



DIEGO PABLO RUIZ PADILLO

Profesor del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada.

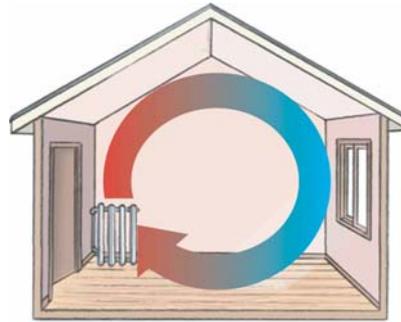
Coordinador del Laboratorio de Acústica y Física Ambiental de la Universidad de Granada.

Tel: 958 244161 e-mail: dpruiz@ugr.es



CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

TRANSMISIÓN DE CALOR



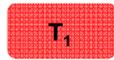
Propagación del calor

- 9.1 Introducción. Formas de propagación del calor
- 9.2 Conducción. Ley de Fourier
 - 9.2.1 Pared plana simple
 - 9.2.2 Pared plana compuesta
 - 9.2.3 Pared cilíndrica
 - 9.2.4 Inercia térmica
- 9.3 Convección. Ley del enfriamiento de Newton
- 9.4 Radiación
- 9.5 Arquitectura bioclimática
- 9.6 Bibliografía

9.1 Introducción. Formas de propagación del calor

Calor: energía transferida entre dos partes de un cuerpo o entre dos cuerpos como consecuencia de la diferencia de temperatura entre ellos

Contacto térmico



$T_1 > T_2$ ↓ Transferencia de calor



Equilibrio térmico



Fenómeno direccional:
desde los cuerpos a mayor T hacia los cuerpos a menor T

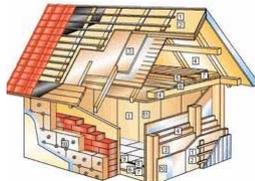
Efecto:
Anulación
"espontánea" del ΔT

En la práctica: { ¿cuánto calor?
¿con qué rapidez? } se transfiere entre un sistema y sus alrededores o entre dos partes de un sistema

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



Aplicaciones en Arquitectura



Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



Formas de propagación del calor

CONDUCCIÓN

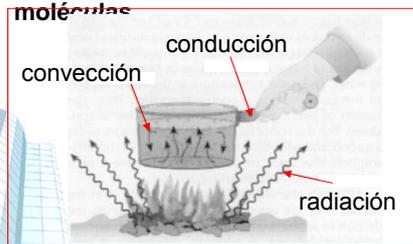
Transf. de energía térmica a través de un medio material mediante **interacciones o choques de los átomos o moléculas que lo forman, sin movimiento neto de dichas**

CONVECCIÓN

Transf. de energía térmica **por movimiento de materia**. Es el mecanismo de transmisión característico de los fluidos

RADIACIÓN

Transf. de energía térmica a través del espacio **por medio de ondas electromagnéticas**. No necesita de ningún medio material para propagarse



Velocidad

- Cond.: $v_{\text{fonón}} \approx 10^4 \text{ m/s}$
- Conv.: $v_{\text{fluido}} \approx 1 \text{ m/s}$
- Rad.: $v_{\text{luz}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

9.2 Conducción. Ley de Fourier

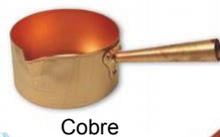
- Transferencia de energía térmica a través de un medio material **sin movimiento macroscópico de materia**.
- Microscópicamente se explica por **colisiones entre átomos o moléculas** que intercambian **energía cinética** ($E_c = k_B T/2$)

Fluidos:

Se dan simultáneamente conducción y convección (variaciones térmicas producen variaciones de la densidad)

Sólidos

Metales: efecto adicional de electrones libres en la red cristalina



Cobre



Arcilla



Goma



Aerogel

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

$T_1 > T_2$
Foco caliente T_1 Pared adiabática **Foco frío** T_2
 ΔQ
 L
 S: área de la sección transversal de la barra

•La temperatura varía con la posición y el tiempo $T(x, t)$:

Estado térmico estacionario:
 $T(x)$

El calor que fluye por unidad de tiempo a través de cualquier sección de la barra es **constante**

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \text{cte}$$

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

Intensidad de corriente térmica o flujo de calor

$$J_q \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Unidades:

- SI.: $\frac{J}{s} = W$
- CGS: $\frac{\text{erg}}{s} = \frac{\text{din cm}}{s} = 10^{-7} \frac{J}{s}$
- Otros: $\frac{\text{cal}}{h}, \frac{\text{kcal}}{h}$

Experimentalmente, se demuestra que la intensidad de corriente térmica a través de la sección transversal de la barra es **directamente proporcional** al área de dicha sección y al gradiente de temperaturas a lo largo de la barra:

Ley de Fourier unidimensional

$$J_q = -kS \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

S: área de la sección transversal
 k: coeficiente de conductividad térmica
 $\frac{\Delta T}{\Delta x}$: gradiente de temperatura

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

- Ley de Fourier unidimensional: $J_q = -kS \frac{\Delta T}{\Delta x}$

- Forma diferencial:

$$J_q \equiv \frac{dQ}{dt} = -kS \frac{dT}{dx}$$

- Forma vectorial
(medios continuos e isótopos):

$$\vec{J}_q = -kS \nabla T$$

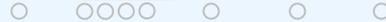
- Ley de Ohm
- Ley de la viscosidad de Newton
- Ley de difusión de Fick

- Forma tensorial
(medios anisótopos):

$$\vec{J}_q = -\vec{S}T(k) \cdot \nabla T$$

- Cristales
- Madera
- ...

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



k: Coeficiente de conductividad térmica

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra con caras plano-paralelas de espesor la unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado.

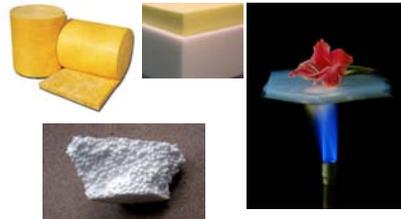
Unidades { SI: $\frac{W}{mK}$
Otros: $\frac{kcal/h}{m^{\circ}C}$

Conductividad calorífica k ($cal \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$),
(a 20°C y 1 atm, salvo para el hierro y el vapor de agua)

Sustancia	k	Sustancia	k
Metales			
acero	0.12	hierro muy puro	0.18
acero al cromo-níquel	0.034	latón	0.26
aluminio	0.49	mercurio	0.03
bronce	0.10	plata	0.97-1.006
cobre	0.918	plomo	0.083
hierro de fundición	0.14		
Otros			
agua	0.0014	ladrillo refractario	0.004
agua (hielo)	0.0053	ladrillo rojo	0.0015
algodón	0.0006	lana de vidrio (0.15 g/cm ³)	0.000084
asfalto	0.0002	madera	0.0003-0.001
caucho	0.0004	mineral	0.08
fieltro	0.0001	muestras disoluciones saturadas	0.002
grafito	0.315	muestras líquidos orgánicos	0.0004
hormigón	0.002	vidrio	0.0026
ladrillo aislante	0.00035	vidrio de cuarzo	0.00323
Gases			
agua (vapor)	0.000058	helio	0.00034
aire	0.000057	hidrógeno	0.00033
argón	0.000039	oxígeno	0.000056

Depende de:

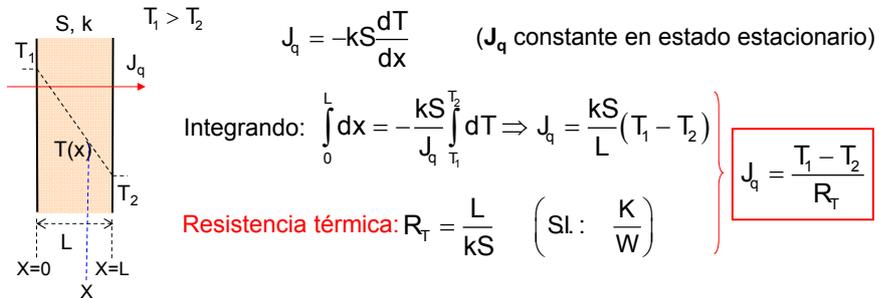
- el material (estructura, densidad, pureza, porosidad...)
- las condiciones externas (presión, temperatura...)



Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



9.2.1 Pared plana simple



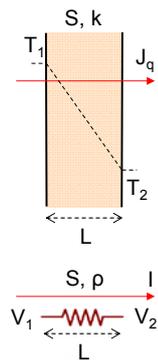
¿Cuál es la distribución de T dentro de la pared?

$\int_0^x dx = -\frac{kS}{J_q} \int_{T_1}^{T(x)} dT \Rightarrow T(x) = -\frac{J_q}{kS} x + T_1$

Distribución **lineal** de temperaturas en el interior de un muro

Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

Analogía termo-eléctrica



Ley de Fourier

$$\Delta T = J_q R_T$$

Diferencia de temperaturas

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

Intensidad de corriente térmica

$$J_q$$

Resistencia térmica

$$R_T \equiv \frac{L}{kS}$$

Ley de Ohm

$$\Delta V = IR$$

Diferencia de potencial

$$\Delta V = V_1 - V_2$$

Intensidad de corriente eléctrica

$$I$$

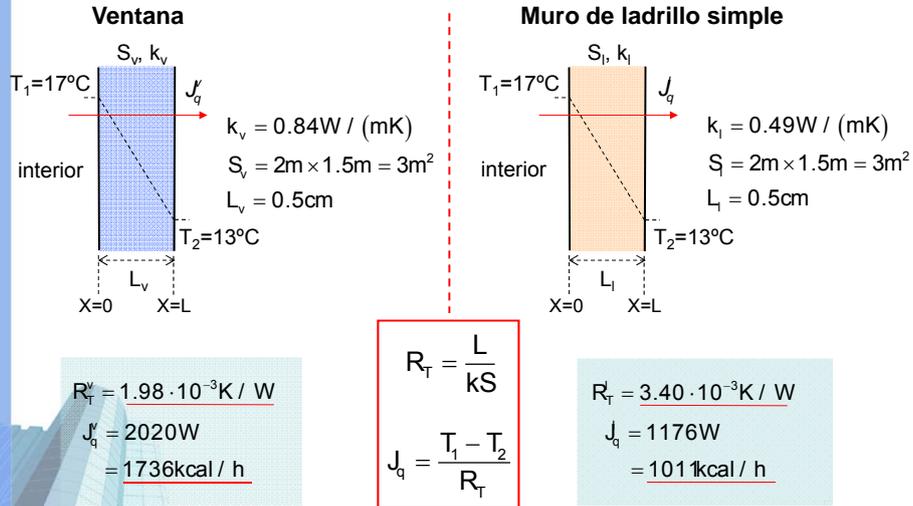
Resistencia eléctrica

$$R \equiv \rho \frac{L}{S}$$

Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

Ejemplo

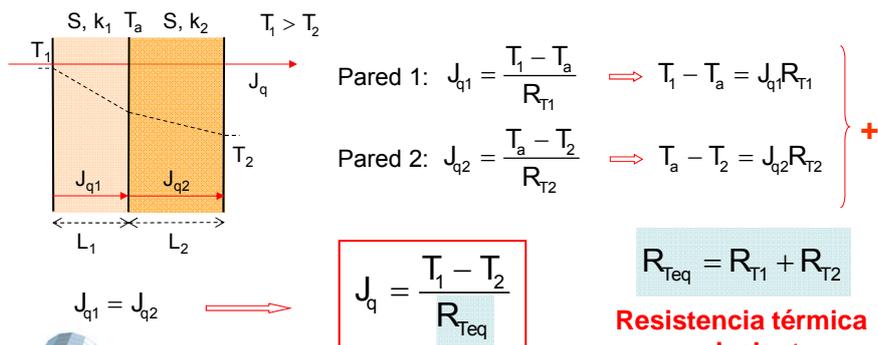
Estado estacionario



Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

9.2.2 Pared plana compuesta

Materiales en serie



Resistencia térmica equivalente

Para N materiales en serie:

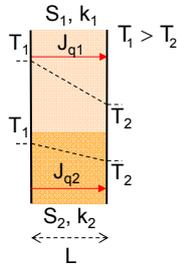
$$R_{req} = \sum_{1}^N R_{ri}$$

¡Analogía eléctrica!

Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

9.2.2 Pared plana compuesta

Materiales en paralelo



$$\text{Pared 1: } J_{q1} = \frac{T_1 - T_2}{R_{T1}}$$

$$\text{Pared 2: } J_{q2} = \frac{T_1 - T_2}{R_{T2}}$$

$$J_q = J_{q1} + J_{q2}$$

$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_{Teq}}$$

$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_{Teq}}$$

$$\frac{1}{R_{Teq}} = \frac{1}{R_{T1}} + \frac{1}{R_{T2}}$$

Resistencia térmica equivalente

Para N materiales en paralelo:

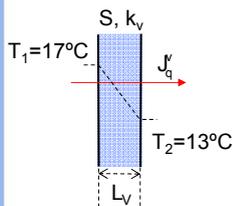
$$\frac{1}{R_{Teq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{Ti}}$$

¡Analogía eléctrica!

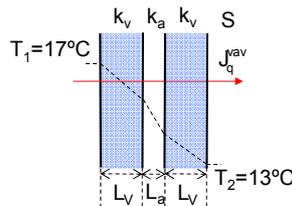
Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

Ejemplo

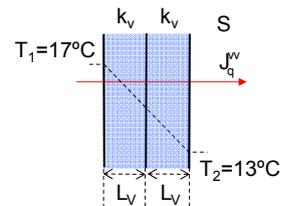
Ventana simple



Ventana doble con capa de aire



Ventana doble



Vidrio: $k_v = 0.84 \text{ W / (mK)}$ $S = 2\text{m} \times 1.5\text{m} = 3\text{m}^2$ $L_v = 0.5\text{cm}$

Aire: $k_a = 0.024 \text{ W / (mK)}$ $S = 2\text{m} \times 1.5\text{m} = 3\text{m}^2$ $L_a = 0.15\text{cm}$

$$R_{T1}^v = 1.98 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$R_{Teq}^{av} = (2 \times 1.98 + 20.8) 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$= 24.76 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$R_{Teq}^{av} = 2R_{T1}^v$$

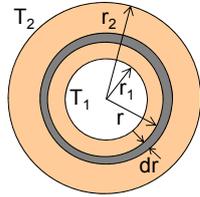
$$= 3.96 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$\frac{R_{Teq}^v}{R_{Teq}^{av}} = 0.16$$

¡Las dos capas de vidrio representan sólo el 16% de la resistencia térmica de la ventana!

Introducción **Conducción** Convección Radiación Bioclimát

9.2.3 Pared cilíndrica



$$J_q = -k2\pi rL \frac{dT}{dr} \quad \text{Ley de Fourier unidimensional}$$

Condiciones estacionarias: $J_q \neq J_q(r)$

Integrando:

$$J_q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -2\pi kL \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$J_q = 2\pi kL \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \quad R_T = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL}$$

Intensidad de corriente térmica

Temperatura a una distancia r:

$$T_1 - T(r) = \frac{J_q}{2\pi kL} \ln(r/r_1)$$

Sustituyendo el valor de J_q

$$T(r) = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)}$$

Distribución de temperaturas

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



9.2.4 Inercia térmica

Antes de alcanzar el estado ESTACIONARIO...

Estado TRANSITORIO:

1. La energía térmica empieza a fluir
2. Los distintos materiales de la pared van absorbiendo calor (no lo transmiten) hasta llegar a una temperatura de equilibrio
3. La energía absorbida al principio depende de los materiales que componen la pared.



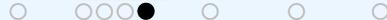
Casa de adobe

Inercia térmica: Inercia de una pared a la transmisión o absorción de calor

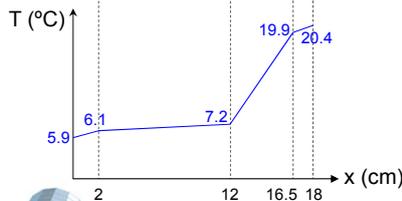
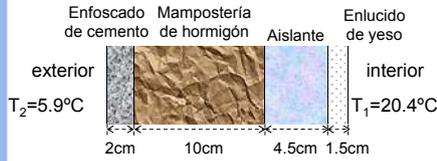
Flujo de energía térmica
Depende de los materiales (naturaleza y geometría)

Inercia térmica
Se puede modificar alterando el orden de colocación de los materiales

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát



Ejemplo



$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{Req}}}$$

Cálculo de la Inercia térmica

$$Q_{\text{abs}} = mc_e \Delta T$$

Para cada material: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = \rho L c_e T_m$

ρ : densidad c_e : calor específico

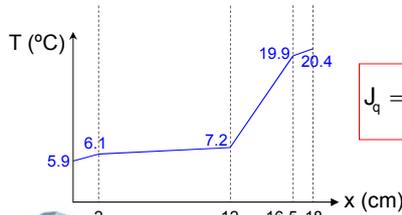
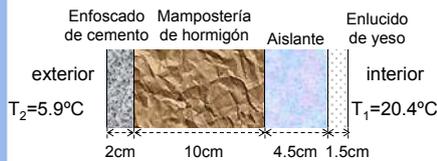
L : espesor T_m : Temperatura media en el material

- Enfoscado de cemento: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 43.3 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$
- Enfoscado de cemento: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 320 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$
- Aislante: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 42.6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$
- Enlucido de yeso: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 90.5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$

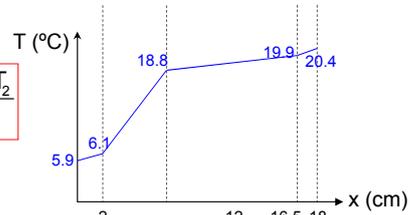
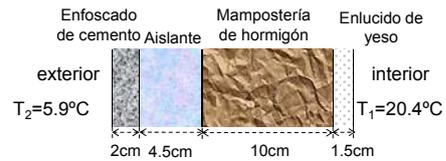
Calor absorbido por toda la pared: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 496 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

Ejemplo



$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{Req}}}$$



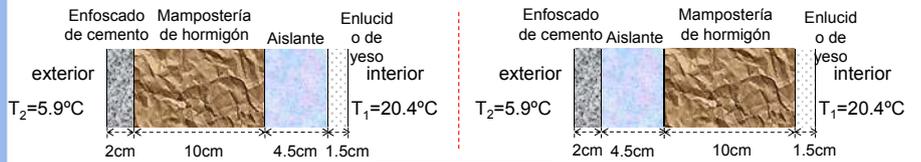
Inercia térmica

Calor absorbido por toda la pared: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 496 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$

Calor absorbido por toda la pared: $\frac{Q_{\text{abs}}}{S} = 794 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

Ejemplo



Inercia térmica

Calor absorbido por toda la pared: $\frac{Q_{abs}}{S} = 496 \frac{kcal}{m^2}$

Calor absorbido por toda la pared: $\frac{Q_{abs}}{S} = 794 \frac{kcal}{m^2}$

La pared con el aislante hacia el exterior tiene mayor inercia térmica

Control de la inercia térmica variando la posición del aislante

- Aislante: cambio más brusco en la temperatura
- Materiales a la derecha del aislante tienen temperaturas muy superiores que los materiales a la izquierda
- Cuanto mayor sea el número de capas a la derecha del aislante, mayor será el calor acumulado por la pared, y mayor la inercia térmica de la misma

Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

9.3 Convección. Ley del enfriamiento de Newton

- Transferencia de energía térmica mediante el **movimiento macroscópico del material** existente en las zonas de **mayor temperatura** hacia las zonas de **menor temperatura** y viceversa. Este mecanismo se presenta exclusivamente en los fluidos.

Natural

El movimiento se produce por el efecto combinado de la fuerza de la gravedad y de las diferencias de densidad originadas por las distintas temperaturas



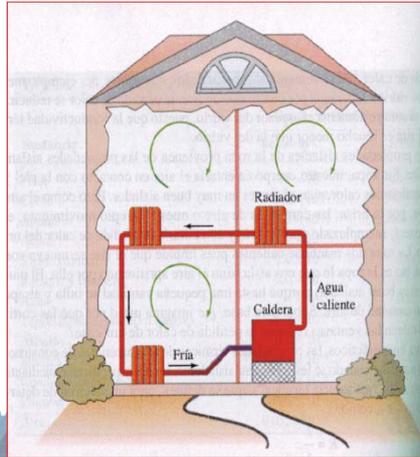
Forzada

El movimiento se provoca mediante una causa externa, como por ejemplo un ventilador, un agitador, una bomba...



Introducción Conducción Convección Radiación Bioclimát

Aplicaciones en la edificación: sistema de calefacción



Agua en caldera: $T \uparrow, \rho \downarrow$,

Agua asciende por **convección**

Agua calienta los radiadores

Conducción a través de los radiadores

Aire caliente próximo a los radiadores

Convección en el aire de la habitación

Agua se va enfriando y regresa a la caldera ($T \downarrow, \rho \uparrow$)

A veces, se utilizan bombas para facilitar la circulación de agua

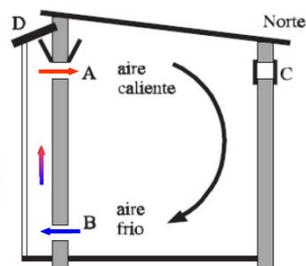
Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

Aplicaciones en la edificación: casas solares

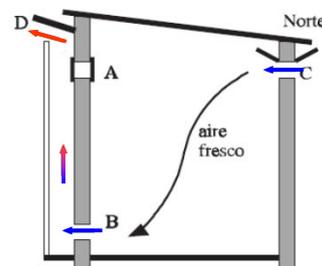
Muro Trombe (Patente (1881): Edward Morse. Utilización (1964): Félix Trombe)

Capta la energía solar por medio de una doble cobertura selectiva (vidrios dobles, por ejemplo) que recubre un muro grueso de cemento pintado con tonos oscuros y construido con materiales de gran inercia térmica (piedra, hormigón, adobe o agua)

Calefacción solar



Ventilación solar



Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

La convección: un problema complejo

El calor ganado o perdido por una superficie sólida a una cierta temperatura, en contacto con un fluido a una temperatura distinta, depende de los siguientes factores:

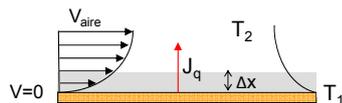
- Diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie
- Velocidad de desplazamiento del fluido (régimen laminar o turbulento)
- Densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica del fluido
- Naturaleza, forma, dimensiones y orientación de la superficie
- Temperatura y presión del fluido

¡Dinámica de fluidos con matemática complicada!

Convección en un fluido en contacto con una superficie sólida

Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

Convección en un fluido en contacto con una superficie sólida



Placa plana de temperatura superficial T_1 que se enfría en contacto con el aire que fluye paralelamente a la placa

Capa límite (Δx): No perfectamente definida. En primera aproximación se considera la distancia desde la superficie a la zona donde el fluido tenga una temperatura T_2

Velocidad: Se anula en la superficie de la placa debido a los efectos de viscosidad del fluido (Dinámica de fluidos). A distancias grandes de la superficie, $v = \text{cte.}$ e independiente de la superficie

El proceso de transferencia de calor se establece a través de la **capa límite** por **conducción**

Ley de Fourier:

$$J_q = -kS \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right)_{x=0} \text{ si se define } h \equiv \frac{k}{\Delta x}$$

$$J_q = hS(T_1 - T_2)$$

Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

$$J_q = hS\Delta T$$

Ley del enfriamiento de Newton

J_q : intensidad de corriente térmica convectiva
 S : área de la superficie emisiva
 ΔT : diferencia de temperatura entre la superficie emisiva y la masa principal de fluido
h: coeficiente de convección

Unidades de h { Sl.: $\frac{W}{m^2K}$ Otros: $\frac{cal}{cm^2s^{\circ}C}$

Analogía termo-eléctrica

Resistencia térmica en un proceso convectivo

$$R_T = \frac{1}{hS}$$

Unidades de R_T { Sl.: $\frac{K}{W}$ Otros: $\frac{s^{\circ}C}{cal}$

$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_T}$$

Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

Valores de h

Convección natural

Dispositivo	h^1 (cal cm ⁻² s ⁻¹ °C ⁻¹)
Lámina horizontal, mirando hacia arriba	$0.595 \times 10^{-4} (\Delta T)^{1/4}$
Lámina horizontal, mirando hacia abajo	$0.314 \times 10^{-4} (\Delta T)^{1/4}$
Lámina vertical	$0.424 \times 10^{-4} (\Delta T)^{1/4}$
Tubo horizontal o vertical (diámetro, D)	$1.000 \times 10^{-4} (\Delta T/D)^{1/4}$

¹Coefficiente de convección libre en el aire a la presión atmosférica normal

Convección forzada

Métodos de semejanza

Número de Prandtl: $N_{PR} = \frac{v}{\alpha}$

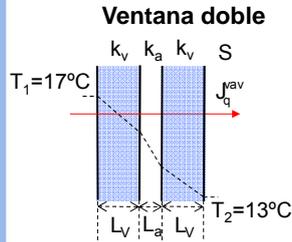
v : viscosidad cinemática del fluido
 α : difusividad térmica

Representa las líneas de flujo de energía constante en el campo térmico

Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

Ejemplo

(J_q constante en estado estacionario)



$$R_{\text{Teq}} = \frac{2L_v}{k_v S} + \frac{L_a}{k_a S}$$

$$R_{\text{Teq}} = (2 \times 1.98 + 20.83) \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

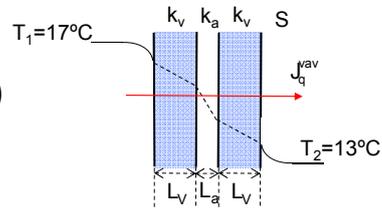
$$= 24.76 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$\frac{2R_T^v}{R_{\text{Teq}}} = 0.16$$

¡Las dos capas de vidrio representan un pequeño porcentaje de la resistencia térmica de la ventana!

$$J_q = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{Teq}}}$$

Ventana doble con capa límite



$$R_{\text{Teq}} = \frac{1}{h_i S} + \frac{2L_v}{k_v S} + \frac{L_a}{k_a S} + \frac{1}{h_e S}$$

$$R_{\text{Teq}} = (6.67 + 3.97 + 20.83 + 6.67) \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$= 38.14 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$\frac{2R_T^v}{R_{\text{Teq}}} = 0.11$$

Introducción Conducción **Convección** Radiación Bioclimát

9.4 Radiación

• Transferencia de energía mediante **ondas electromagnéticas**. La **radiación térmica** es la energía electromagnética emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura. **No** necesita de ningún **medio material** para propagarse.

Un cuerpo $\left\{ \begin{array}{l} \text{emite energía electromagnética hacia los cuerpos que le rodean} \\ \text{absorbe la energía electromagnética emitida por aquéllos} \end{array} \right.$

se convierte en **calor** → aumenta la **temperatura** del cuerpo

Emisión/Absorción de radiación \neq Emisión/Absorción de calor



Radiación solar



Radiación incandescente



Radiación UV



Radiación IR

Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

Ley de Stefan-Boltzmann

• La **energía radiada** por un cuerpo por unidad de tiempo es proporcional al área y a la cuarta potencia de la temperatura.

Empíricamente (1879): J. Stefan

Teóricamente (1884): L. Boltzmann

$$J_q^e = \frac{dQ^e}{dt} = e\sigma ST^4$$

Ley de Stefan-Boltzmann

e: emisividad del cuerpo (característico del material): $0 \leq e \leq 1$
 σ : constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W / (m}^2\text{K}^4)$
 S: área del cuerpo
 T: temperatura absoluta de la superficie del cuerpo

Cuando sobre un cuerpo **incide radiación** parte se refleja y parte se absorbe, cumpliéndose:

$$J_q^a = \frac{dQ^a}{dt} = a\sigma ST^4$$

a: coeficiente de absorción del cuerpo (característico del material): $0 \leq a \leq 1$
 T: temperatura absoluta del foco emisor

Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

Balance energético

Supongamos un cuerpo en el que la radiación es el único mecanismo de transferencia de calor

$J_q^e > J_q^a$: el **cuerpo se enfría** y el entorno se calienta

$J_q^e < J_q^a$: el **cuerpo se calienta** y el entorno se enfría

Energía neta radiada por un objeto: $J_q^{\text{eta}} = J_q^e - J_q^a = \sigma S [eT^4 - aT_0^4]$

T_0 : temperatura del medio

En el **equilibrio térmico**:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = T_0 \\ \Delta Q = 0 \Rightarrow J_q^{\text{eta}} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma ST_0^4 [e - a] \Rightarrow e = a$$

$$J_q^{\text{eta}} = e\sigma S [T^4 - T_0^4]$$

Energía neta por unidad de tiempo transferida mediante radiación **hacia o desde** un cuerpo

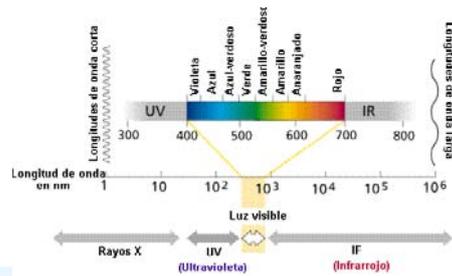
T_0 : temperatura del cuerpo cuando el flujo neto es **hacia** el cuerpo

T: temperatura del cuerpo cuando el flujo neto es **desde** el cuerpo

Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

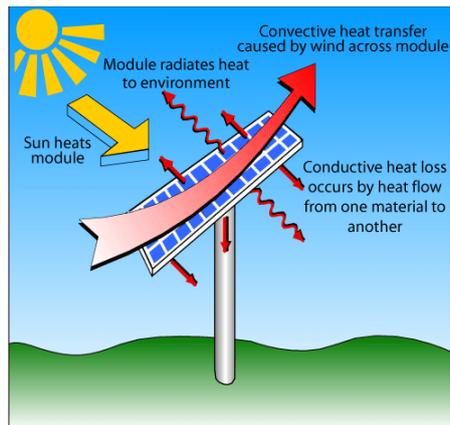
Clasificación de superficies radiantes

- Superficies negras:** (e=1)
 - son las más absorbentes (por eso son negras, no reflejan luz)
 - son las más emisoras de radiación térmica
- Superficies brillantes:** (e~0)
 - son poco absorbentes (reflejan casi toda la luz)
 - son poco emisoras de radiación térmica
- Superficies grises:** (e~1)
 - Pierden parte de la energía que reciben
 - Aproximación para superficies reales



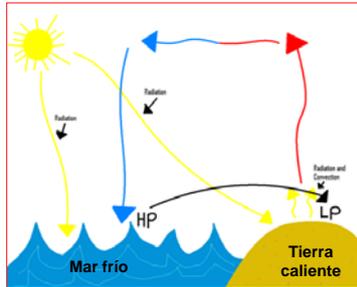
Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

Ejemplos: Las placas solares



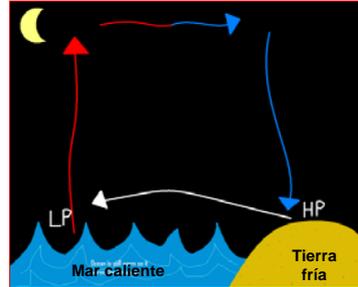
Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

Ejemplo: Las brisas marinas



- La tierra se calienta más rápido que el mar
- Aire sobre la tierra se calienta, se vuelve menos denso y se eleva.
- Aire más frío y denso sobre el mar se mueve hacia la tierra y ocupa el espacio dejado por el aire que ha ascendido

BRISA HACIA EL INTERIOR



- La tierra se enfría más rápido que el mar
- En poco tiempo el mar está más caliente
- Aire sobre agua se calienta, se vuelve menos denso y se eleva.
- Aire más frío y denso sobre la tierra se mueve hacia el mar y ocupa el espacio dejado por el aire que ha ascendido

BRISA HACIA EL MAR

Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát

9.5 Arquitectura Bioclimática

La **arquitectura bioclimática** trata de diseñar y aportar soluciones constructivas, que permitan que un edificio determinado capte o rechace energía solar, según la época del año, a fin de regularla de acuerdo a las necesidades de calefacción, refrigeración o de luz

El flujo de calor por medios naturales conducción, convección, radiación

Factores a considerar:

- **Orientación de ventanas hacia el ecuador**
Captan más radiación en invierno y menos en verano
- **Soleamiento y protección solar**
Tamaño de las ventanas y posición en el muro
- **Aislamiento térmico**
Muros gruesos aumentan la inercia térmica
Aislamiento térmico minimiza las pérdidas de calor
- **Ventilación cruzada**
Estancias con orientaciones opuestas
Buena ventilación



Casares

Introducción Conducción Convección **Radiación** **Bioclimát**

Casa solar de La Plata (Argentina)



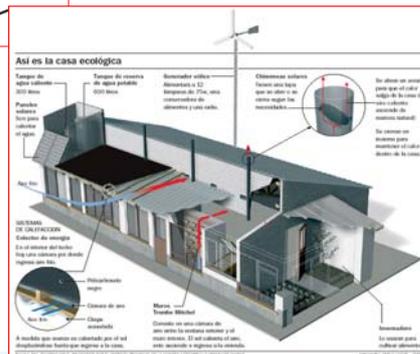
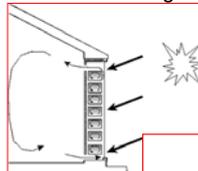
Minimiza el uso de energía en climatización:

- Muros de agua
- Agua caliente solar
- Aislamiento térmico
- Ventilación cruzada
- Techo ventilado
- Secado solar de ropa

Casa diseñada por G-F Keck (Chicago, 1940)



Esquema de funcionamiento de un muro de agua



Introducción Conducción Convección Radiación **Bioclimát**

9.6 Bibliografía

1. **Aguilar, J.**, *Curso de termodinámica*, Editorial Alhambra, 1981
2. **Durá Doménech, A., Neipp, C., Rodes Roca, J.J., Marco Tobarra, A., Vera Guarinos, J.**, *Fundamentos Físicos de las construcciones arquitectónicas (Mecánica de fluidos, calor y termodinámica, electromagnetismo)*, Publicación de la Universidad de Alicante, 2004
3. **Holman, J.P.**, *Transferencia de calor*, McGraw Hill, Madrid, 2000
4. **Welty, J. R.**, *Transferencia de calor aplicada a la ingeniería*, Limusa, México, 1992
5. **Zemanski, M.W., Dittman, R.H.**, *Calor y termodinámica*, McGraw Hill, Madrid, 1985
6. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatra.html#c3>

Introducción Conducción Convección **Radiación** Bioclimát