  $R=1/H$ , siendo H= coeficiente global de transmisión de calor

Un material se considera aislante térmico si su conductividad térmica es menor de  $0,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  y posee una resistencia térmica ( $R$ ) superior a  $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

### Inercia Térmica

Es la capacidad que tienen los materiales de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. La inercia térmica incluye dos fenómenos, uno de ellos es la **amortiguación** en la variación de las temperaturas y otro es el **retardo o desfase temporal** de la temperatura interior respecto a la exterior. Este fenómeno se puede observar y medir mientras se alcanza el estado estacionario.

## Comportamiento Dinámico de un cerramiento

Cuando se somete un cerramiento a condiciones climáticas con oscilaciones de la temperatura exterior y de la radiación solar, la temperatura interior del recinto sigue un comportamiento que es reflejo de las condiciones exteriores, aunque modificadas por el propio muro.

Al estudiar la evolución temporal de la temperatura en la cara exterior del cerramiento se obtiene una onda que se caracteriza por una amplitud máxima. Esta onda térmica se transmite a través del muro y se va amortiguando en cuanto a amplitud, apareciendo además un desfase entre temperaturas máximas.

Si el aislamiento térmico es la capacidad de dejar pasar únicamente una parte del calor que incide en una cara de un cerramiento, la inercia térmica es la capacidad que tiene el mismo cerramiento de retrasar el paso de esta parte de calor. Por lo tanto, cuando mayor sea la inercia térmica de las paredes de un edificio, menor será el salto térmico que se producirá en el interior independientemente de la capacidad de aislamiento.

**Retraso o desfase:** Periodo de tiempo transcurrido desde que la parte de calor absorbida por la pared exterior llega a la cara interior.

El desfase se aprecia claramente en los procesos de calentamiento por radiación solar: cuando la cara exterior del muro se calienta, se inicia un proceso de calentamiento progresivo por conducción hasta la cara interior del muro. El tiempo que tarda la onda térmica en atravesar el cerramiento se denomina desfase de la onda térmica.

**Amortiguamiento o Impedancia térmica:** Diferencia entre la energía que incide en la cara expuesta a la radiación y la que llega a la cara interior. Hay que tener en cuenta que las condiciones del exterior pueden ser cíclicas, produciéndose cambios en la temperatura externa y en los aportes de calor por radiación. Esto provoca que parte del calor acumulado por el muro sea expulsado al exterior cuando baja la temperatura. A este fenómeno se le denomina atenuación de la onda térmica.

El amortiguamiento ( $\mu$ ) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\Delta T_{max, int}}{\Delta T_{max, ext}}$$

$\Delta T_{max}$ : Diferencia máxima de temperatura superficial interior/exterior de un cerramiento

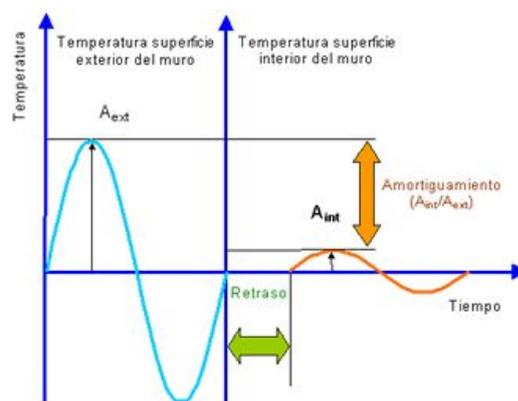


Figura 2. Amortiguamiento y desfase de un cerramiento (extraído de [www.climablock.com](http://www.climablock.com))

El efecto producido por la radiación solar a lo largo del día sobre los muros de una edificación se puede simular en la casa térmica mediante una lámpara colocada externamente delante de las paredes y sometiéndolas a periodos intermitentes de iluminación.

## Procedimiento experimental

- Antes de comenzar a calentar la casa térmica es conveniente medir simultáneamente la temperatura ambiente en una misma zona del laboratorio con todos los termopares que se vayan a utilizar en el experimento, con el fin de corregir la posible diferencia que pudiera aparecer en alguno de ellos. Utilizar una de las sondas como referencia. De esta manera todos están referidos a un origen común (calibración)
- Una vez alcanzado el estado estacionario en la casa térmica (práctica 1.1), elegir una primera pared para el ensayo y fijar una sonda en cada una de las caras colocándolas lo más centradas posibles. Utilizar otras dos sondas para controlar la temperatura del ambiente interior y exterior de la casa. Anotar todas las temperaturas iniciales.
- *Simulación de la Radiación Solar.* Colocar el foco de luz a unos 15 cm delante de la pared e iluminar de forma intermitente durante 15 minutos, dejando un intervalo de 5 minutos entre fases de iluminación. Anotar las temperaturas cada 10 segundos.
- Ensayar el mismo procedimiento experimental con el resto de las paredes.

## Cálculos y resultados

1. Para la primera pared ensayada representar en un gráfico las temperaturas del aire en el interior de la casa, así como las de las caras interna y externa de la pared en función del tiempo. Al analizar el gráfico ¿qué conclusiones puede deducir de la fase de calentamiento del recinto? Determinar la temperatura del recinto en el estado estacionario.
2. Representar gráficamente la evolución temporal de las temperaturas a ambos lados de la pared y del aire en el interior y exterior durante las fases de iluminación. Indicar claramente los períodos de iluminación. Hacer una gráfica para cada pared ensayada. Sacar conclusiones del comportamiento de cada cerramiento.
3. Frente a variaciones periódicas de la temperatura externa, el **amortiguamiento** de la onda térmica al atravesar un cerramiento será grande si la temperatura en el interior del recinto apenas se ve afectada. El **desfase temporal** se puede observar midiendo el tiempo que tardan en producirse los máximos de temperatura en sus caras interna y externa. De las gráficas anteriores, deducir el amortiguamiento y el desfase temporal de cada pared, presentando las conclusiones ordenadas en una tabla, de mayor a menor grado de amortiguamiento.
4. De todas las paredes estudiadas deducir cuál de ellas será el mejor aislante térmico.
5. Buscar en la bibliografía los valores del calor específico y densidad para todos los materiales utilizados y calcular sus respectivas capacidades de almacenamiento.