



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA-VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
TRANSFERENCIA DE CALOR

TEMA 1
INTRODUCCIÓN

PROF. FRANZ RAIMUNDO

CONTENIDO:

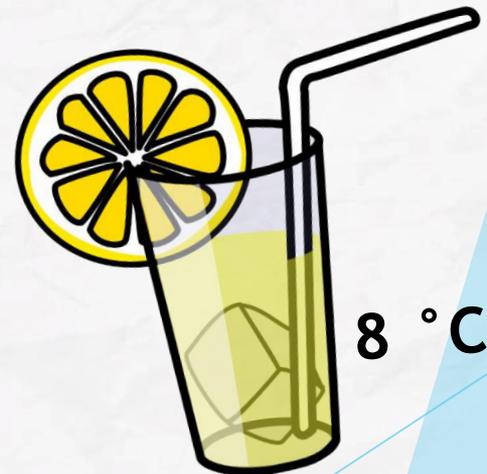
INTRODUCCIÓN

- *¿Qué es la transferencia de calor?*
- *¿Cómo se transfiere el calor?*
- *Modos de transferencia de calor*
- *Estado Estable y transitorio*
- *Balancede energía*
- *Método de analogía eléctrica*

¿Qué es la transferencia de calor?

Podemos definir la transferencia de calor como la energía térmica en tránsito (calor) debido a una diferencia de temperaturas (Gradiente)

Aire 26 °C



¿CÓMO SE TRANSFIERE EL CALOR?

El calor puede transferirse de distintas maneras, dependiendo de los parámetros físicos involucrados en distintos procesos, conocidos como modos de transferencia de calor

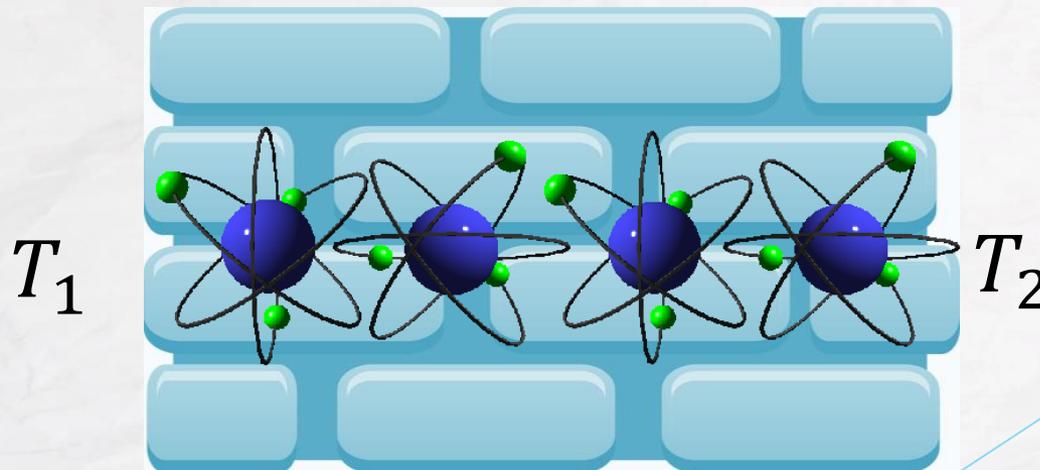
- CONDUCCIÓN
- CONVECCIÓN
- RADIACIÓN

Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCCIÓN

El calor se transfiere a través de un medio estacionario (sólido o fluido)

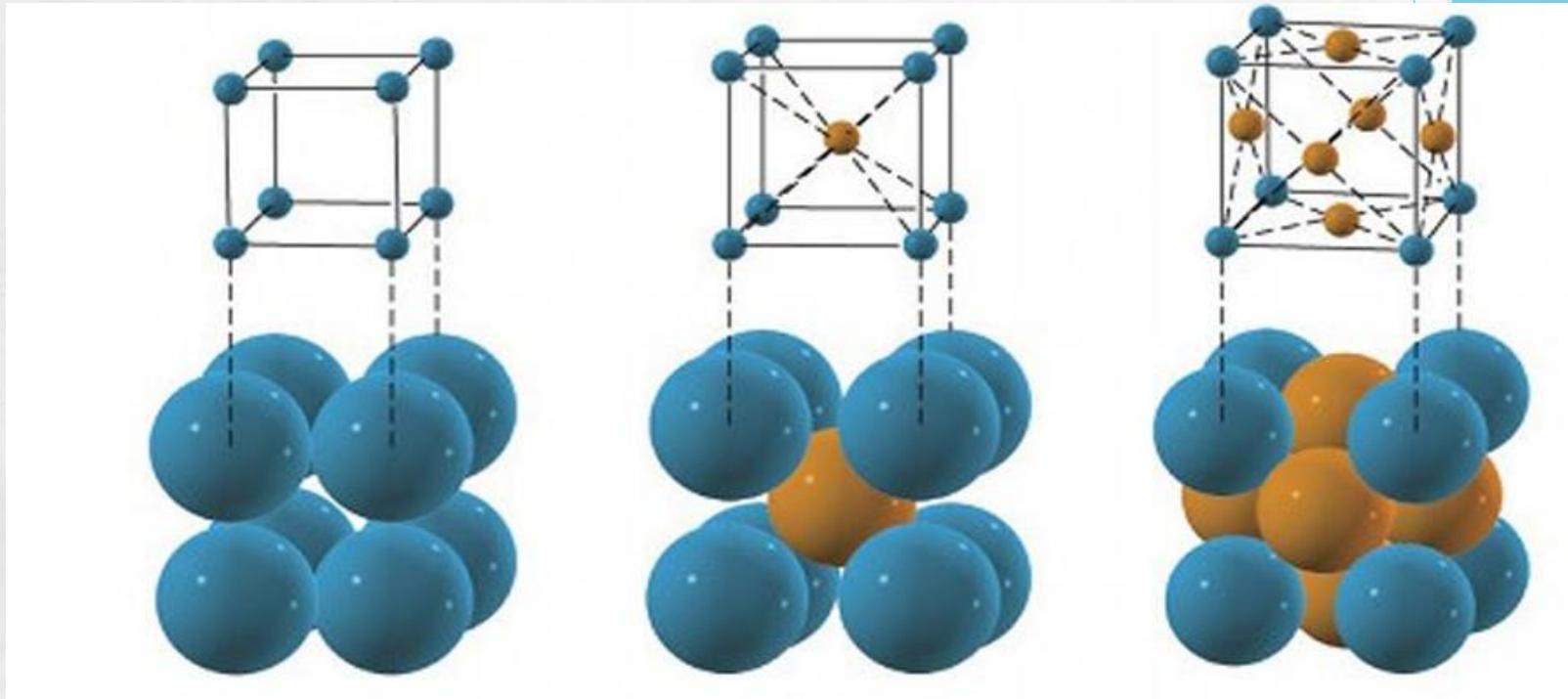
Actividad atómica y molecular



$$T_1 > T_2$$

Modos: CONDUCCIÓN

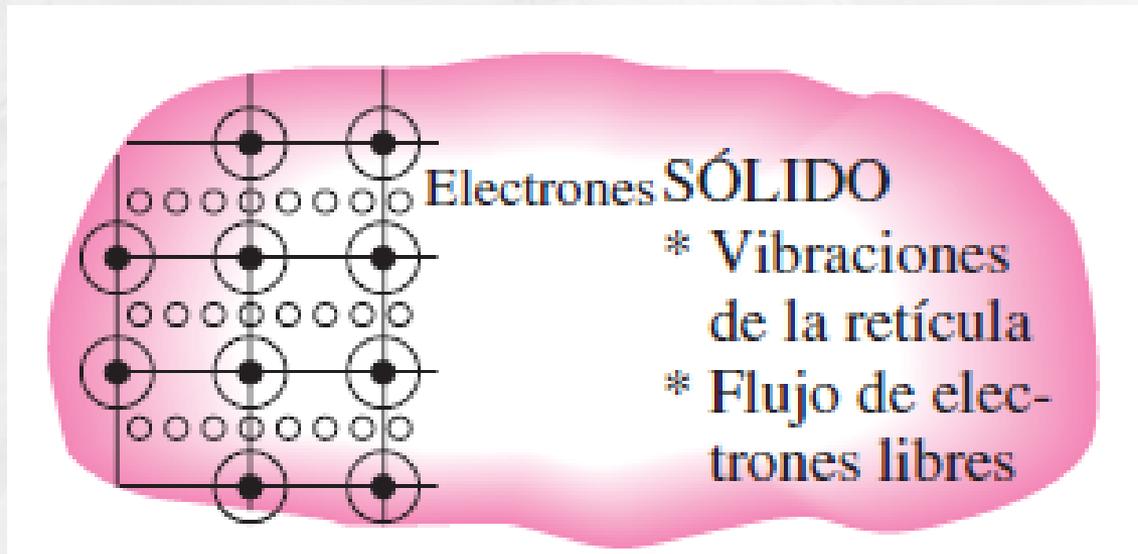
CONDUCCIÓN EN SÓLIDOS



EFFECTIVA

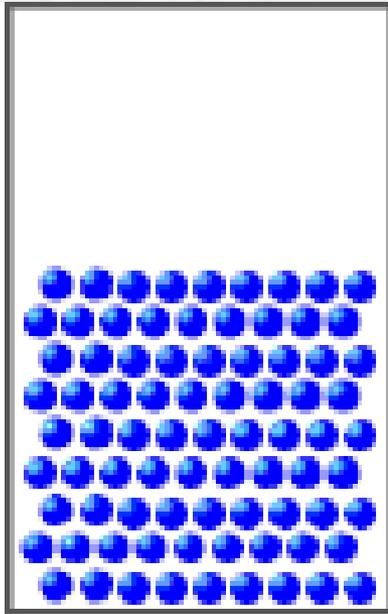
Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCCIÓN EN SÓLIDOS

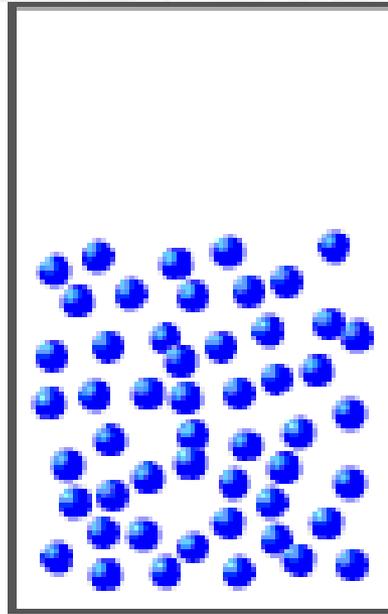


Modos: CONDUCCIÓN

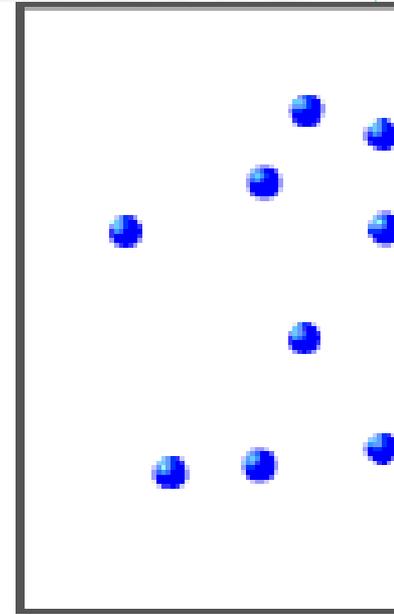
CONDUCCIÓN EN FLUIDOS



Solid



Liquid

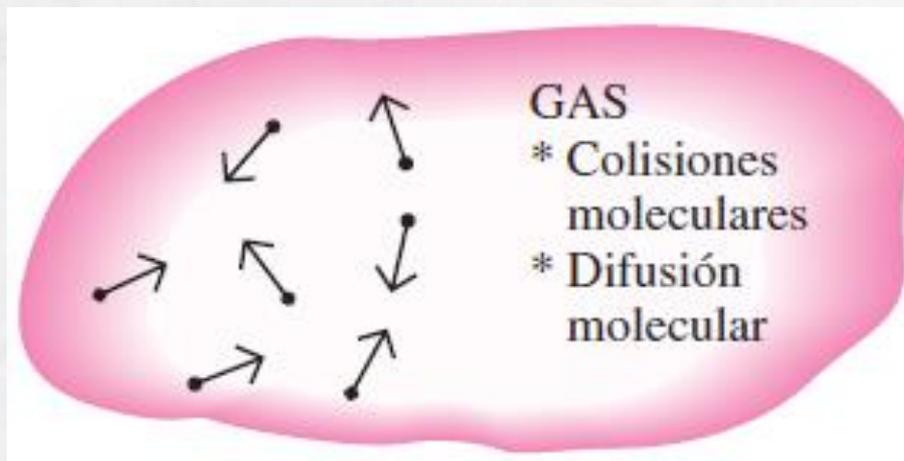
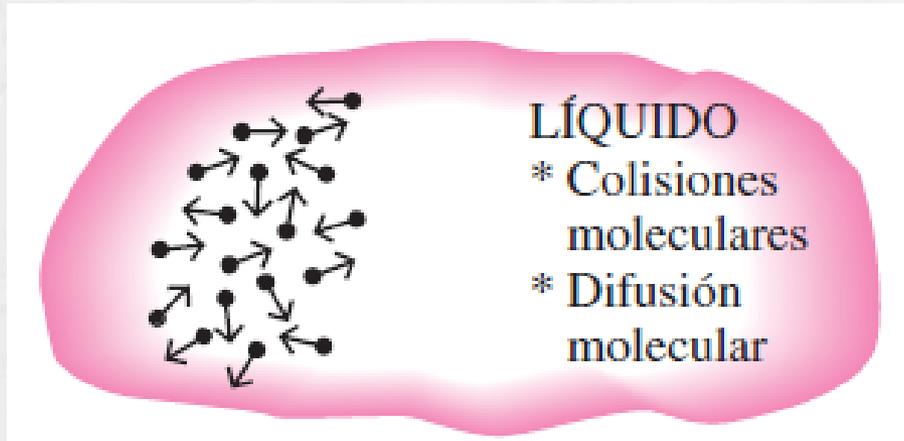


Gas

POCO EFECTIVA

Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCCIÓN EN FLUIDOS



Modos: CONDUCCIÓN

SISTEMAS DE AISLAMIENTO



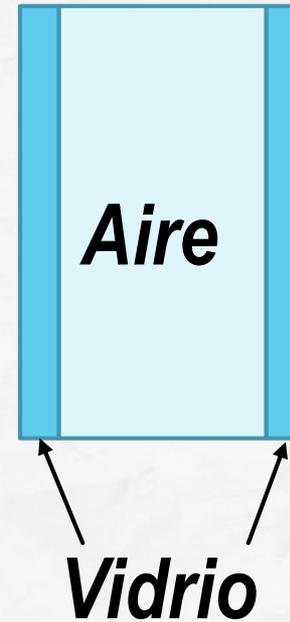
Modos: CONDUCCIÓN

APLICACIONES



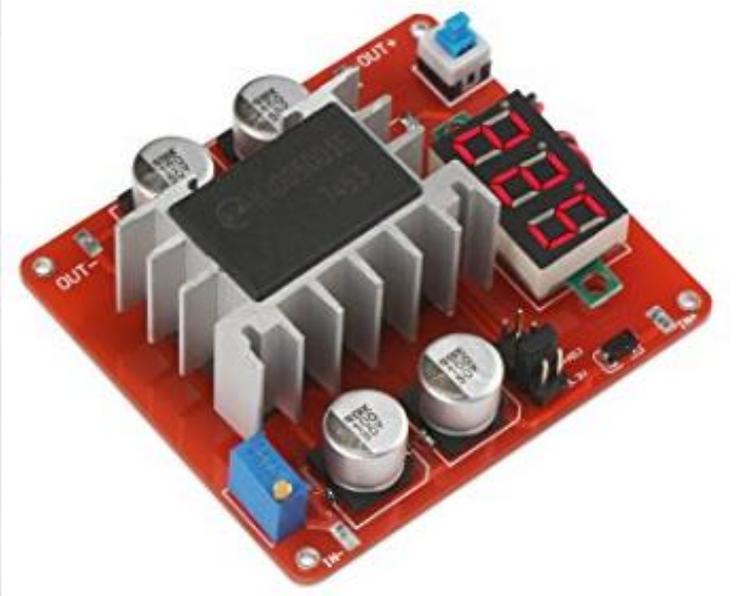
Modos: CONDUCCIÓN

APLICACIONES



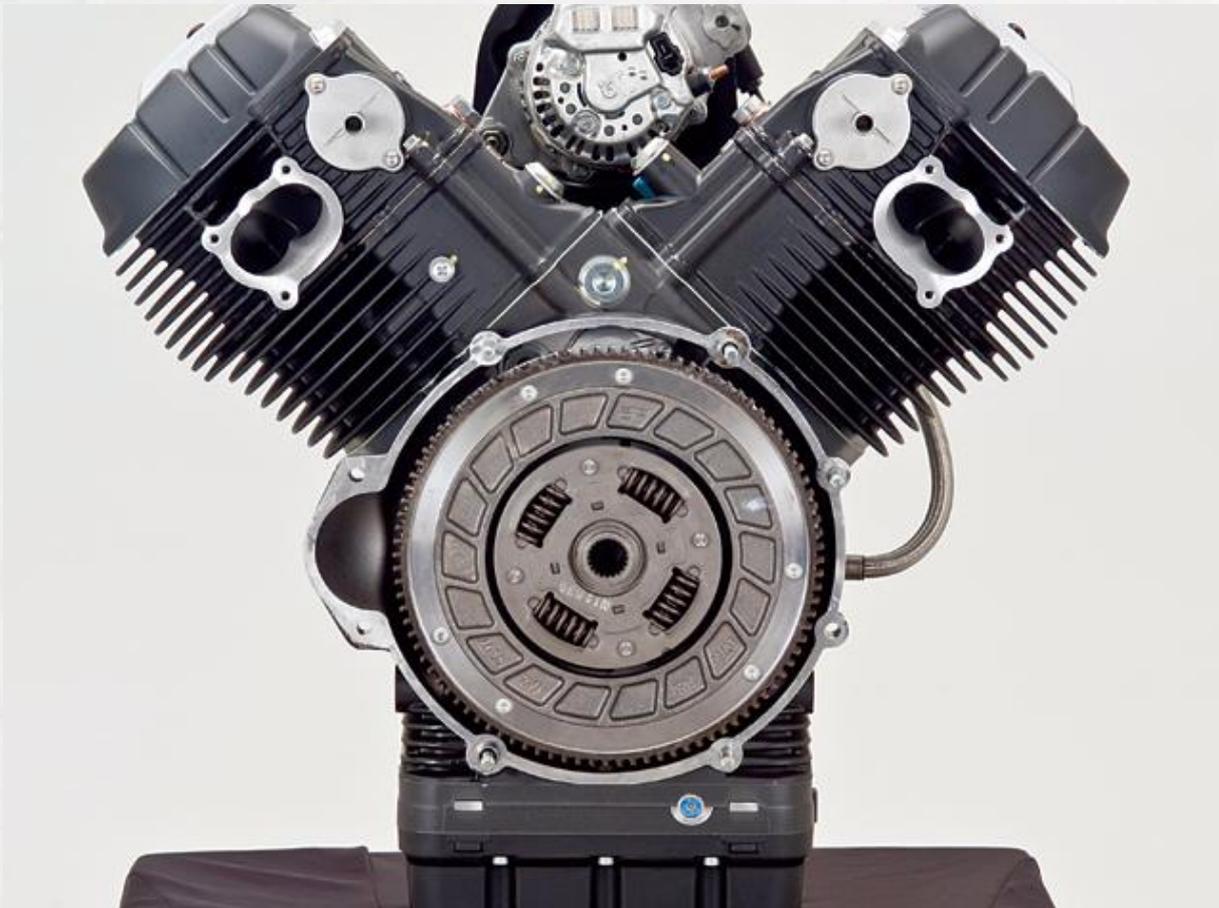
Modos: CONDUCCIÓN

APLICACIONES



Modos: CONDUCCIÓN

APLICACIONES



Modos: CONDUCCIÓN

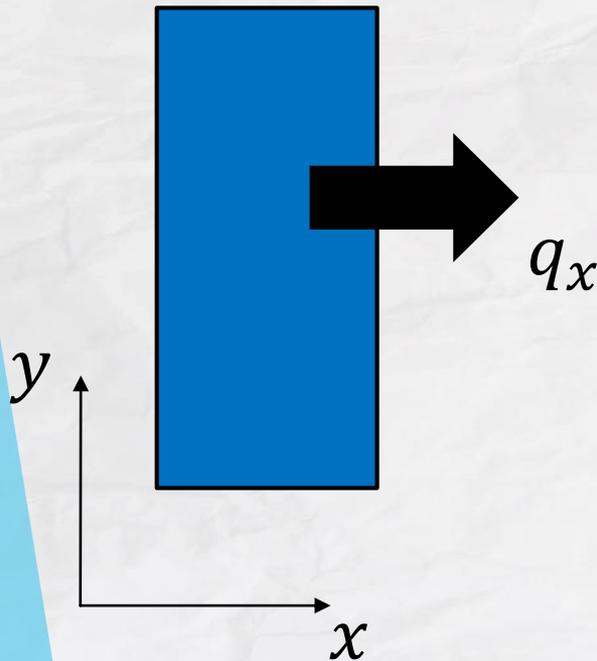
APLICACIONES



Modos: CONDUCCIÓN

MODELO MATEMÁTICO: LEY DE FOURIER

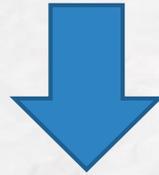
CALOR  VECTOR



$$q_x = -K \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)



PROPIEDAD DE TRANSPORTE



DEPENDE DEL MATERIAL, EL ESTADO (SÓLIDO, LÍQUIDO, GAS) Y LA TEMPERATURA

UNIDADES: $\frac{W}{mK}$ $\frac{W}{m^{\circ}C}$

Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K) MATERIAL

A.1.1: Materiales Metálicos

Sustancia	Densidad kg/dm ³	Calor Específico kJ/kg·K 0...100°C	Conductividad W/m·K a 20°C
Acero aleado	7.9	0.42	26
Acero Inoxidable	7.9	0.51	14
Acero poco aleado	7.9	0.49	48...58
Aleaciones de Al	2.7	0.96	172
Aluminio	2.7	0.94	204
Antimonio	6.7	0.21	22

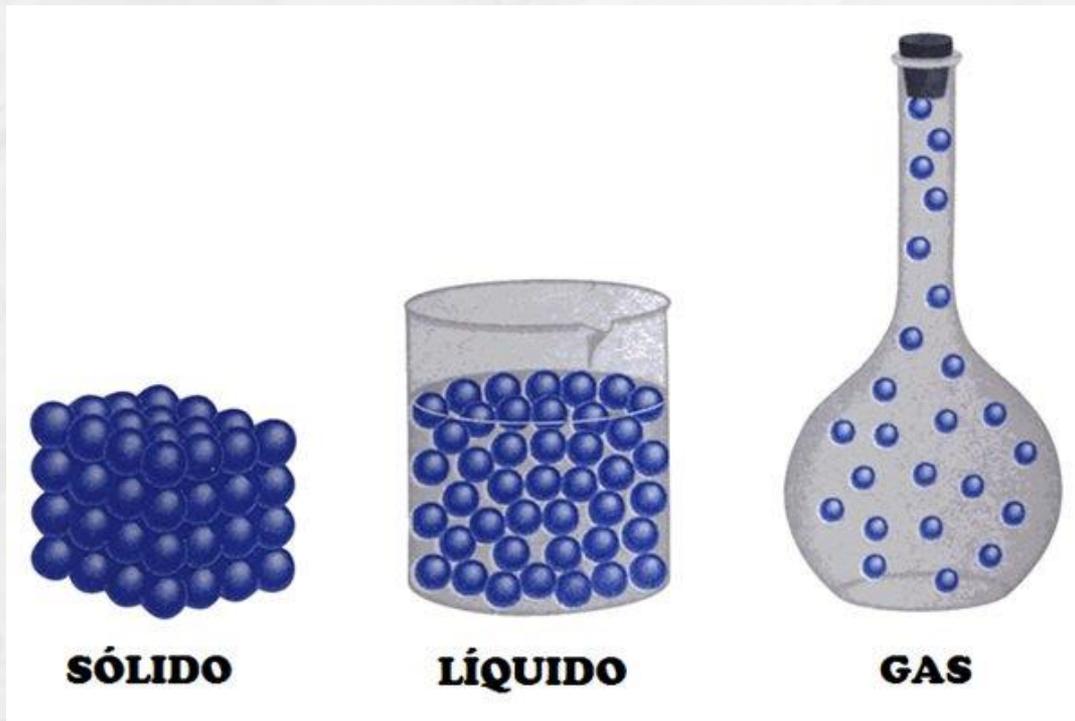
A.1.2. Materiales No Metálicos

Sustancia	Densidad kg/dm ³	Calor Específico kJ/kg·K 0...100°C	Conductividad W/m·K a 20°C
Arcilla Seca	1.5...1.8	0.88	0.9...1.3
Arena de Cuarzo	1.6	0.80	0.58
Asbesto	2.1...2.8	0.81	0.17...0.22
Asfalto	1.1...1.4	0.92	0.70
Azufre	2.0	0.70	0.20
Baquelita	0.3	1.59	0.23

Modos: CONDUCCIÓN

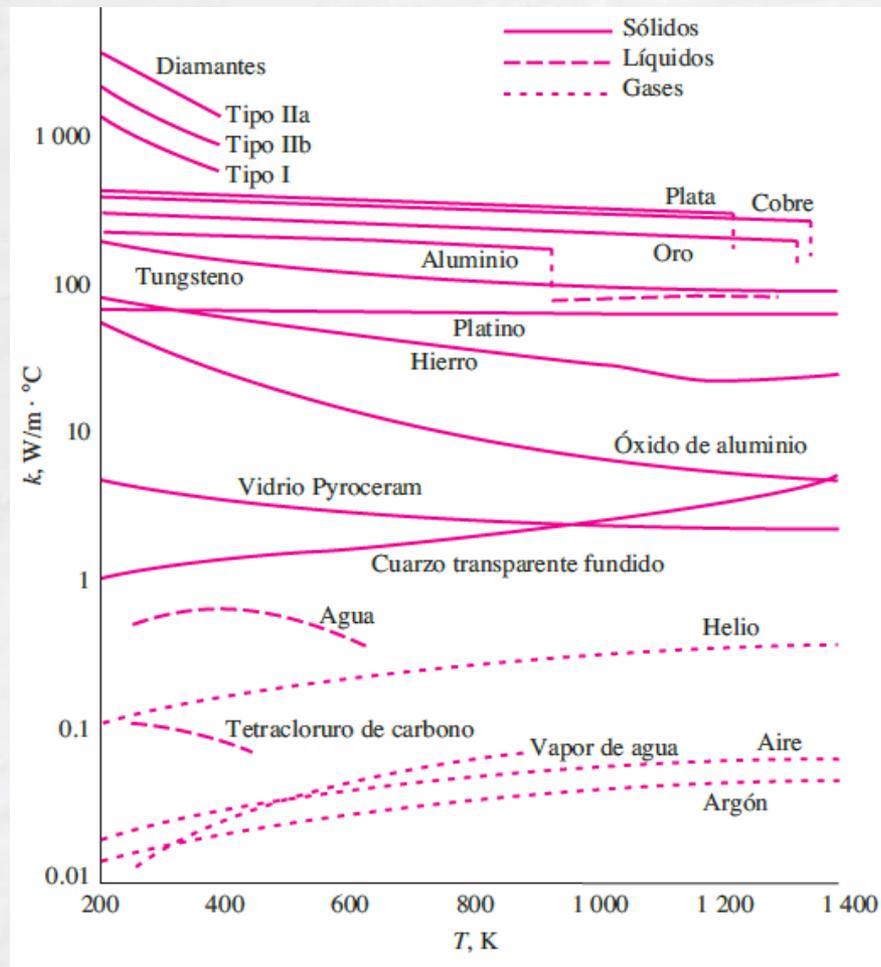
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)

ESTADO



Modos: CONDUCCIÓN

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K) TEMPERATURA



Modos: CONDUCCIÓN

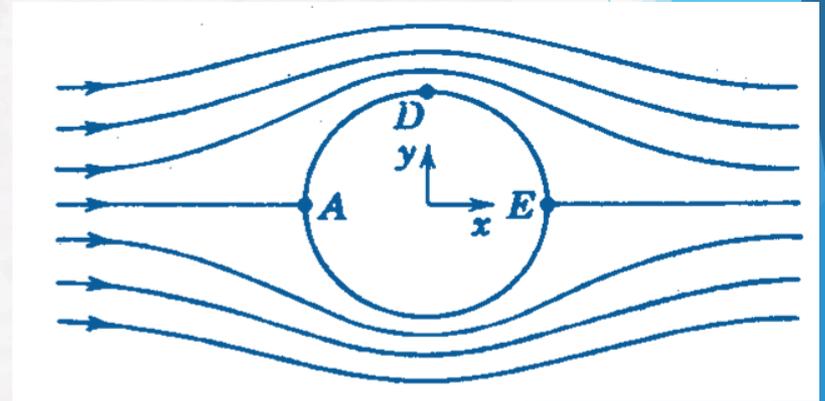
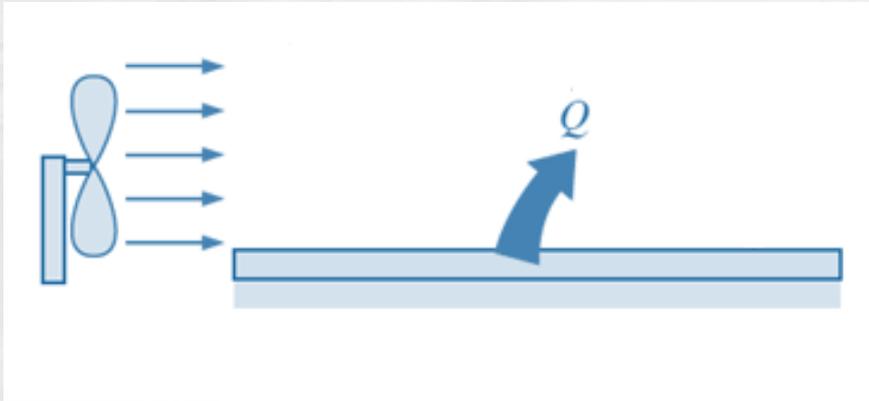
CONDUCCIÓN EN GEOMETRÍAS BÁSICAS

- PARED PLANA
- CILINDRO
- ESFERA

Modos: CONVECCIÓN

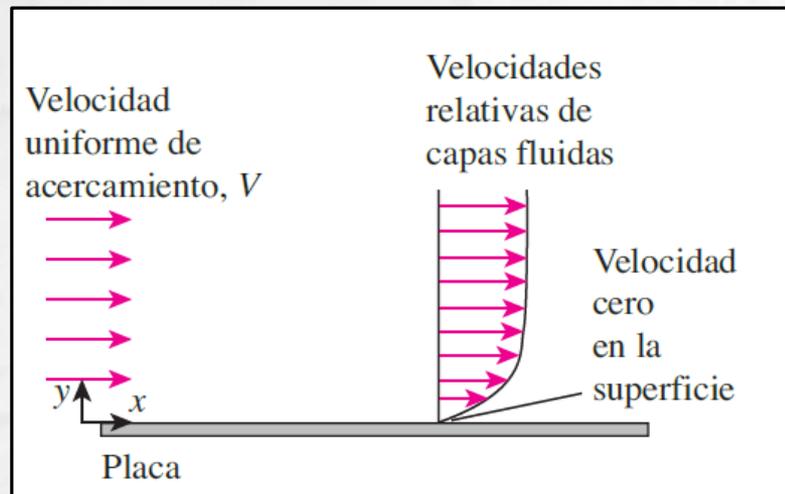
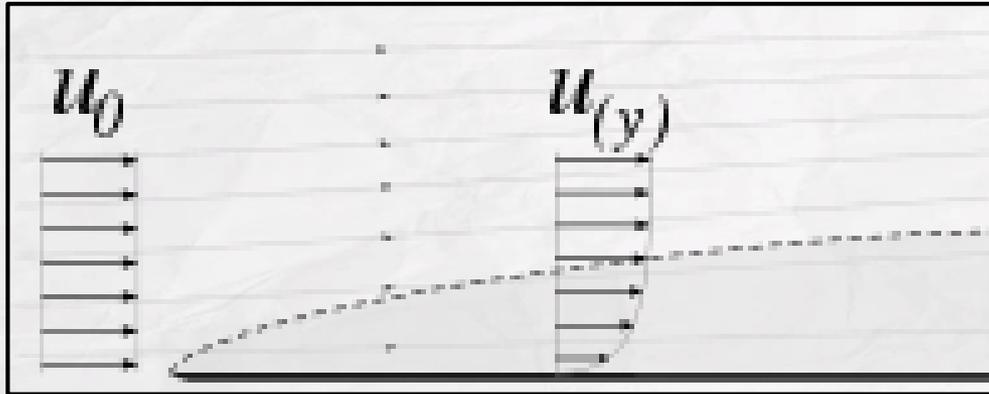
CONVECCIÓN

El calor se transfiere entre una superficie y un fluido en movimiento



Modos: CONVECCIÓN

CAPA LÍMITE HIDRODINÁMICA

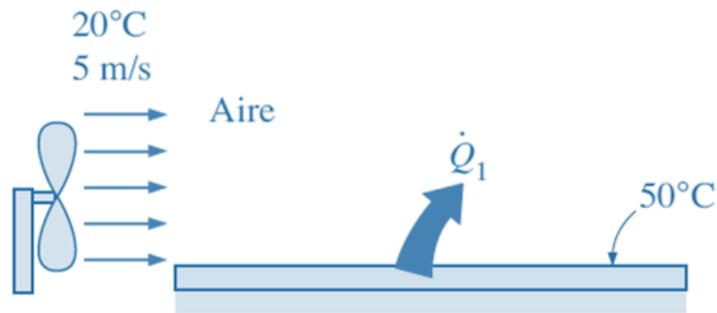


DIFUSIÓN

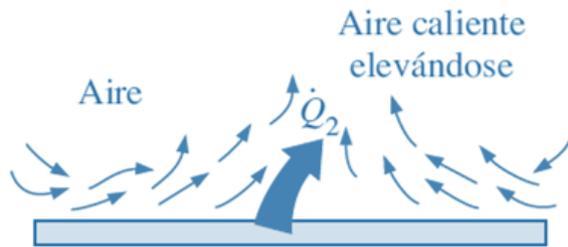
ADVECCIÓN

Modos: CONVECCIÓN

TIPOS DE CONVECCIÓN



a) Convección forzada



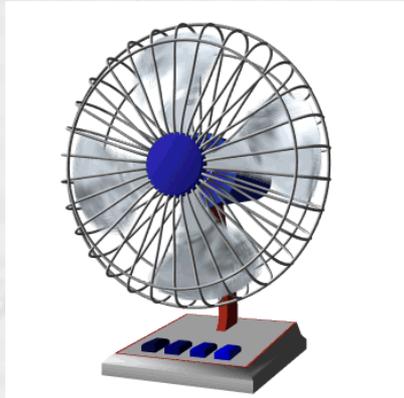
b) Convección libre



c) Cambio de fase

Modos: CONVECCIÓN

CONVECCIÓN FORZADA



IMPULSAR EL FLUIDO
UTILIZANDO EQUIPOS COMO
BOMBAS Y VENTILADORES



Modos: CONVECCIÓN

CONVECCIÓN NATURAL

EL MOVIMIENTO DEL FLUIDO
ES INDUCIDO DEBIDO A
FUERZAS DE EMPUJE

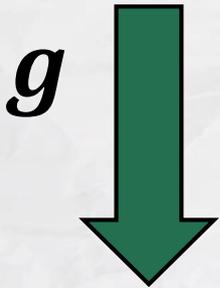
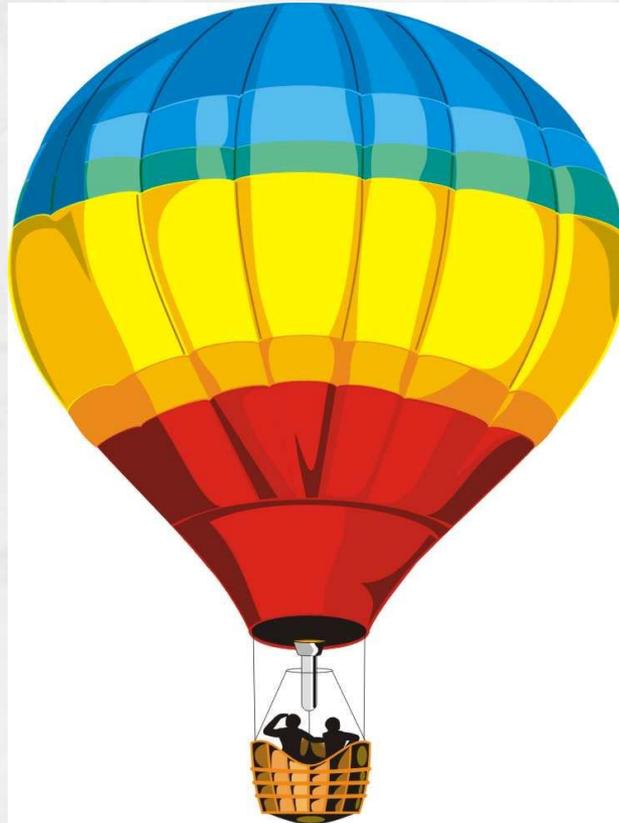
FUERZA DE EMPUJE

GRADIENTES DE DENSIDAD

FUERZAS DE CUERPO

Modos: CONVECCIÓN

CONVECCIÓN NATURAL

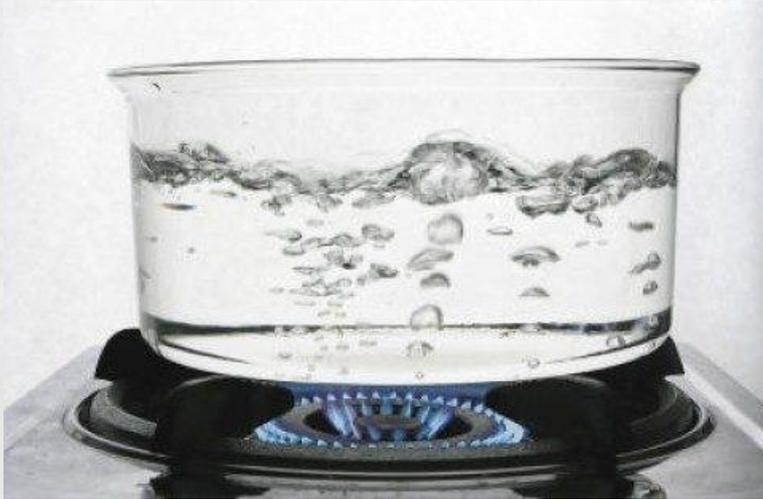


$$\rho = \frac{m}{v}$$

¿Siempre se mueve el fluido?

Modos: CONVECCIÓN

CONVECCIÓN CON CAMBIO DE FASE



Modos: CONVECCIÓN

APLICACIONES

CONVECCIÓN FORZADA



Modos: CONVECCIÓN

APLICACIONES

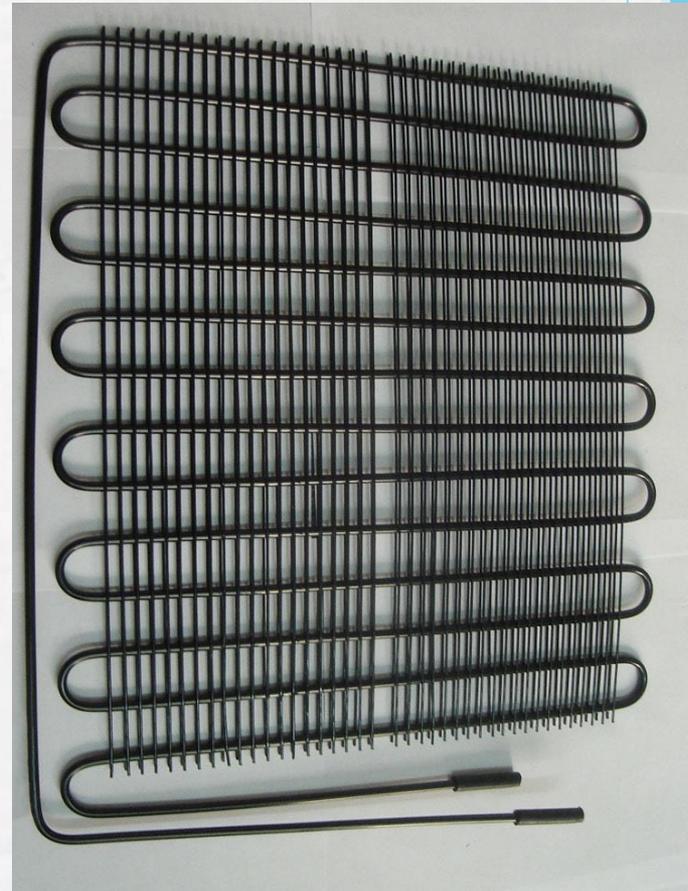
CONVECCIÓN NATURAL



Modos: CONVECCIÓN

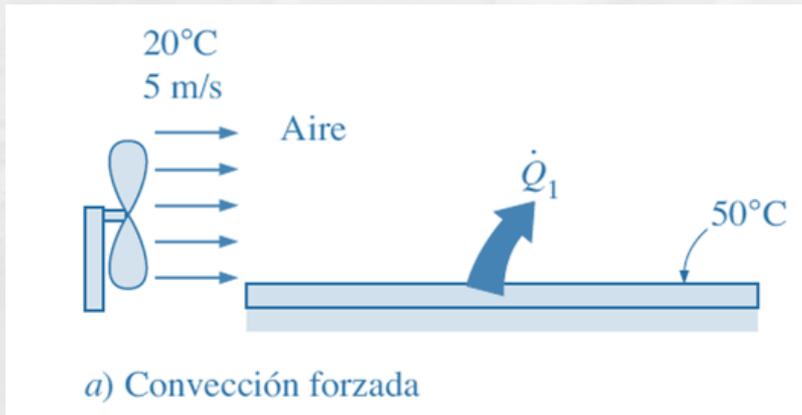
APLICACIONES

CONVECCIÓN CON CAMBIO DE FASE



Modos: CONVECCIÓN

MODELO MATEMÁTICO: LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON



$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Modos: CONVECCIÓN

COEFICIENTE DE CONVECCIÓN (h)

Es un parámetro que depende de la geometría, las condiciones del flujo y del estado y propiedades del fluido

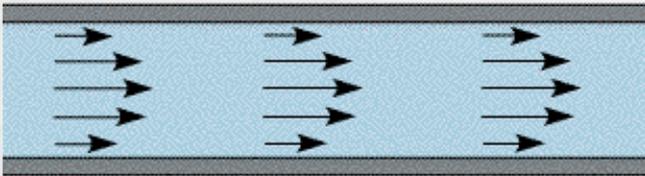
$$\text{UNIDADES: } \frac{W}{m^2 K} \quad \frac{W}{m^2 ^\circ C}$$

Modos: CONVECCIÓN

COEFICIENTE DE CONVECCIÓN (h)

Condiciones de flujo

LAMINAR



TURBULENTO



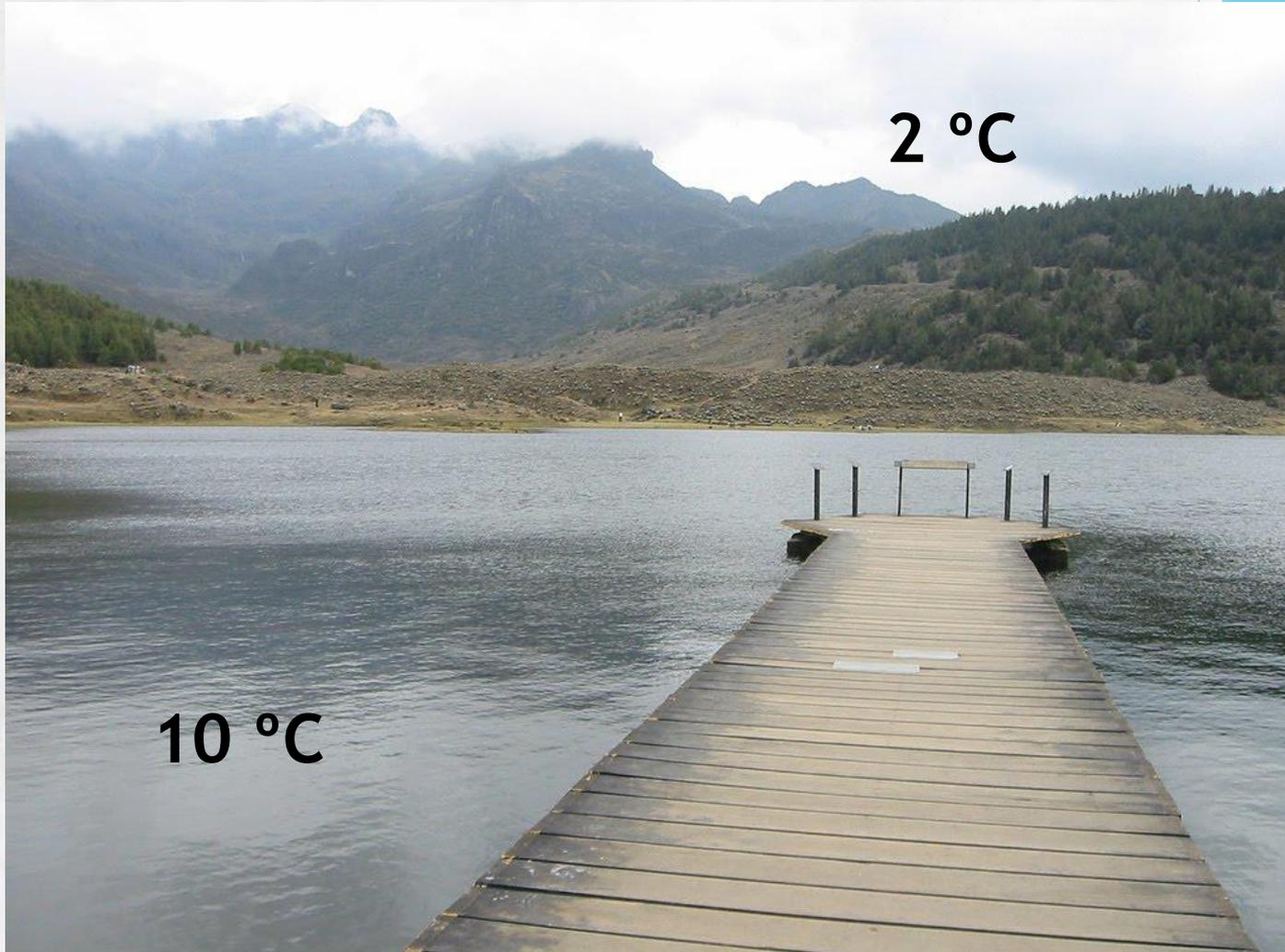
Modos: CONVECCIÓN

COEFICIENTE DE CONVECCIÓN (h)

Estado del fluido



Modos: CONVECCIÓN



Modos: RADIACIÓN

RADIACIÓN

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas. A diferencia de la conducción y convección, no se necesita de un medio.

Modos: RADIACIÓN

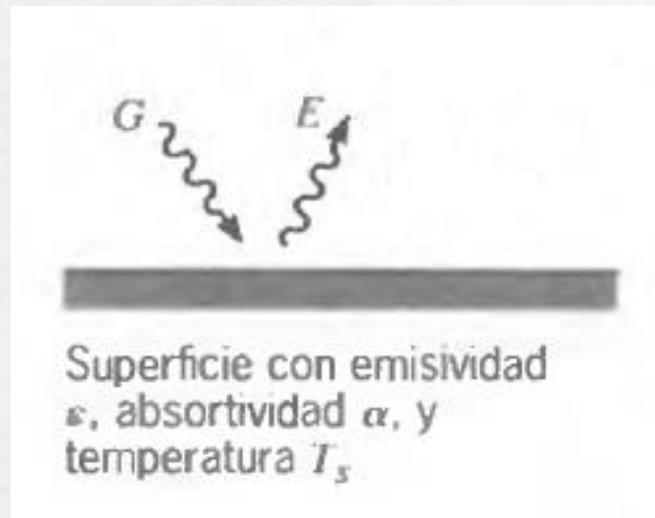
POTENCIA EMISIVA (E)

La radiación emitida por una superficie se conoce como potencia emisiva y es proporcional a la cantidad de materia limitada por la superficie.

Modos: RADIACIÓN

IRRADIACIÓN (G)

Es la velocidad a la que la radiación incide sobre una superficie (Energía absorbida)



Modos: RADIACIÓN

CUERPO NEGRO

Teóricamente se le conoce como cuerpo negro aquel que es capaz de emitir o absorber la máxima cantidad de energía

Modos: RADIACIÓN

MODELO MATEMÁTICO: LEY DE STEFAN BOLTZMANN

POTENCIA EMISIVA
(Cuerpo negro)

$$E = \sigma \cdot A \cdot T_s^4$$

POTENCIA EMISIVA
(Cuerpo real)

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4$$

$\varepsilon =$ Emisividad superficial $0 \leq \varepsilon \leq 1$ (Propiedad radiativa)

$\sigma =$ Constante de Stefan Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$

Modos: RADIACIÓN

Emisividades de algunos materiales a 300 K

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

Modos: RADIACIÓN

MODELO MATEMÁTICO: LEY DE STEFAN BOLTZMANN

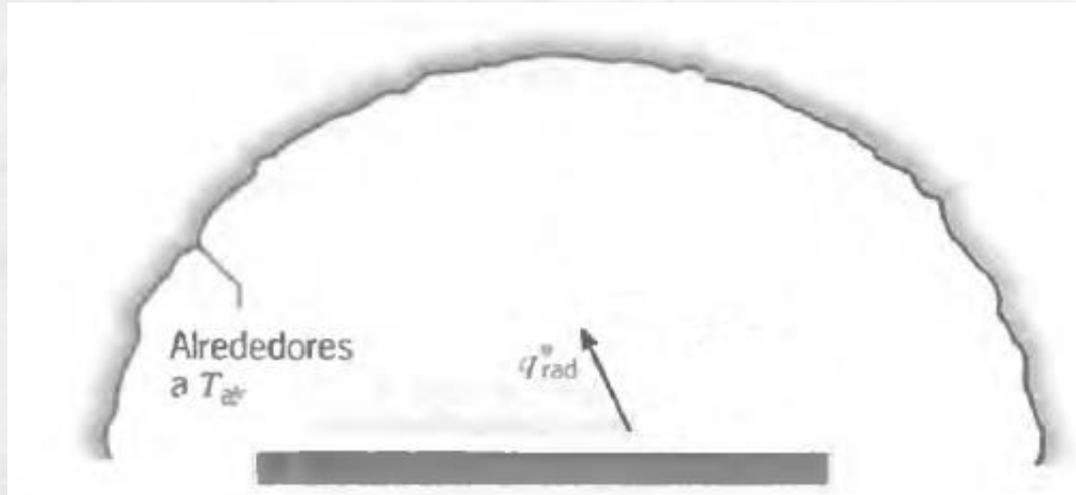
IRRADIACIÓN (Cuerpo real) $G_{abs} = \alpha \cdot A \cdot G$

$\alpha =$ Absortividad superficial $0 \leq \alpha \leq 1$ (Propiedad radiativa)

$\sigma =$ Constante de Stefan Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

Modos: RADIACIÓN

TRANSFERENCIA DE CALOR NETA ENTRE UN CUERPO Y SUS ALREDEDORES



Cuerpo gris $\varepsilon = \alpha$

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{alr}^4)$$

Modos: RADIACIÓN

ANALOGÍA CON LA LEY DE ENFRIAMIENTO
DE NEWTON

$$q_{rad} = h_r \cdot A \cdot (\Delta T)$$

$$h_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s + T_{alr}) (T_s^2 + T_{alr}^2)$$

Estado estable y transitorio

Estado estable: Las condiciones y/o propiedades de un sistema permanecen constantes en el tiempo.

Estado transitorio: Las condiciones y/o propiedades de un sistema cambian en el tiempo.

Balance de energía

Primera ley de la termodinámica:
Principio de conservación de la energía



Permite relacionar distintos modos de transferencia de calor y fenómenos internos



Volúmenes y superficies

Balace de energía

Balace de energía para un volumen

Fenómenos de
superficie



Entrada y salida
de energía

Fenómenos
volumétricos



Generación y
almacenamiento
de energía

Bases temporales: instante e intervalo
de tiempo

Balancede energía

Balancede energía para un volumen

Instantane de tiempo

$$\dot{E}_{entra} + \dot{E}_{genera} - \dot{E}_{sale} = \dot{E}_{almacenada}$$

La velocidad a la que la energía térmica ingresa a un volumen, mas la velocidad a la que se genera energía dentro del volumen, menos la velocidad a la que la energía sale del volumen debe ser igual a la velocidad de incremento de energía almacenada dentro del volumen

Balancede energía

Balancede energía para un volumen
Intervalo de tiempo

$$E_{entra} + E_{genera} - E_{sale} = E_{almacenada}$$

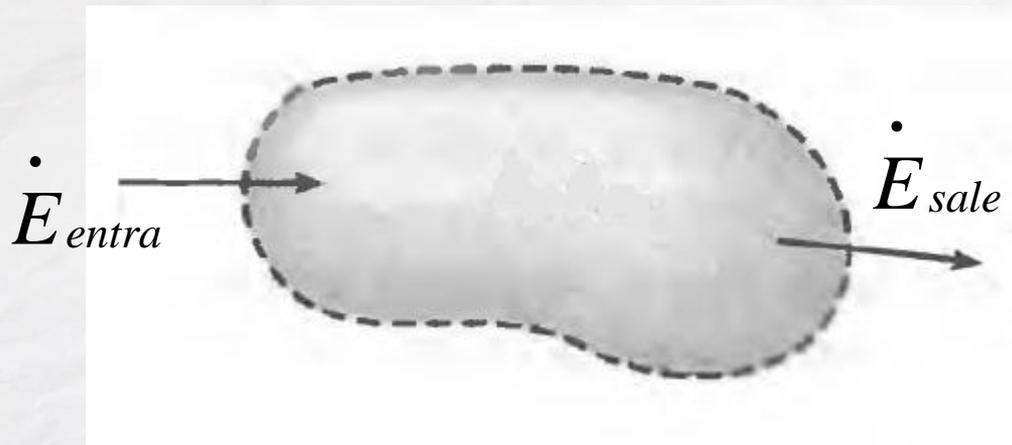
La cantidad de energía térmica que ingresa a un volumen, mas la cantidad de energía que se genera dentro del volumen, menos la cantidad de energía que sale del volumen debe ser igual a la cantidad de energía almacenada dentro del volumen

Balancede energía

Energía que entra o sale del volumen



Relacionada con los modos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación



Balancede energía

Energía generada



Conversión de energía



BALANCE DE ENERGÍA

Energía almacenada

Problemas en estado transitorio, en los cuales existe un gradiente de temperatura en el tiempo

$$\dot{E}_{alm} = \rho \cdot C_p \cdot \nabla \cdot \frac{dT}{dt}$$

Problemas que involucran cambio de fase

$$\dot{E}_{alm} = \dot{m} \cdot h_{fg} \quad E_{alm} = \frac{m}{\Delta t} \cdot h_{fg}$$

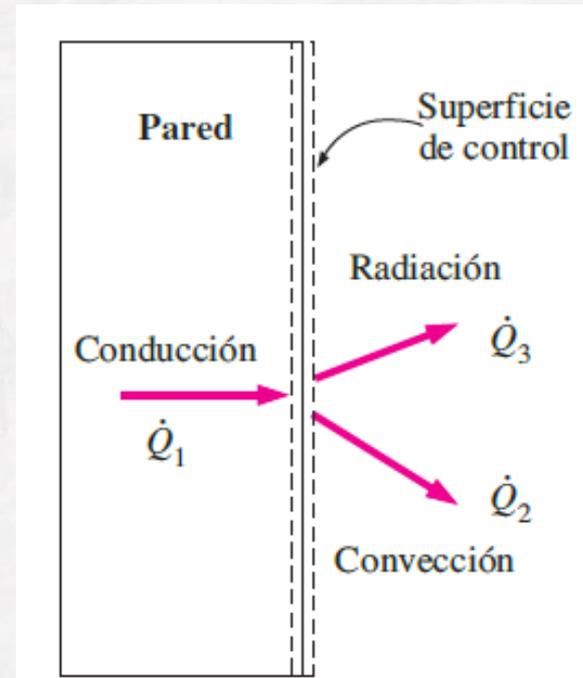
Balace de energía

Balace de energía para una superficie

Fenómenos de superficie



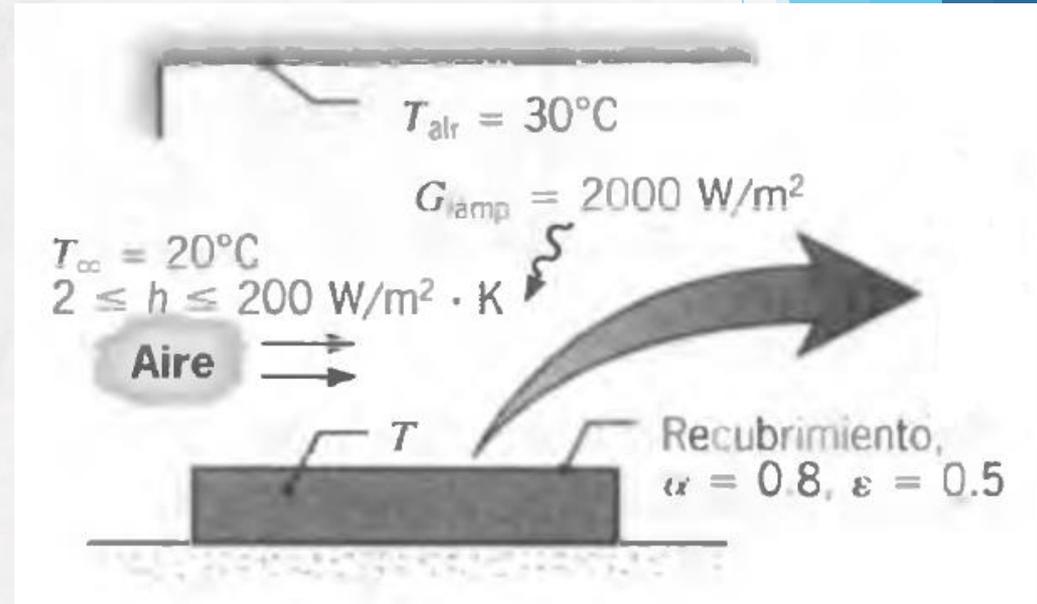
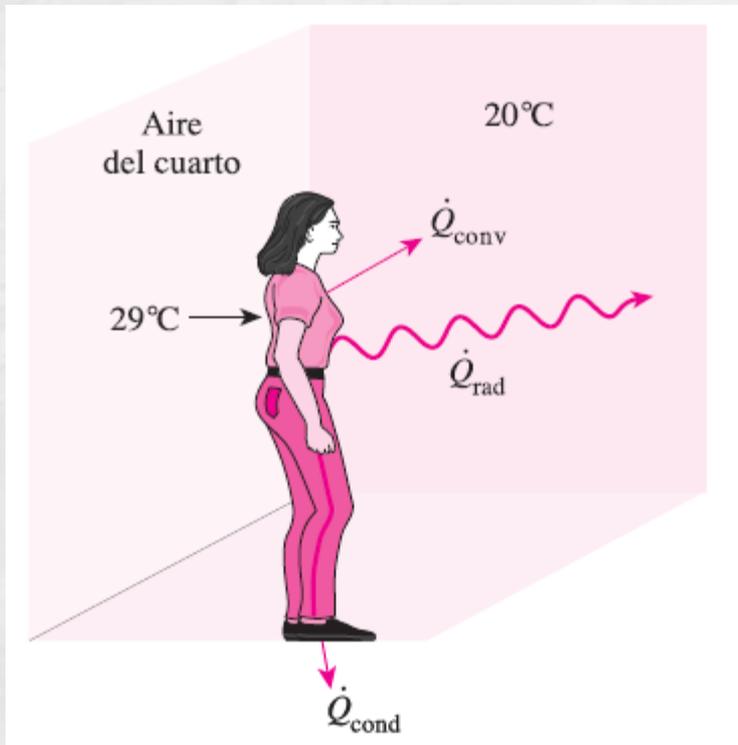
Entrada y salida de energía



$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{sale}$$

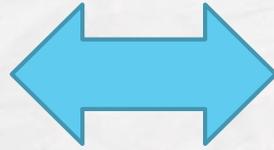
Balace de energía

Ejemplos



Método de analogía eléctrica

Energía
eléctrica



Energía
térmica

Ley de ohm

$$I = \frac{V}{R_e}$$

Utilidad

Paredes compuestas
Varios modos de
transferencia de calor

Método de analogía eléctrica

Paredes compuestas

