

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.-

En esta práctica se trata de caracterizar los diferentes parámetros asociados a la transmisión de calor a través de una pared plana multicapa. A partir de la medida de las temperaturas en los ambientes exterior e interior, y en la superficie de las diferentes capas que componen la pared, se debe determinar los coeficientes de convección y conductividad, correspondientes a cada material. La instalación permite el intercambio de los paneles que componen la pared multicapa, caracterizándose así diferentes materiales y su influencia sobre las temperaturas características si se mantiene constante el calor generado.

Asimismo permite el montaje de paneles de poliestireno expandido, madera, e incluso placas de diferentes tipos de cristal. La colocación de una única placa permite fácilmente estimar su conductividad térmica. Si se añaden placas adicionales, se pueden calcular coeficientes globales de transmisión de calor de una pared plana multicapa.

Simulando incluso el efecto de calentamiento debido a la radiación solar, mediante una lámpara incandescente colocada externamente. Midiendo las temperaturas en el recinto interior y exterior es posible estimar el efecto de cada tipo de cristal sobre la proporción de calor transmitido al interior de la instalación.

Cuando se pone en contacto una superficie plana vertical con un fluido a diferente temperatura (por ejemplo, el aire), el flujo de energía térmica o calor transmitido por unidad de tiempo, viene dado por la Ley de Newton de enfriamiento:

$$q = hA(T_s - T'')$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección o coeficiente de película, medido en $W/m^2 \cdot K$ en el sistema internacional. Además, A es el área de la pared, T_s es la temperatura de la superficie de la pared en contacto con el fluido y T'' es la temperatura del fluido en un punto alejado de la pared.

Por otro lado, un gradiente de temperatura dentro de una sustancia homogénea ocasiona un flujo de energía por conducción dentro del medio. En el caso concreto de una pared plana de un material homogéneo que posee una conductividad térmica constante y uniforme en cada cara de la pared plana, que se encuentre en estado estacionario, la transferencia de calor por conducción viene dada por:

donde k es la conductividad térmica del material y se mide en $W/m \cdot K$ en el sistema internacional, L es el espesor de la pared y $T_i - T_e$ es la diferencia de temperatura entre la cara de la pared más caliente y la cara más fría, de forma que $T_i > T_e$

Se puede definir, para cada mecanismo de transmisión de calor, una resistencia térmica por analogía eléctrica con la ley de Ohm, de tal forma que la resistencia a la transferencia de calor por conducción es:

y para la convección:

Así tenemos que el flujo de energía térmica q a través de una pared se realiza mediante una combinación de los mecanismos de conducción y convección. De esta forma, si h_i y h_e son los coeficientes de película sobre las caras interior y exterior respectivamente, k , la conductividad térmica del material que forma la pared, T_i y T_e las temperaturas en las superficies interna y externa de la pared, y T'',i y T'',e , son las temperaturas del fluido en un punto alejado de la cara interna y externa de la pared, se tiene que:

- Convección en la cara interior de la pared: $q_{c,i} = h_i A (T'',i - T_i)$

- Conducción a través de la pared: $q_{c,i} = A(T_i - T_e)$
- Convección en la cara externa de la pared: $q_{c,e} = h_e A(T_e - T''_e)$

Combinando estas ecuaciones, el flujo de calor transferido por unidad de tiempo a través de la pared, se puede expresar como:

$$q_x = UA(T''_i - T''_e)$$

donde U es el llamado coeficiente global transferencia de calor:

siendo **Req** la resistencia térmica equivalente del sistema que, en este caso es la suma de las resistencias térmicas, ya que se encuentran en serie:

En una casa cuyas paredes están formadas por materiales uniformes se puede determinar el flujo de energía térmica en un estado estacionario a partir de la potencia calorífica requerida. La casa térmica del experimento posee cuatro paredes laterales de distintos materiales con la ventaja de determinar las propiedades de los cuatro materiales.

Asimismo la conducción de calor en una pared plana compuesta por n capas, en régimen permanente, sin sumideros y sin fuentes de calor, tendremos lo siguiente:

$$t_{n+1} < t_n > t_1 > t_2 > t_3 > \dots > t_n > t_{n+1}$$

$$q = \frac{S(t_1 - t_2)}{\frac{e_1}{k_1}}$$

$$t_1 - t_2 = Q/S * e_1/k_1$$

$$q = \frac{S(t_2 - t_3)}{\frac{e_2}{k_2}}$$

$$t_2 - t_3 = Q/S * e_2/k_2$$

$$q = \frac{S(t_3 - t_4)}{\frac{e_3}{k_3}}$$

$$t_3 - t_4 = Q/S * e_3/k_3.$$

.

.

.

$$q = t_n - t_{n+1} = Q/S * e_n/k_n$$

$$t_1 - t_{n+1} = Q/S(e_1/k_1 + e_2/k_2 + \dots + e_n/k_n)$$

Quedando de la siguiente forma:

$$q = \frac{S(t_1 - t_{n+1})}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n}} = \frac{S(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i}} = \frac{S(t_1 - t_{n+1})}{R_{t_1} + R_{t_2} + \dots + R_{t_n}} = \frac{S(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n R_{t_i}}$$

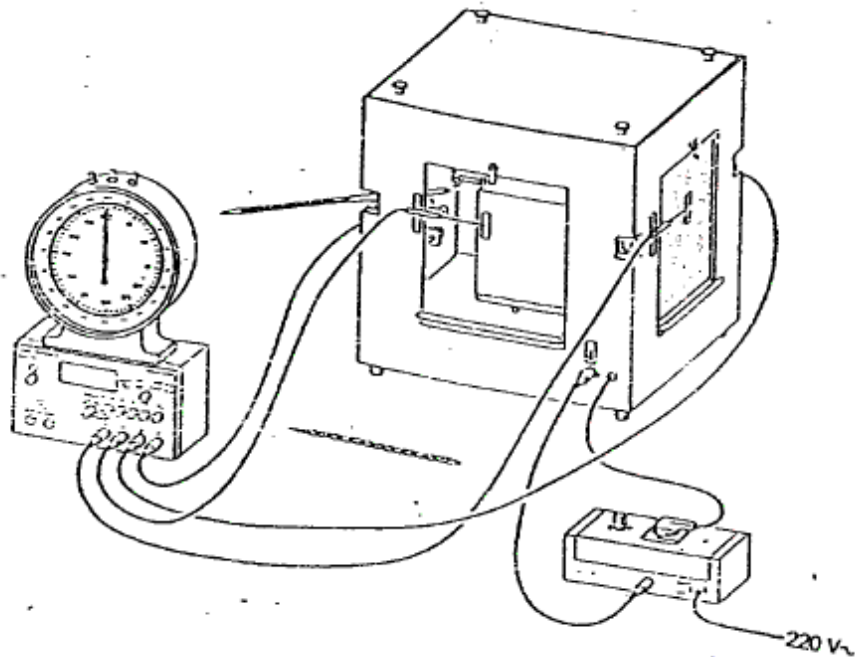
Si trazamos un eje de coordenadas con temperaturas y distancias tendremos:

OBJETIVOS.-

- Determinar el coeficiente de conductividad térmica para diferentes materiales.
- Calcular el coeficiente de transmisión (c.g.t.) para paredes planas simples y compuestas.
- Determinar los coeficientes de transmisión de calor aire interior-pared, para cada caso.
- Obtención de la distribución de temperaturas en paredes bañadas por fluidos.

MATERIAL.-

- Casa térmica.
- Regulador de temperatura.
- 5 sondas termopares de Ni-NiCr, con microcamisa.
- Medidor digital de temperaturas de entradas.
- Planchas de distintos materiales y espesores.
- Recipientes de vidrio con capacidad para 4500 ml.
- Cinta adhesiva.
- Flexómetro.



PROCEDIMIENTO.-

El desarrollo de la práctica se realizará de la siguiente manera. La casa térmica tendrá que haber sido conectada 2 horas antes de realizar la práctica, para que los materiales que la componen así como los que están en las ventanas estén calientes, de tal manera que el flujo de calor saliente se hace en régimen estacionario.

Antes de realizar la práctica, tendremos que calibrar las sondas, pues aunque hayan sido fabricadas de igual modo, a mismos ambientes proporcionan lecturas ligeramente diferentes.

Para calibrar, pondremos aproximadamente unos 2000 ml de agua fría en un recipiente de vidrio, introduciremos las 5 ondas de las que disponemos en el agua y anotaremos las temperaturas correspondientes a cada sonda. Tras ello, repetiremos el proceso con agua caliente y tomaremos los datos que procedan. Éstos datos y los anteriores permitirán construir una recta de calibrado en una hoja de papel milimetrado, siempre y cuando tomemos como referencia una sonda.

Las gráficas que obtengamos las utilizaremos para corregir las temperaturas leídas durante el desarrollo de la práctica, con todas las sondas menos la que tomamos como referencia.

- Determinación de temperaturas con paredes simples:

Introduciremos con cuidado de no doblar, dos sondas por los dos orificios laterales, y tras ellos se destapa la casa térmica, fijando con cinta adhesiva las bases de las sondas y los extremos de las misma en la parte central interior de las paredes con las que queramos trabajar (cristal y doble cristal), después taparemos la casa térmica y tras ello, esperaremos a tomar los datos tras 15 minutos, ya que es el tiempo considerado en el que se recupera el calor perdido durante la apertura. Mientras colocaremos otras dos sondas de igual forma por la cara externa de las dos paredes elegidas, procurando colocarlas enfrente de la sonda interior. La quinta sonda se introduce por otro de los orificios laterales, evitando que el extremo de la misma toque la carcasa de color negro situada en el centro de la casa térmica. Tras los 15 minutos mediremos todas la temperaturas, procurando que sea en el mismo instante, asimismo mediremos la temperatura ambiente exterior un poco antes o después quitando la quinta sonda del interior y colocándola en el exterior.

Este procedimiento anterior se repite sobre las otras dos paredes de las que consta la casa térmica , esperando de nuevo 15 minutos, desde que tapamos hasta que tomamos las medidas de las temperaturas.

- Determinación de temperaturas en las paredes compuestas:

Se trata de formar dos paredes compuestas, y para ello, adosaremos la pared de material aislante a la de cristal sencillo, por su cara interior, formando una pared compuesta cristal sencillo-aislante térmico. Seguidamente formaremos la otra pared compuesta, adosando la pared de madera laminada al cristal doble, formando así una pared compuesta cristal doble-madera. En las ventanas que quedan sin tapar se colocará unas planchas de madera, para evitar la salida de calor por esas ventanas, en la medida de lo posible. Tomaremos las temperaturas ambientales y sobre las paredes compuestas de la misma forma que hicimos para determinar las temperaturas de las paredes simples.

En todas las determinaciones de temperaturas, debemos de retirar las sondas con mucha precaución, despegando primero la cinta del extremo de la sonda y luego la base.

RESULTADOS.-

Coeficiente de transmisión superficial exterior de la pared aire es de $7 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, para todas las paredes .
Teniendo en consideración las ecuaciones de transmisión de calor por conducción, convección y transmisión

compleja, determinaremos lo siguiente:

- Coeficiente de conductividad térmica para cada material (4 resultados)
- Coeficientes globales de transmisión para las paredes simples y para las compuestas (6 resultados)
- Coeficiente de transmisión superficial aire interior–pared (6 resultados)
- Temperaturas intermedias en las paredes compuestas (2 resultados)
- Resistencias térmicas de cada pared (6 resultados)
- Representación gráfica de la distribución de temperaturas en las paredes simples y en las compuestas (6 gráficas)

CALIBRADO DE LAS SONDAS.–

	T^a en agua fría	T^a en agua caliente
1	16.9	53.6
2	17.7	53.5
3	17.0	53.4
4	16.9	51.5
5	17.0	52.5

- **TEMPERATURAS EN PAREDES SIMPLES (°C).–**

Cristal doble: sonda 1 t^a interna: 50.0

sonda 2 t^a externa: 34.6

Cristal simple: sonda 3 t^a interna: 41.4

sonda 4 t^a externa: 38.4

Sonda 5:

t^a en el interior de la casa térmica: 56.6

t^a en el exterior de la casa térmica: 21.7

Poliestireno expandido: sonda 1 t^a interna: 55.2

sonda 2 t^a externa: 27.4

Madera: sonda 3 t^a interna: 44.2

sonda 4 t^a externa: 34.6

Sonda 5 :

t^a en el interior de la casa térmica: 56.8

t^a en el exterior de la casa térmica: 22.4

• TEMPERATURAS EN PAREDES COMPUESTAS (°C).–

Cristal doble

Madera: sonda 1 t^a interna: 46.8

sonda 2 t^a externa: 30.7

Cristal simple

Poliestireno expandido: sonda 3 t^a interna: 54.9

sonda 4 t^a externa: 28.1

Sonda 5:

t^a en el interior de la casa térmica: 56.7

t^a en el exterior de la casa térmica: 22.0

Corrección de temperaturas:

• TEMPERATURAS EN PAREDES SIMPLES (°C).–

Cristal doble: sonda 1 t^a interna: 48

sonda 2 t^a externa: 33.23

Cristal simple: sonda 3 t^a interna: 40.08

sonda 4 t^a externa: 38.4

Sonda 5:

t^a en el interior de la casa térmica: 55.5

t^a en el exterior de la casa térmica: 21.48

Poliestireno expandido: sonda 1 t^a interna: 52.88

sonda 2 t^a externa: 26.075

Madera: sonda 3 t^a interna: 42.75

sonda 4 t^a externa: 34.6

Sonda 5 :

t^a en el interior de la casa térmica: 55.89

t^a en el exterior de la casa térmica: 22.16

• TEMPERATURAS EN PAREDES COMPUESTAS (°C).–

Cristal doble

Madera: sonda 1 t^a interna: 44.98

sonda 2 t^a externa: 29.46

Cristal simple

Poliestireno expandido: sonda 3 t^a interna: 53.1

sonda 4 t^a externa: 28.1

Sonda 5:

t^a en el interior de la casa térmica: 55.6

t^a en el exterior de la casa térmica: 21.77

ESPESORES:

Cristal simple: 0.5 cm Cristal doble: 1.8 cm

Madera: 1 cm Poliestireno expandido: 4.6 cm

Resultados obtenidos.–

A)Cálculo del coeficiente de conductividad térmica para cada material:

(w/m2) (w/m°K)

Cristal simple:

Cristal doble:

Poliestireno expandido:

Madera:

B) Coeficiente de transmisión superficial interior–pared:

(w/m2°K)

Cristal simple:

Cristal doble:

Poliestireno expandido:

Madera:

Cristal doble y madera:

Poliestireno expandido y cristal simple:

C) Coeficientes globales de transmisión para las paredes simples y compuestas:

Pared simple Pared compuesta

(w/°Km2) (w/°Km2)

Cristal simple:

Cristal doble:

Poliestireno expandido:

Madera:

Cristal doble y madera:

Cristal simple y poliestireno expandido:

D) Resistencias térmicas de cada pared:

Cristal simple (m2k/w)

Cristal doble (m2k/w)

Poliestireno expandido (m2k/w)

Madera (m2k/w)

Madera y cristal doble

(m2k/w)

Poliestireno expandido y cristal simple:

$$\frac{e_n}{k_n} = \frac{0.5 \cdot 10^{-2}}{0.3875} + \frac{4.6 \cdot 10^{-2}}{0.369} = 0.1376$$

(m2k/w)

E) Temperaturas intermedias en las paredes compuestas (°K):

$$T_{\text{int ermedia}} = T_{\text{cara int erna}} - \frac{Q}{S} \frac{e_n}{k_n}$$

Madera y cristal doble

$$T_{\text{int media}} = 317.28 - 144.13 \cdot 0.0796 = 305.81$$

°K

Poliestireno expandido y cristal simple

$$T_{\text{int media}} = 326.1 - 215.04 \cdot 0.0129 = 323.33$$

°K

F) Gráficas:

CUESTIONES.-

- ¿Qué ocurriría si la casa térmica no se hubiese conectado dos horas antes?

No podríamos considerar el estado estacionario. La casa térmica se conecta dos horas antes para que los materiales que la forman y los que están en las ventanas, se hallen calientes y así el flujo de calor será estacionario.

- Cuanto mayor es la resistencia térmica de una pared, el flujo de calor que le atraviesa es menor.

$$q = T_{\text{total}} / R_{\text{térmicos}}$$

Cuanto mayor es la resistencia más difícil es la transmisión de calor.

- La distribución de temperaturas en el interior de una pared plana en una línea:

a. recta b. curva c. parabólica

d. aleatoria e. circular

La distribución de temperaturas en el interior de una pared plana es una línea recta debido a las condiciones de régimen estacionario.

- Indicar las unidades en el sistema internacional así como en el sistema técnico de las siguientes magnitudes:

FLUJO DE CALOR

$$\text{S.I. } w \quad \frac{J}{S}$$

$$\text{S.T. } \text{kcal/h}$$

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

$$\text{S.I. } w/m^{\circ}K \quad \text{S.T. } \text{kcal/hm}^{\circ}C$$

RESISTENCIA TÉRMICA

$$\text{S.I. } m^2K/w \quad \text{S.T. } m^2h^{\circ}C/kcal$$

COEFICIENTE DE CONVECCIÓN

S.I. $\text{W/m}^2\text{K}$ S.T. $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR

S.I. $\text{W/m}^2\text{K}$ S.T. $\text{kcal/h}^\circ\text{Cm}^2$

$$q = \frac{k}{L}(T_i - T_e)$$

$$R_k = \frac{l}{hA}$$

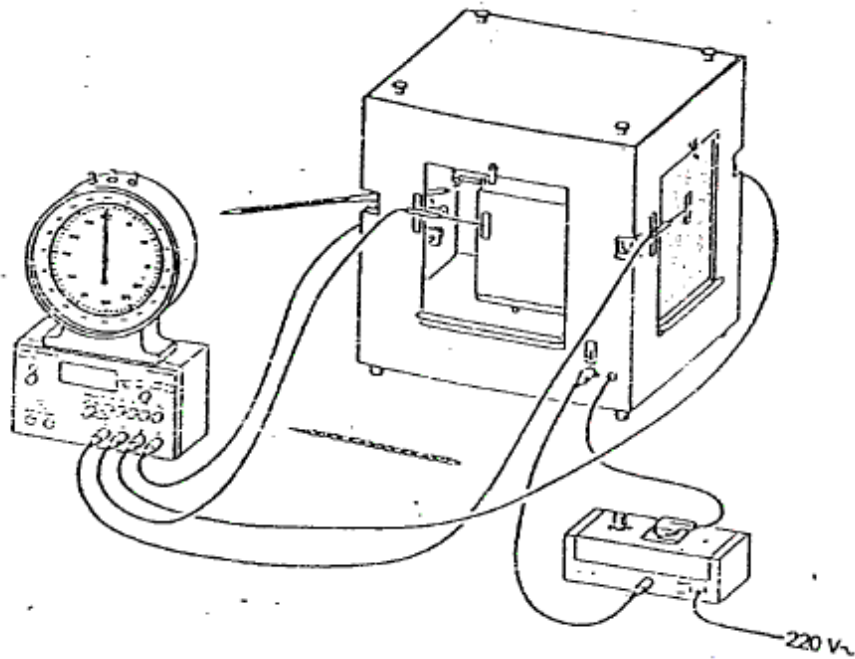


Fig.1.Casa térmica

$$u_n = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} - \frac{\text{espesor}}{k_n} - \frac{1}{h_{en}}}$$

K1

t1

e1

K2

t2

e2

K3

t3

e3

Kn

tn

en

tn+1

El flujo de calor va a ser el mismo para todas las capas $q_1=q_2=...=q_{n+1}$

+

t1

k1

t2

e1

kn

en tn+1

k2

e2

espesores

Q

$$\frac{Q}{S} = 7(325 \text{ .88} - 295 \text{ .16}) = 215 \text{ .04}$$

t^a

t3

tn

$$U_n = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{espesor}{k_n} + \frac{1}{h_{ext}}}$$