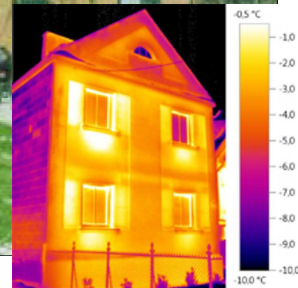
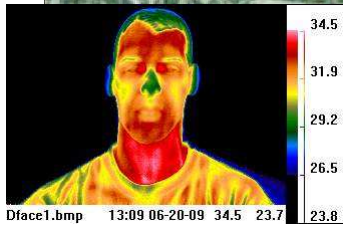
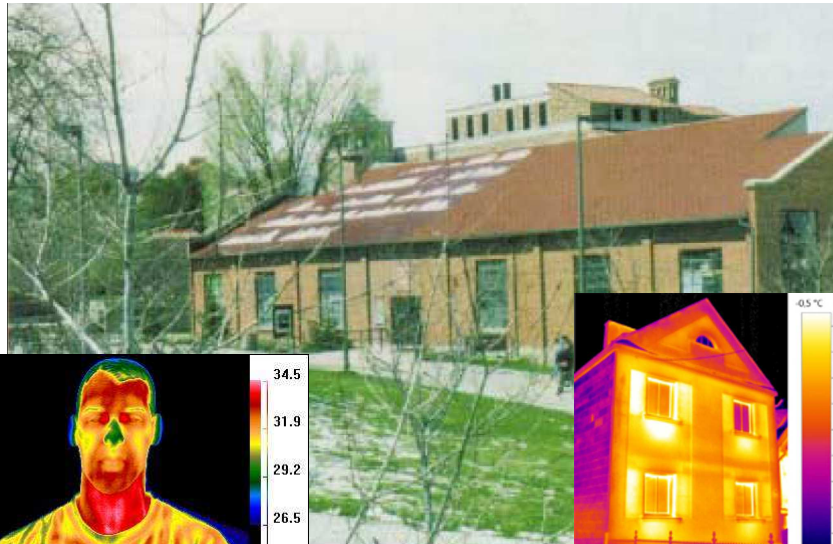
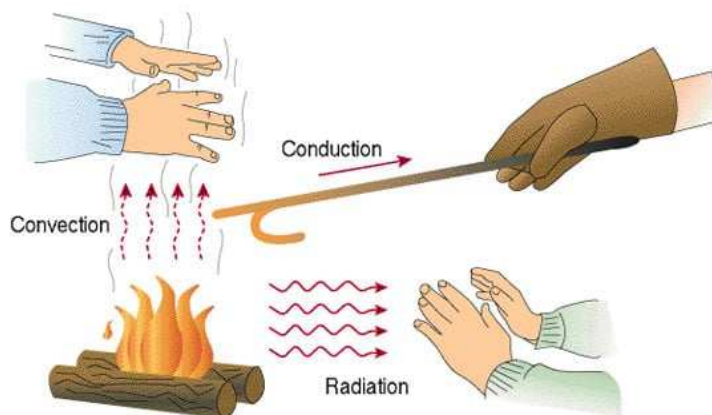


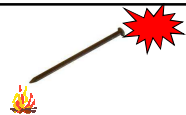
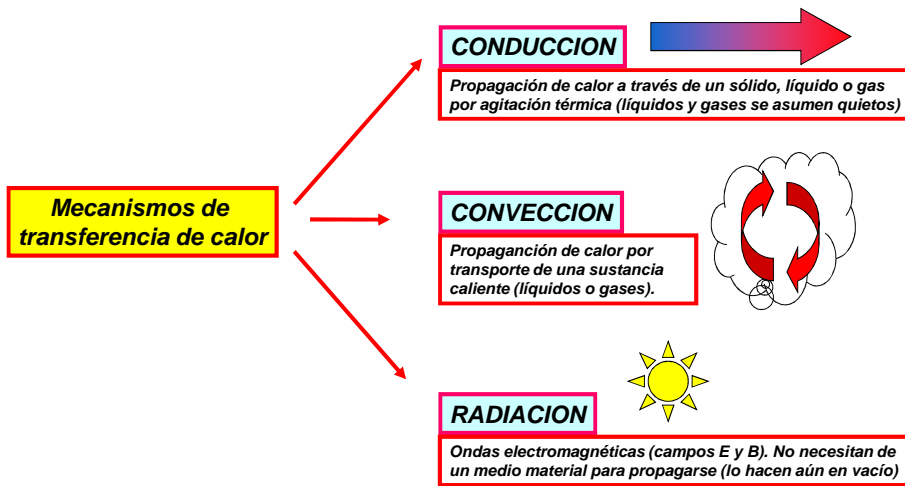
Termodinámica



Transferencia de Calor

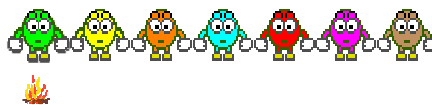


Transferencia de Calor

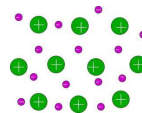


CONDUCCIÓN

la energía se trasmite a través de la materia, sin que haya desplazamiento de la misma



Puede haber conducción dentro de un mismo material y entre materiales diferentes que están en **contacto directo**.



Los materiales que conducen bien el calor se conocen como **conductores térmicos**. Los mejores conductores son los metales.

Hay materiales que *retardan* la transferencia de calor y se conocen como **aislantes térmicos**. La madera, el corcho, el papel, el telgopor son buenos aislantes.



En general, los líquidos y los gases son buenos aislantes térmicos.



Las personas sienten frío cuando ceden rápidamente calor hacia el ambiente. La alfombra no permite que los pies pierdan calor, por eso se siente más caliente que el piso.



Sentimos que algo está caliente cuando al tocarlo el calor fluye rápidamente desde el objeto hacia nosotros y sentimos que está frío cuando ocurre lo contrario.



Un acolchado no "da calor" simplemente retarda la transferencia de calor del cuerpo al entorno.

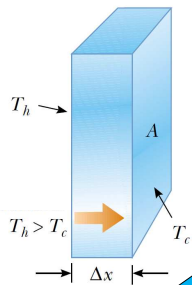


Si los utensilios de cocina son de metal, poseen asas de madera.



Para reducir la pérdida de calor los animales pueden ahuecar las plumas o erizar los pelos.

Conducción de Calor



Ecuación del calor

$$\vec{J} = -K \nabla T$$

Densidad de corriente de Energía (energía por unidad de área por unidad de tiempo).

Coefficiente de conductividad térmica K

GRADIENTE de temperatura

La mayoría de los buenos conductores eléctricos son también buenos conductores térmicos. (una excepción: diamante)

Thermal Conductivities

| Substance | Thermal Conductivity (W/m · °C) |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| <i>Metals (at 25°C)</i> | |
| Aluminum | 238 |
| Copper | 397 |
| Gold | 314 |
| Iron | 79.5 |
| Lead | 34.7 |
| Silver | 427 |
| <i>Nonmetals (approximate values)</i> | |
| Asbestos | 0.08 |
| Concrete | 0.8 |
| Diamond | 2 300 |
| Glass | 0.8 |
| Ice | 2 |
| Rubber | 0.2 |
| Water | 0.6 |
| Wood | 0.08 |
| <i>Gases (at 20°C)</i> | |
| Air | 0.023 4 |
| Helium | 0.138 |
| Hydrogen | 0.172 |
| Nitrogen | 0.023 4 |
| Oxygen | 0.023 8 |

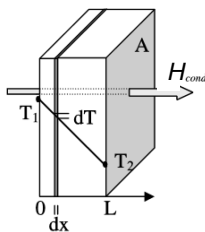
Conducción de calor

$$H = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} = -K \int \nabla T \cdot d\vec{A}$$

Energía que fluye (Calor) por unidad de tiempo (W)

Hay que plantear la integral de superficie para la geometría dada

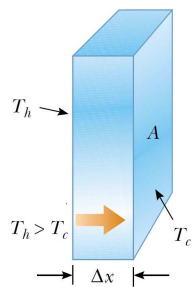
Geometría plana



$H =$

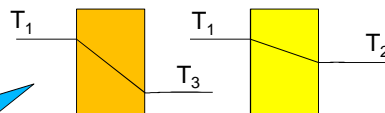
Velocidad de transferencia de calor [W]

$$H = -\frac{K A \Delta T}{L}$$



¿Cómo será el perfil de temperaturas en el interior de la pared?

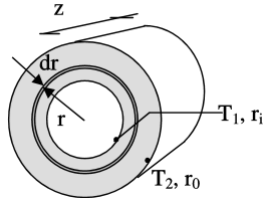
¿Cuál de las dos paredes posee mayor conductividad térmica??



$$T_1 > T_2 > T_3$$

Conducción de calor: otras geometrias

Geometría cilíndrica

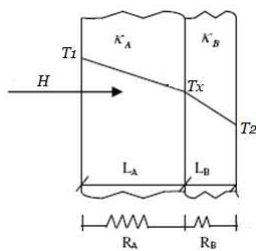


$$H = -K(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \rightarrow H = -\frac{K2\pi L \Delta T}{\ln(b/a)}$$

Geometría esférica

$$H = -K(4\pi r^2) \frac{dT}{dr}$$

Conducción de calor en paredes PLANAS compuestas



$$H_A = \frac{A(T_x - T_1)}{L_A / \kappa_A}$$

$$(T_x - T_1) = \frac{L_A H_A}{A \kappa_A}$$

$$H_B = \frac{A(T_2 - T_x)}{L_B / \kappa_B}$$

$$(T_2 - T_x) = \frac{L_B H_B}{A \kappa_B}$$

No es necesario conocer T_x !

$$(T_2 - T_1) = \frac{H}{A} \left(\frac{L_A}{\kappa_A} + \frac{L_B}{\kappa_B} \right)$$

$H_A = H_B = H$

$$H = \frac{\Delta T}{\sum (L_i / A \kappa_i)} = \frac{\Delta T}{\sum R_i}$$

RESISTENCIA
TÉRMICA

$$R_i = \frac{L_i}{\kappa_i A}$$

Una habitación cuadrada tiene paredes de ladrillo de 3m de alto por 5 de ancho y de 15cm de espesor, y el techo es de pino de 2cm de espesor. Si la Temperatura adentro de la habitación es de 20°C y afuera es de 8°C ¿Cuánta energía por hora tiene que entregar un calefactor para mantener el ambiente a la temperatura deseada?

Suponga ahora que el techo se aísla con lana de vidrio de 6cm de espesor. ¿cuánta energía por hora se estará ahorrando?

$$K_{\text{lana}} = 0,042 \text{ J/m.s.}^\circ\text{C}$$

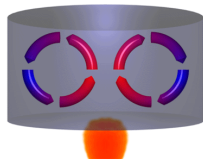
$$K_{\text{madera}} = 0,12 \text{ J/m.s.}^\circ\text{C}$$

$$K_{\text{ladrillo}} = 0,8 \text{ J/m.s.}^\circ\text{C}$$



CONVECCIÓN

los líquidos y gases transmiten el calor principalmente por convección, que se trata de la transferencia de calor debida al movimiento del fluido mismo



Convección Natural:

Quando un líquido o un gas se calienta, se dilata, se hace menos denso, sube y su lugar es ocupado por material más frío y más denso. El proceso se repite dando lugar a corrientes de convección.



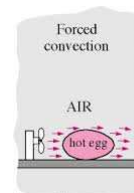
Flujo de gas o líquido a $T_{\text{fluido}} < T_s$

H

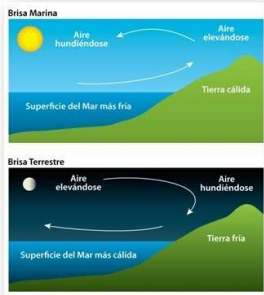
Sólido T_s

Convección Forzada

Se obliga al fluido a fluir mediante medios externos, como un ventilador o una bomba.



CONVECCIÓN



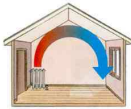
Brisa Marina_ Brisa terrestre



Dentro de las nubes de tormenta se producen corrientes intensas ascendente, que en su ascenso se enfría produciéndose la condensación de su contenido de vapor de agua que adoptan forma de inmensas torres en forma de coliflor, antes de que sus topos comiencen a helarse y adoptar la forma de yunque.

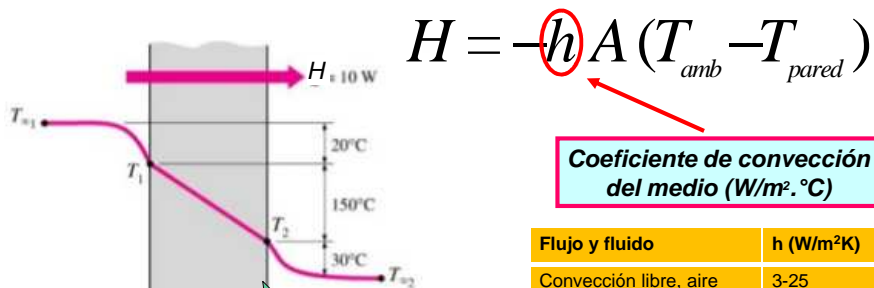


Gran parte del calor de una casa se pierde por el techo



El aire puede transmitir calor por convección pero también se puede comportar como aislante. En los copos de nieve o en el telgopor el aire está atrapado y no puede fluir, conformando buenos materiales aislantes.

Convección de calor

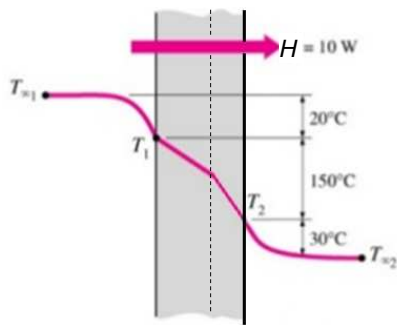


Coefficiente de convección del medio (W/m². °C)

| Flujo y fluido | h (W/m²K) |
|--------------------------|-------------|
| Convección libre, aire | 3-25 |
| Convección libre, agua | 15-100 |
| Convección forzada, aire | 10-200 |
| Convección forzada, agua | 50-10000 |
| Ebullición de agua | 3000-100000 |

La primera capa (v=0) se calienta por conducción

Paredes planas + convección



$$(T_2 - T_1) = \frac{H}{A} \left(\frac{1}{h_2} + \frac{L_A}{\kappa_A} + \frac{L_B}{\kappa_B} + \frac{1}{h_1} \right)$$

$$H = \frac{T_2 - T_1}{R}$$

$$R = \frac{1}{h_2 A} + \sum (L_i / A \kappa_i) + \frac{1}{h_1 A}$$

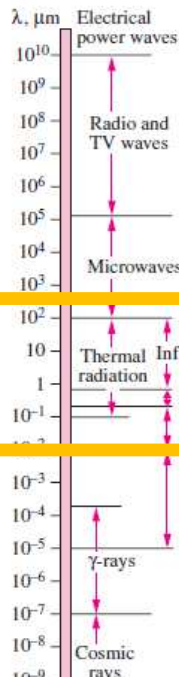
Esto es válido para geometrías planas, en otras geometrías no planas hay que identificar bien cuál es la superficie

Se desea pintar la cara exterior de la puerta de un horno con una pintura que se degrada si supera los 150°C. La temperatura máxima de trabajo del horno es de 350°C y la temperatura ambiente habitualmente es de 30°C. La puerta del horno es de una aleación ($k=4,8\text{W/mK}$) y el coeficiente de convección del aire fuera del horno es de 40W/m²K.
¿Cuál deberá ser el mínimo espesor de la tapa?

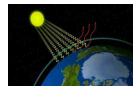
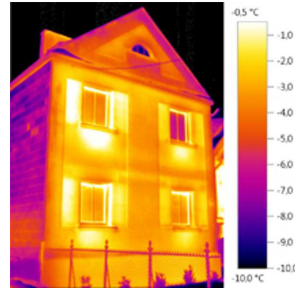
RADIACIÓN TÉRMICA

no necesita materia para transferirse

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. En los estudios de transferencia del calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.



0.1 hasta 100 μm infrarrojo, visible, ultravioleta



El calor que nos llega del Sol no puede hacerlo ni por conducción ni por convección (pues hay vacío entre el Sol y la Tierra), llega por radiación térmica.

Radiación térmica y emisividad

La cantidad máxima de calor por unidad de tiempo emitida en forma de radiación, está dada por los denominados "cuerpos negros".

$$H_{\text{max}} = \sigma AT^4$$

Ley de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

Radiación de un cuerpo negro

La emisividad es una medida de cuan próxima está una superficie de ser un cuerpo negro. Depende de la temperatura, acabado, ángulo de emisión, longitud de onda, etc. ($0 < e < 1$)

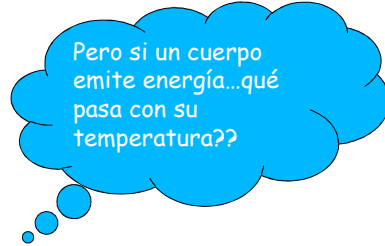
| Tipo de superficie | ϵ (a 300K) |
|--------------------|---------------------|
| Aluminio pulido | 0.09 |
| Aluminio anonizado | 0.77 |
| Pintura negra | 0.98 |
| Pintura blanca | 0.90 |
| Piel humana | 0.95 |
| tierra | 0.94 |

Energía por unidad de tiempo entregada por un cuerpo real a temperatura T (K)

$$H_{\text{cuerporeal}} = e\sigma AT^4$$

Cuánta energía emite un cubo de aluminio de 10cm de lado que está a 50°C si su superficie está pulida? Y si se trata de aluminio anodizado??

| Tipo de superficie | ϵ (a 300K) |
|--------------------|---------------------|
| Aluminio pulido | 0.09 |
| Aluminio anodizado | 0.77 |
| Pintura negra | 0.98 |
| Pintura blanca | 0.90 |
| Piel humana | 0.95 |
| tierra | 0.94 |

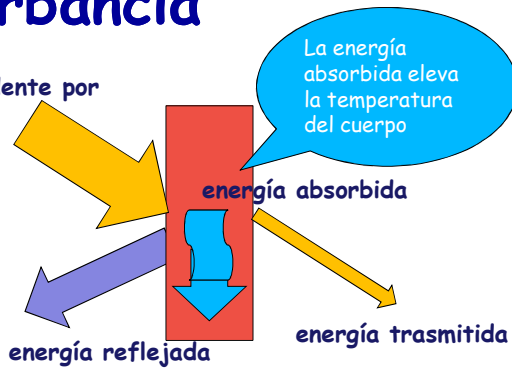


Absorbancia

Irradiación: energía incidente por unidad de área y tiempo

$$I = \alpha I + rI + tI = \sigma T_{amb}^4$$

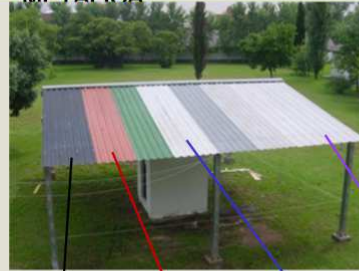
$$\alpha + r + t = 1$$



Un mal absorbente, es un buen reflector, por eso los objetos de color claro reflejan más luz y calor que los objetos oscuros.

$$H_{absorbida} = \alpha \sigma A T_{amb}^4$$

INCIDENCIA DEL COLOR EN TECHOS DE CHAPA METÁLICA



Medición a las 13 horas:
 $T = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Radiación solar: 950 W/m^2

$T_{se} = 73\text{ }^{\circ}\text{C}$

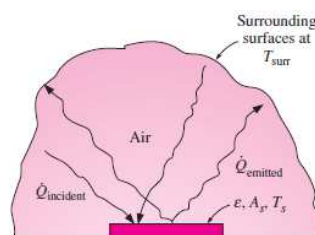
$T_{se} = 63\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{se} = 41\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{se} = 39\text{ }^{\circ}\text{C}$

RADIACIÓN TÉRMICA

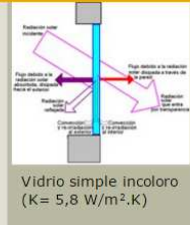
Todos los cuerpos emiten y absorben radiación térmica, si hay un desbalance cambian su temperatura.



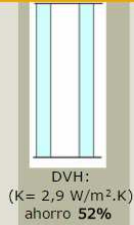
$$H_{neta} = H_{emitida} - H_{absorbida} = \sigma A e (T^4 - T_{amb}^4)$$

Un buen absorbente de radiación no refleja casi nada ni siquiera la luz, por eso parece oscuro a la vista. La absorción y la emisión de radiación son procesos opuestos, sin embargo un buen absorbente, es un buen emisor ($e \approx 1$).

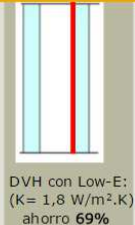
ELEMENTOS VIDRIADOS



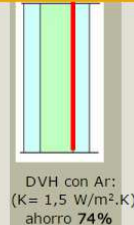
Vidrio simple incoloro
($K = 5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)



DVH:
($K = 2,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)
ahorro 52%



DVH con Low-E:
($K = 1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)
ahorro 69%



DVH con Ar:
($K = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)
ahorro 74%

VERANO: Utilización de protecciones solares: (Persianas, cortinas gruesas, etc)

Vidrio simple incoloro
Ahorro 64%

DVH:
ahorro 73%

Cuanto mayores dimensiones posean las aberturas, más incidencia tendrá este ahorro de energía sobre el total del edificio.

| Aislación térmica comparativa del vidrio, versus distintos tipos de paredes | K ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$) | Pérdida relativa de calor |
|---|-----------------------------------|---------------------------|
| SV Simple Vidriado Float 4 mm | 5,70 | 100 |
| Pared de ladrillos comunes 15 cm de espesor | 2,90 | 51 |
| DVH Float incoloro 4 mm / C.A. 12 mm / Float incoloro 4 mm | 2,80 | 49 |
| Pared de ladrillos comunes de 30 cm de espesor | 1,90 | 33 |
| DVH Float incoloro 4 mm / C.A. 12mm / Low-E 4 mm # | 1,80 | 32 |

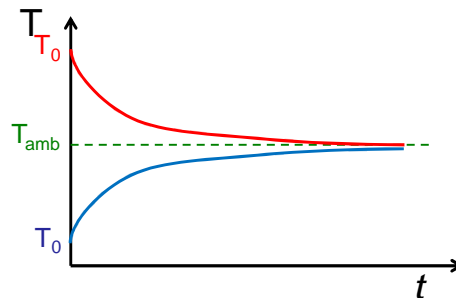


Ley de enfriamiento de Newton

"La rapidez de la variación de la temperatura en un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura con el medio ambiente"

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{amb})$$

$$T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb})e^{-kt}$$



Una taza de café cuya temperatura es de 80°C se sirve en una habitación donde la temperatura es de 20°C . Si luego de transcurridos 2 minutos el café estaba a 70°C , cuánto tiempo deberá esperarse desde que se sirvió para que alcance los 50°C ?

