



UNIVERSIDAD  
DE LOS ANDES  
MERIDA-VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TRANSFERENCIA DE CALOR

TEMA 1  
INTRODUCCIÓN

PROF. FRANZ RAIMUNDO

# CONTENIDO:

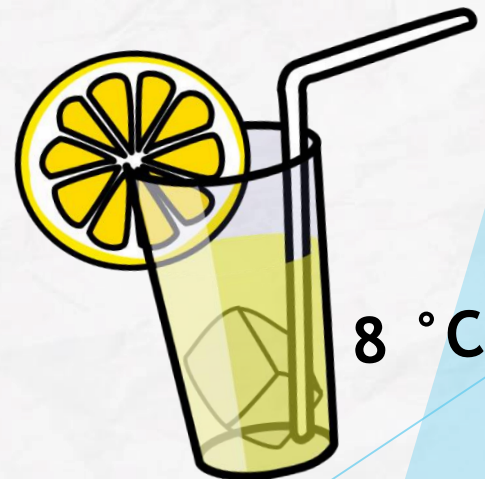
## INTRODUCCIÓN

- *¿Qué es la transferencia de calor?*
- *¿Cómo se transfiere el calor?*
- *Modos de transferencia de calor*
- *Estado Estable y transitorio*
- *Balanza de 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

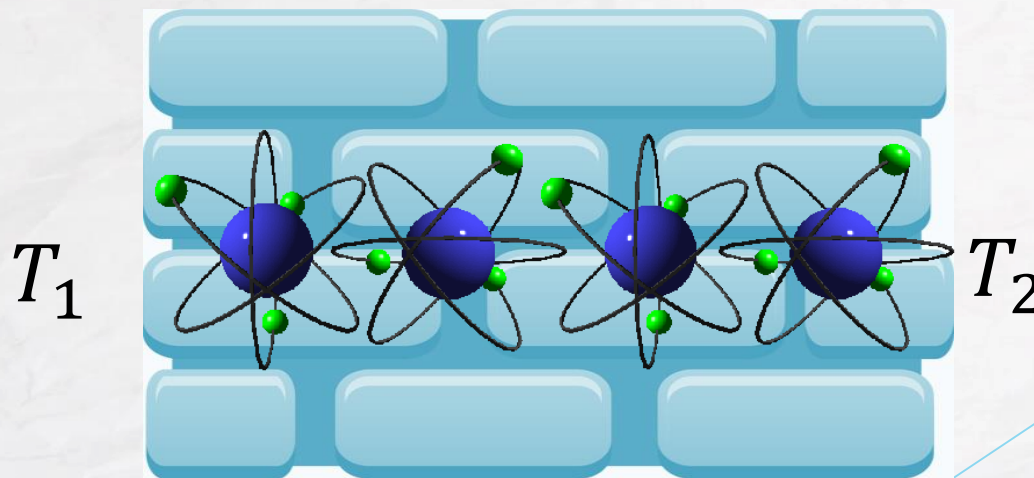
- CONDUCCIÓN
- CONVECCIÓN
- RADIACIÓN

# Modos: CONDUCCIÓN

## CONDUCCIÓN

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

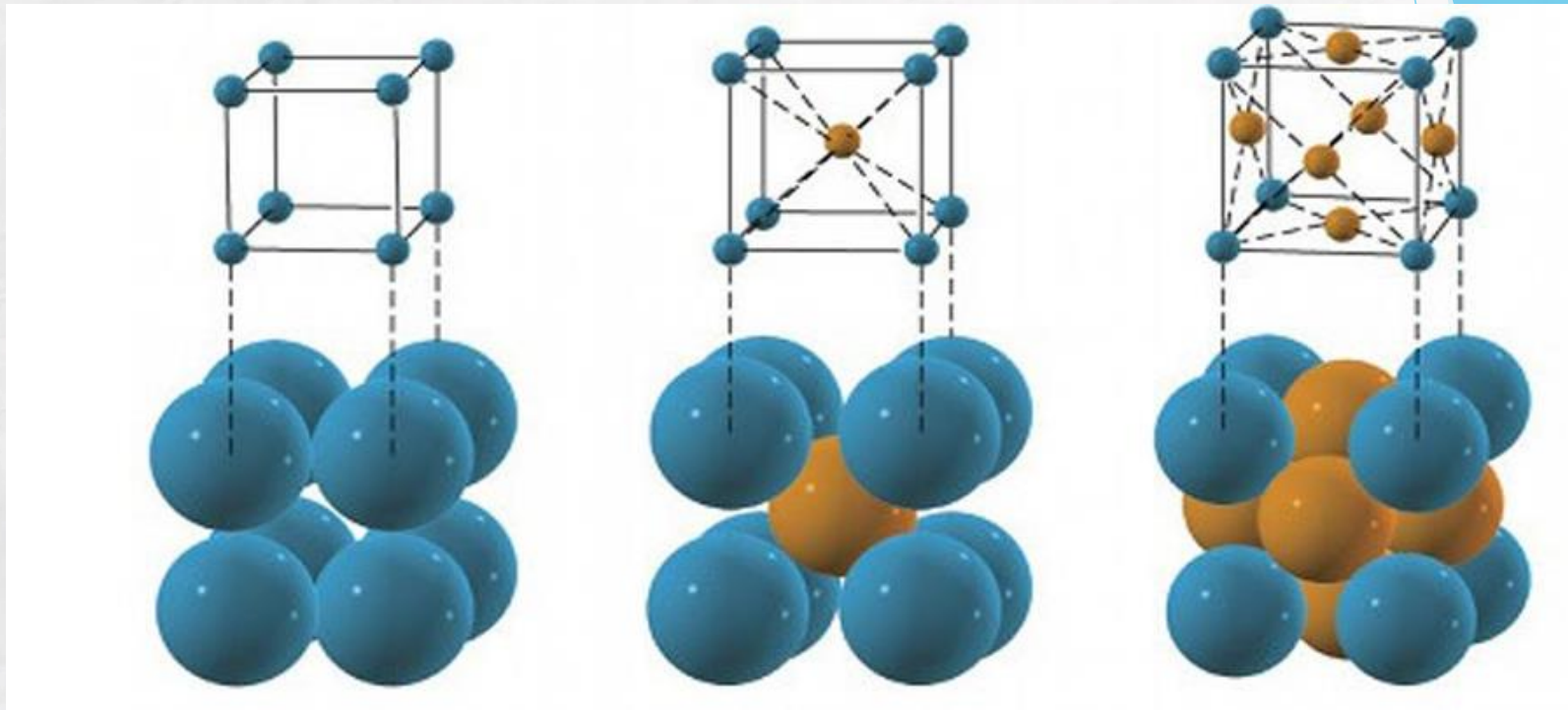
Actividad atómica y molecular



$$T_1 > T_2$$

# Modos: CONDUCCIÓN

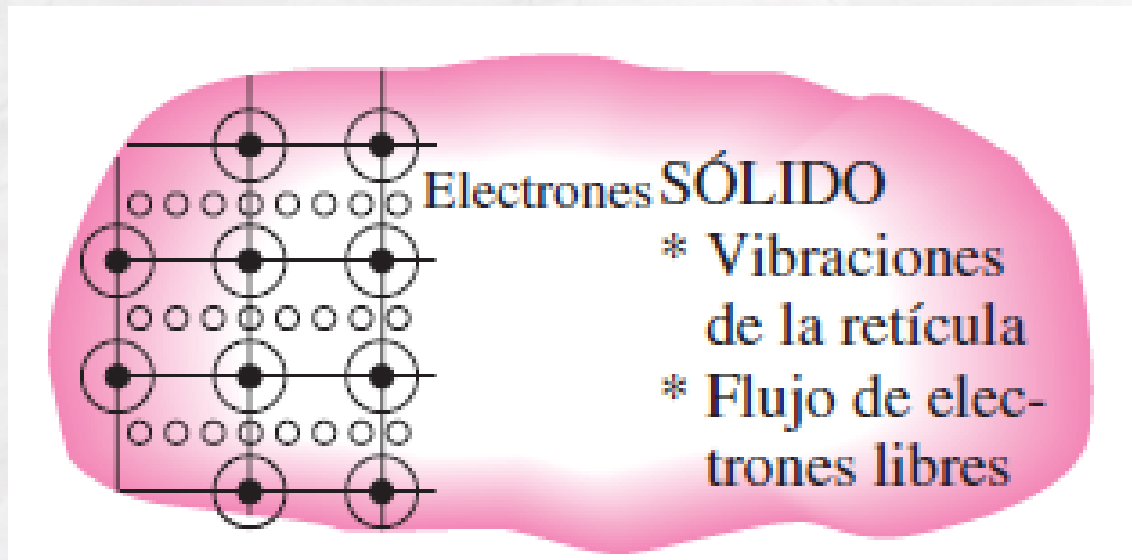
## CONDUCCIÓN EN SÓLIDOS



EFFECTIVA

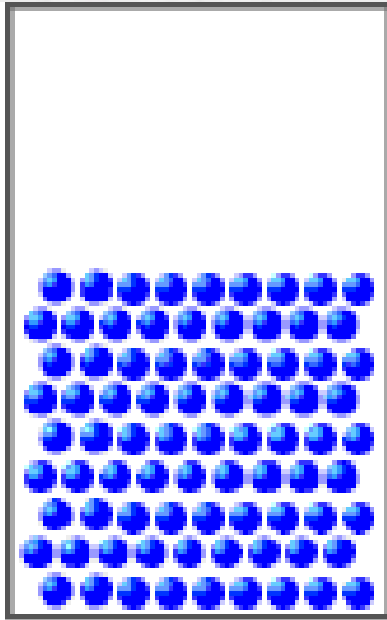
# Modos: CONDUCCIÓN

## CONDUCCIÓN EN SÓLIDOS

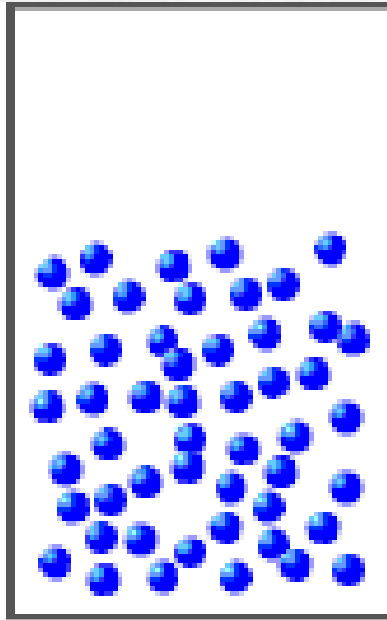


# Modos: CONDUCCIÓN

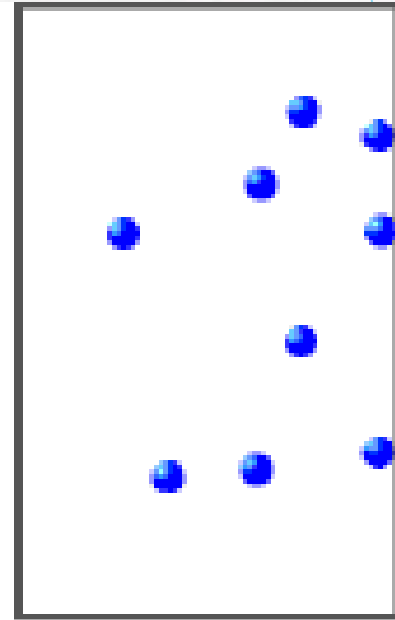
## CONDUCCIÓN EN FLUIDOS



**Solid**



**Liquid**



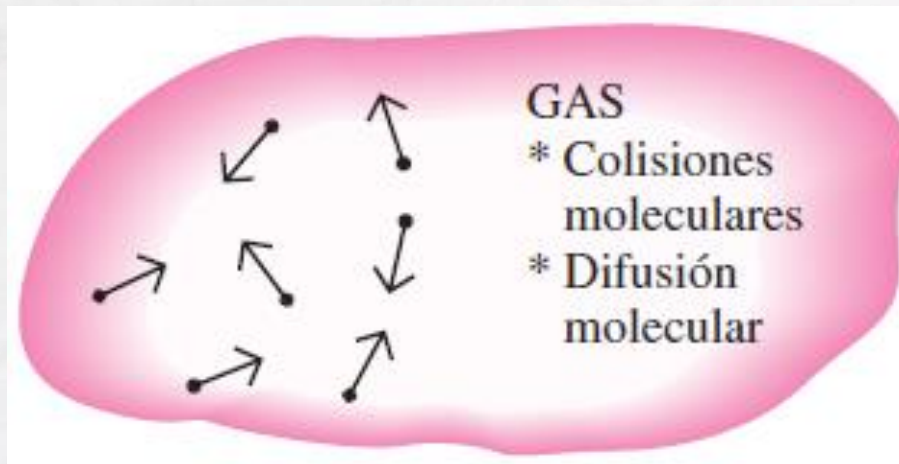
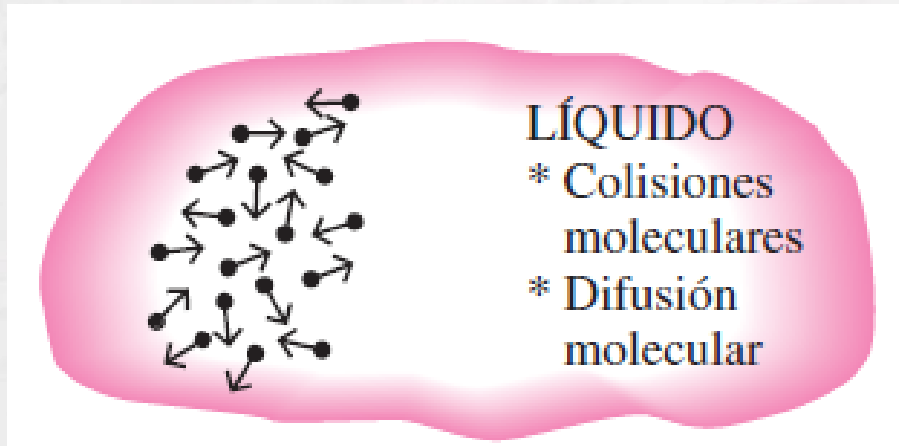
**Gas**

POCO EFECTIVA



# Modos: CONDUCCIÓN

## CONDUCCIÓN EN FLUIDOS



# Modos: CONDUCCIÓN

## SISTEMAS DE AISLAMIENTO



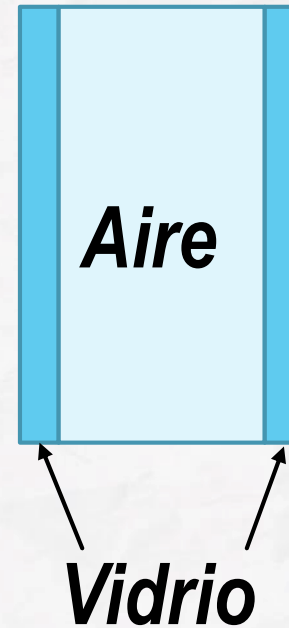
# Modos: CONDUCCIÓN

## APLICACIONES



# Modos: CONDUCCIÓN

## APLICACIONES



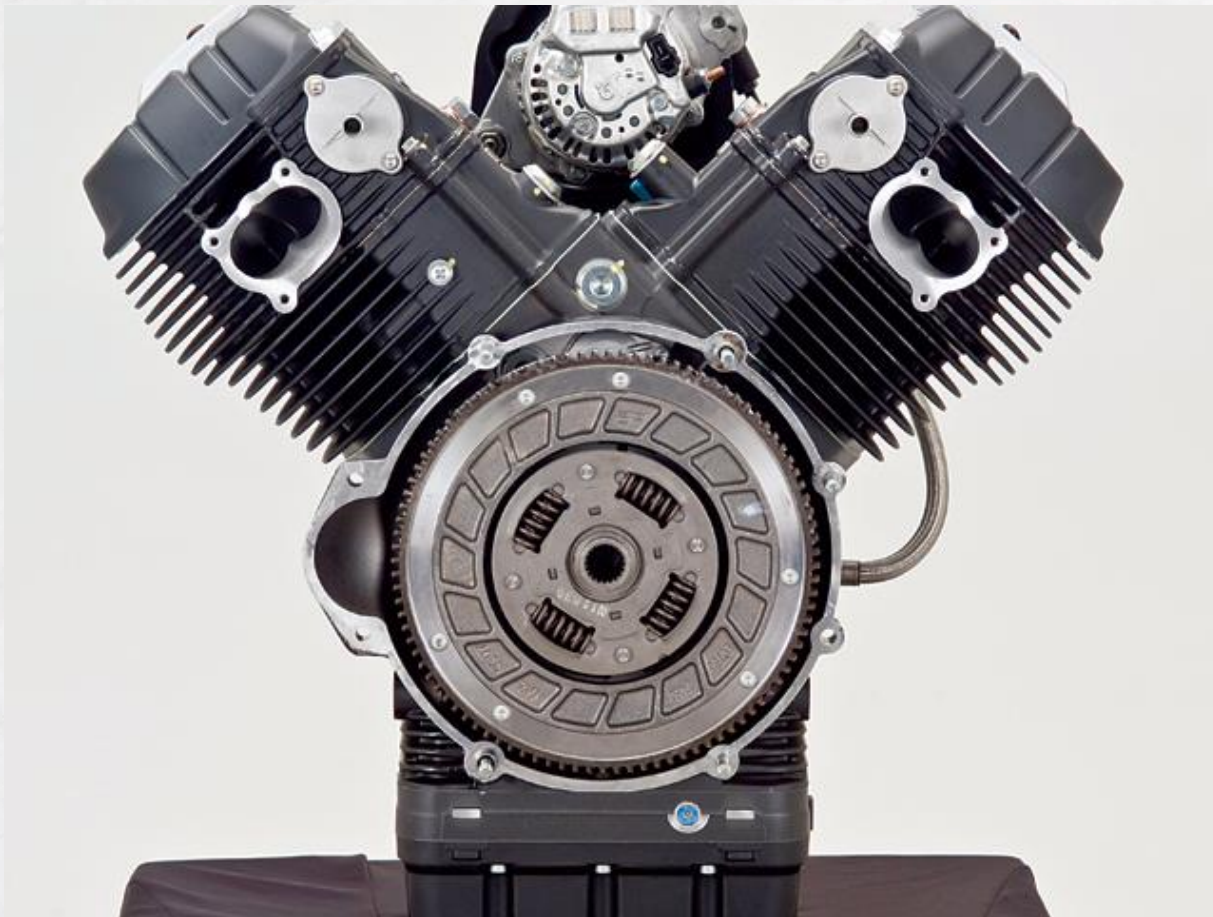
# Modos: CONDUCCIÓN

## APLICACIONES



# Modos: CONDUCCIÓN

## APLICACIONES



# Modos: CONDUCCIÓN

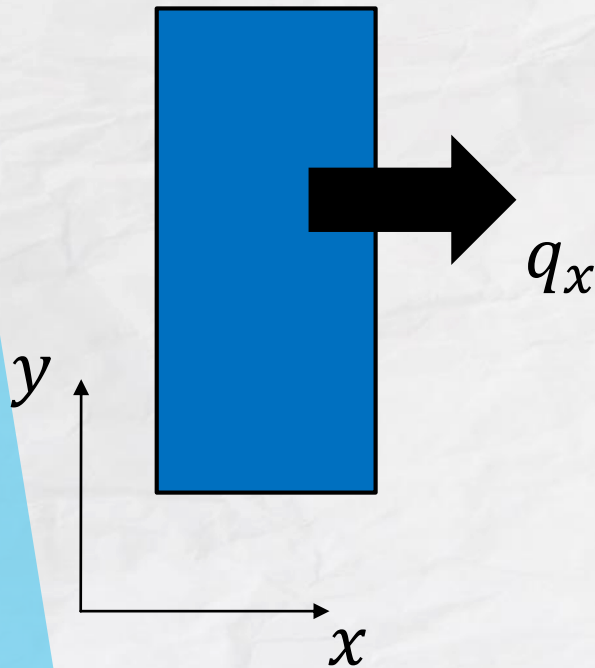
## APLICACIONES



# 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 <sup>3</sup>	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

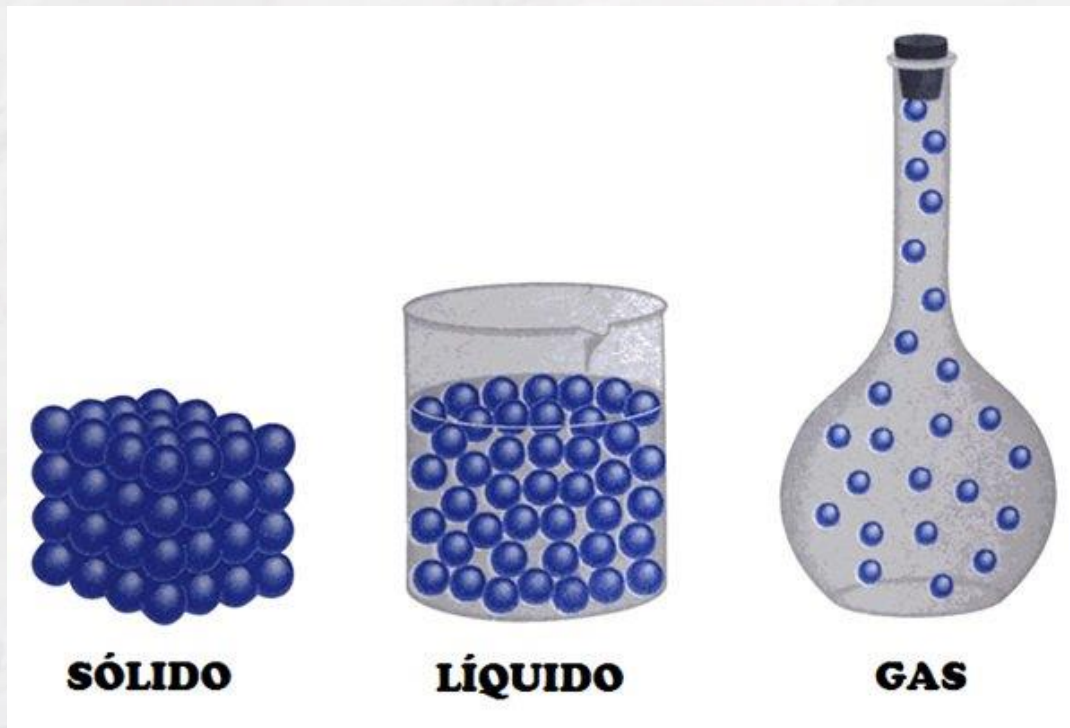
### A.1.2. Materiales No Metálicos

Sustancia	Densidad kg/dm <sup>3</sup>	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

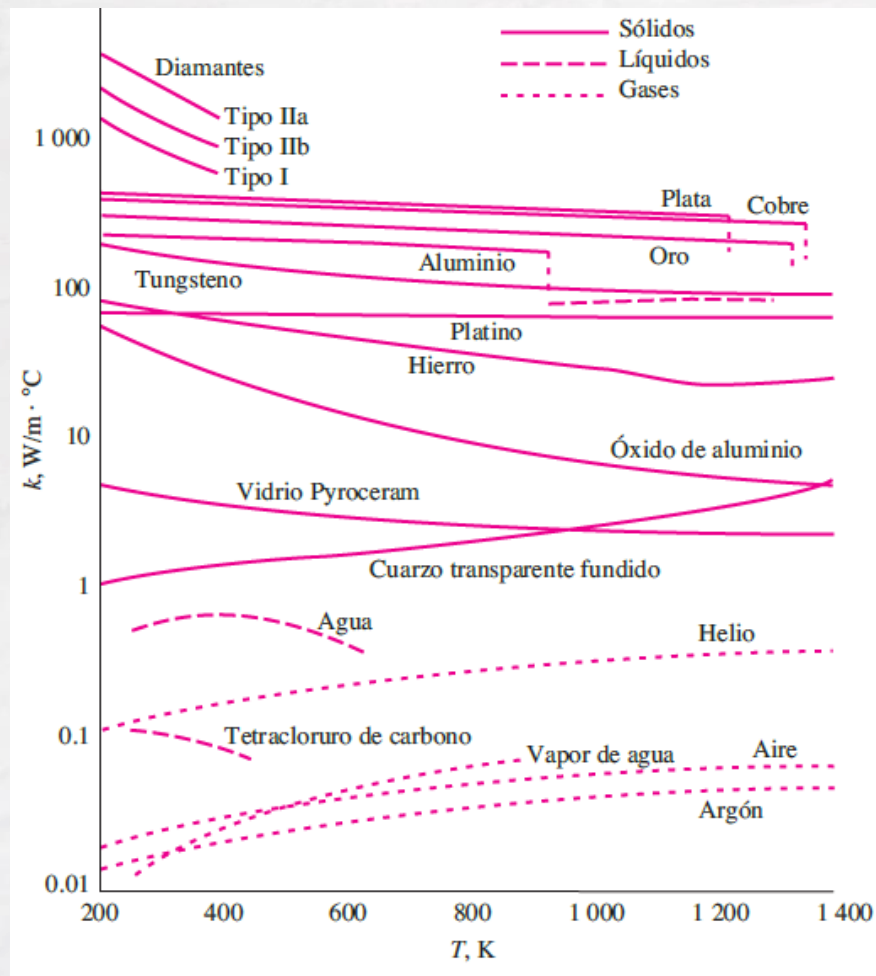
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)

ESTADO



# Modos: CONDUCCIÓN

## CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K) TEMPERATURA



# **Modos: CONDUCCIÓN**

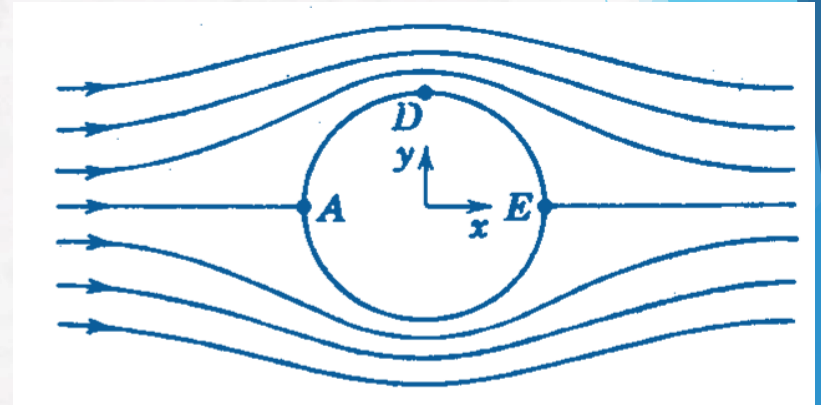
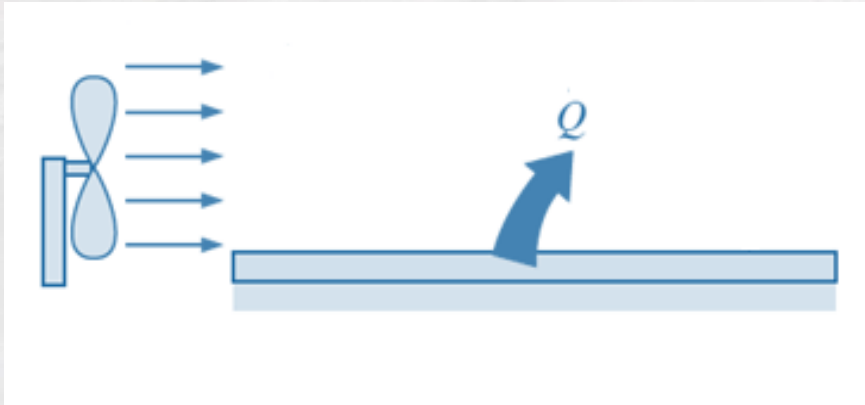
## **CONDUCCIÓN EN GEOMETRÍAS BÁSICAS**

- **PARED PLANA**
- **CILINDRO**
- **ESFERA**

# Modos: CONVECCIÓN

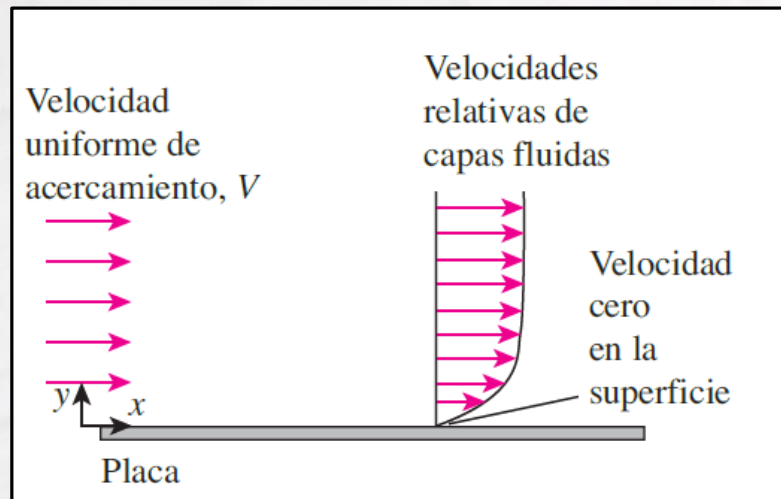
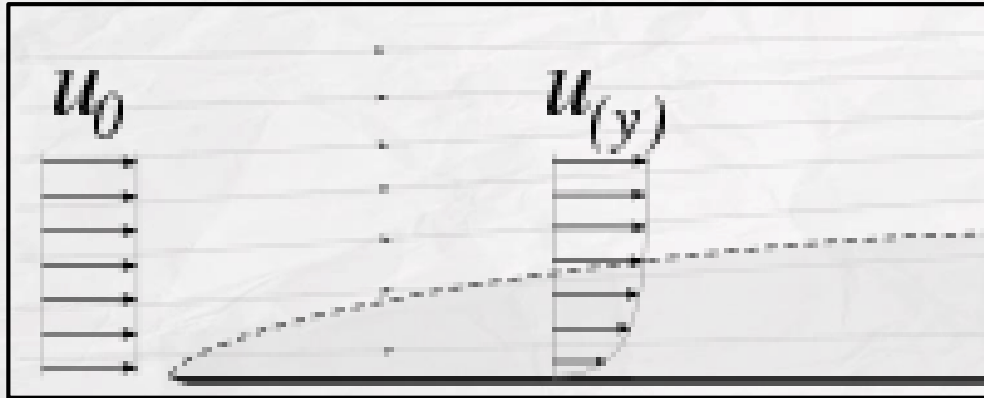
## CONVECCIÓN

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



# Modos: CONVECCIÓN

## CAPA LÍMITE HIDRODINÁMICA

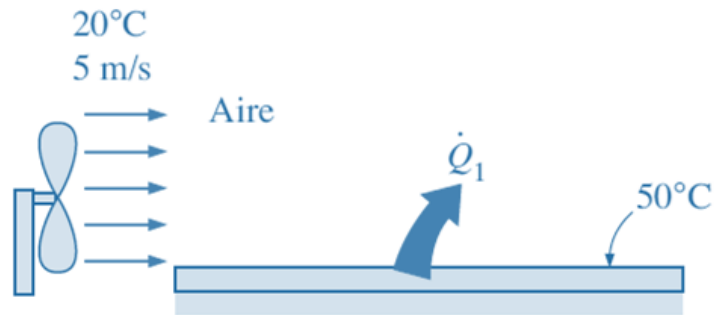


**DIFUSIÓN**

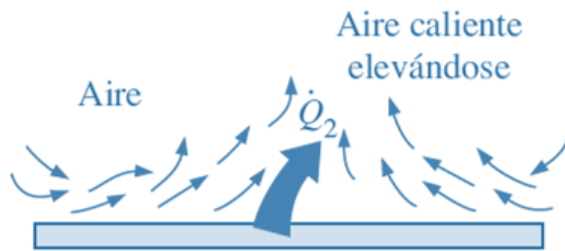
**ADVECCIÓN**

# Modos: CONVECCIÓN

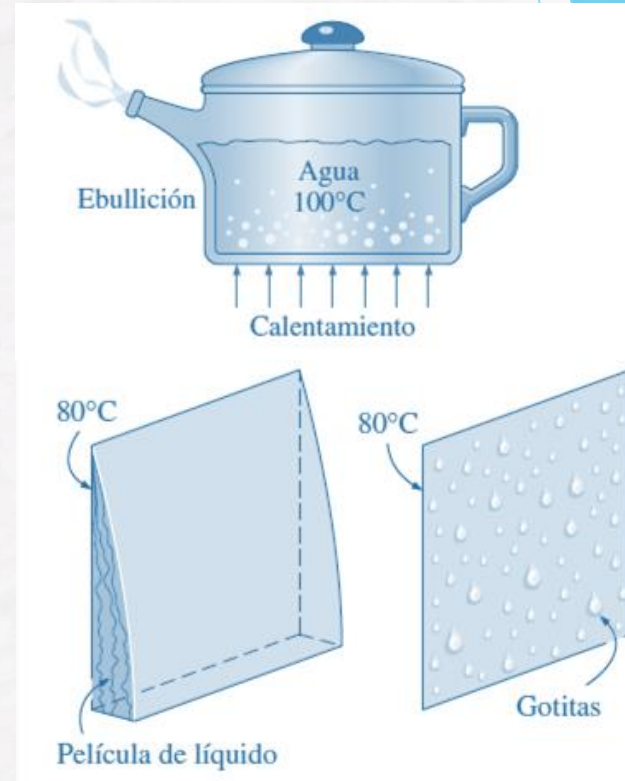
## TIPOS DE CONVECCIÓN



a) Convección forzada



b) Convección libre

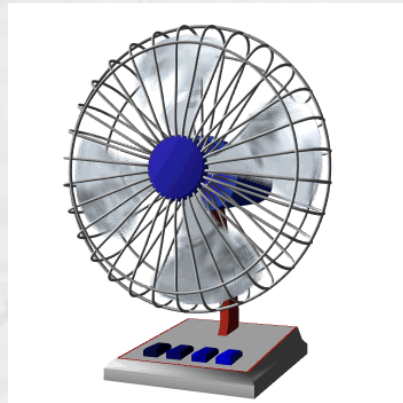


c) Cambio de fase



# Modos: CONVECCIÓN

## CONVECCIÓN FORZADA



IMPULSAR EL FLÚIDO  
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

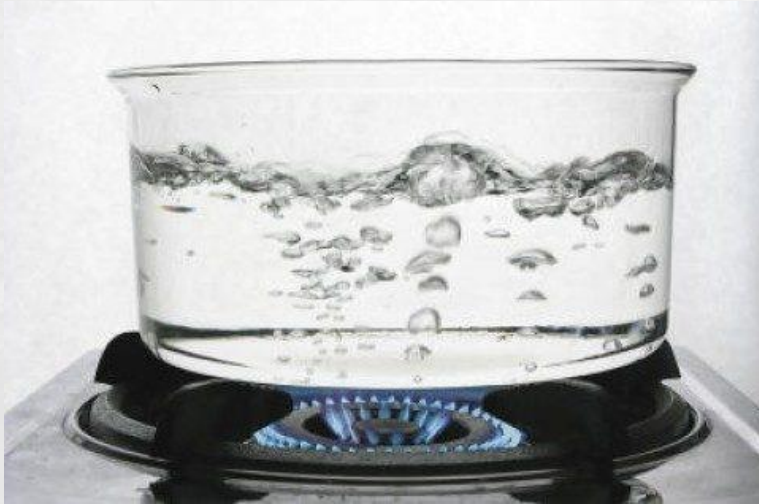


$$\rho = \frac{m}{v}$$

¿Siempre se mueve el fluido?

# Modos: CONVECCIÓN

## CONVECCIÓN CON CAMBIO DE FASE



# Modos: CONVECCIÓN

APLICACIONES

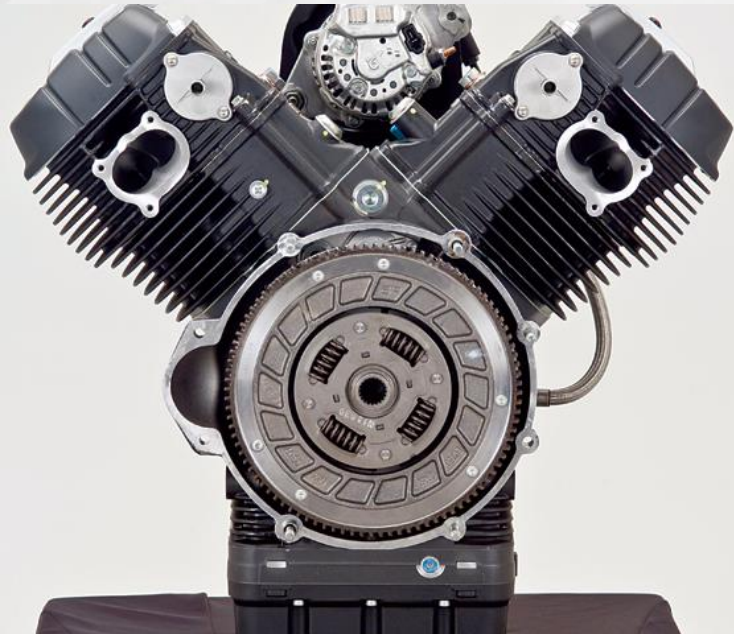
CONVECCIÓN FORZADA



# Modos: CONVECCIÓN

APLICACIONES

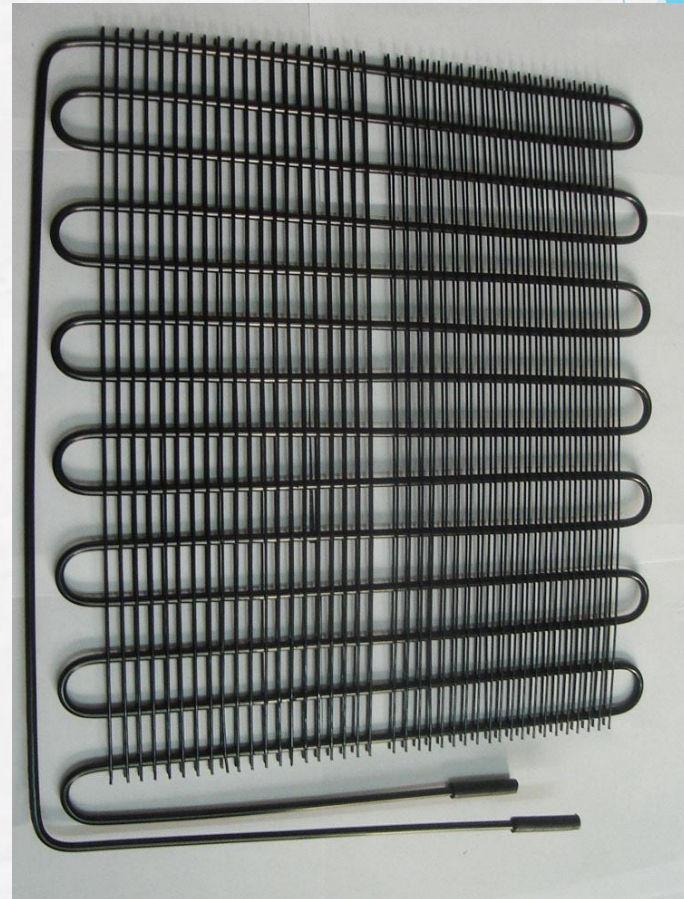
CONVECCIÓN NATURAL



# Modos: CONVECCIÓN

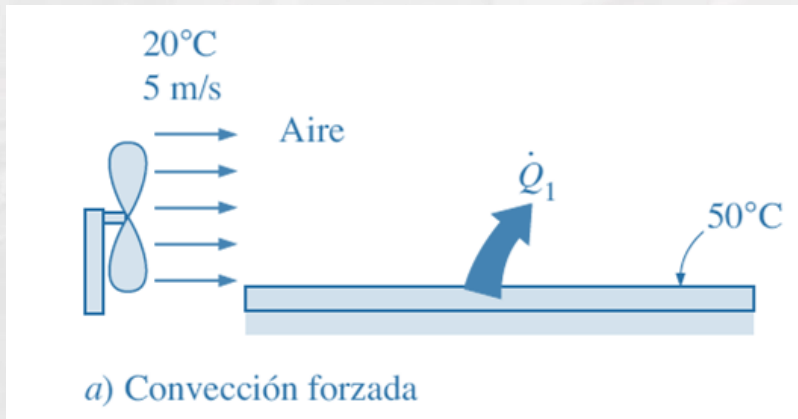
## APLICACIONES

### 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

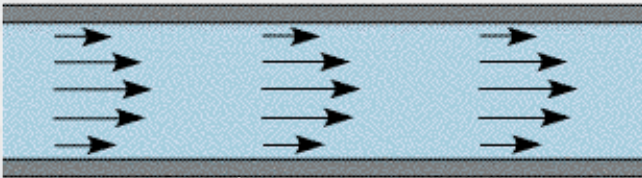
$$\text{UNIDADES: } \frac{W}{m^2 K} \quad \frac{W}{m^2 {}^\circ C}$$

# Modos: CONVECCIÓN

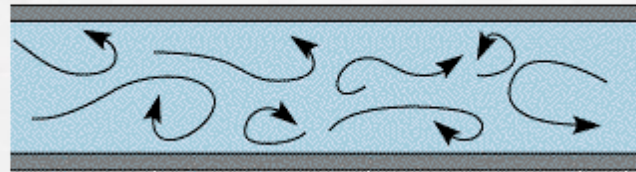
## COEFICIENTE DE CONVECCIÓN ( $h$ )

### Condiciones de flujo

LAMINAR



TURBULENTO



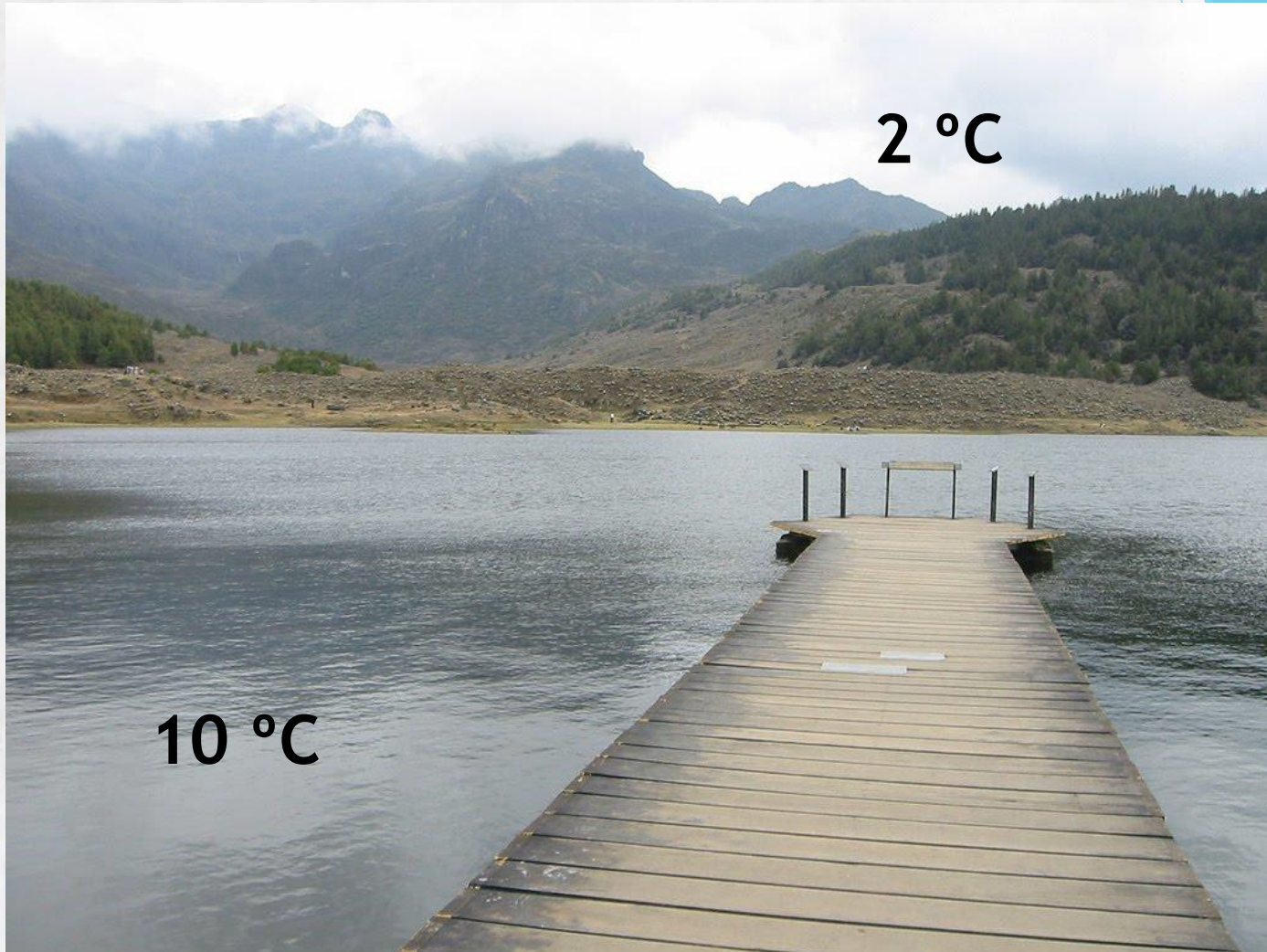
# Modos: CONVECCIÓN

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

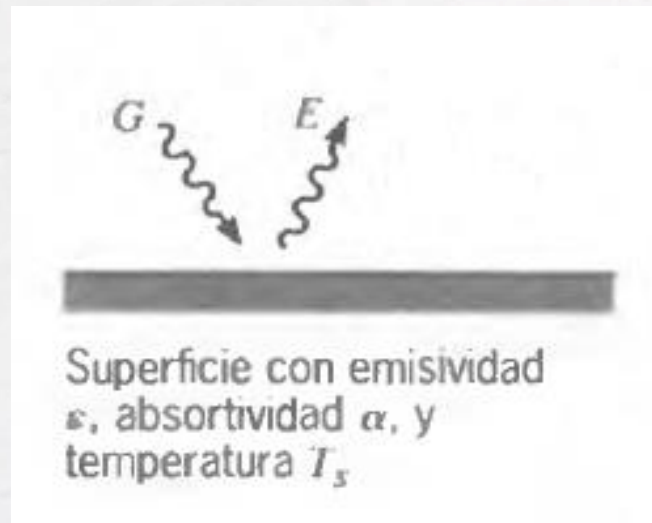
## POTENCIA EMISIVA (E)

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

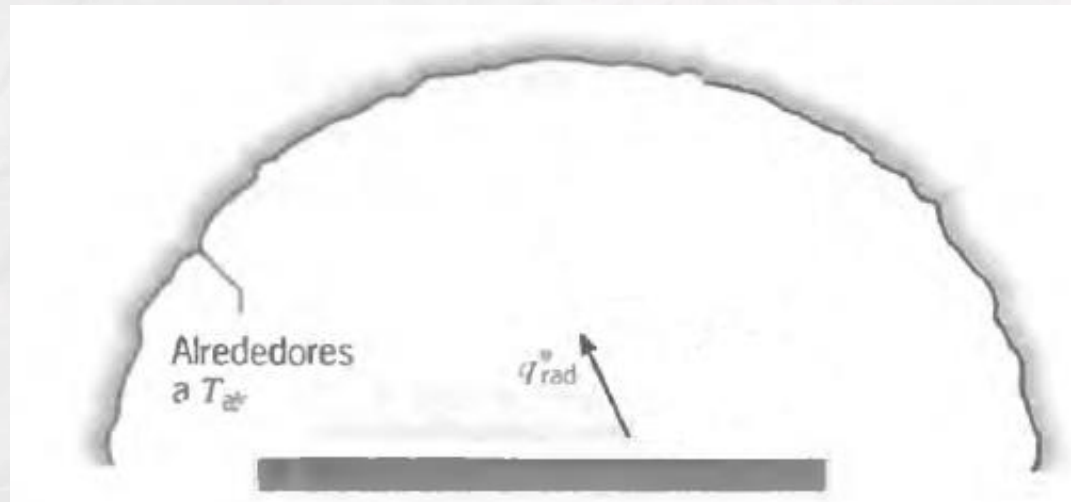
IRRADIACIÓN (Cuerpo real)  $G_{abs} = \alpha \cdot A \cdot G$

$\alpha =$  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*

# Balancedeenergía

Balancedeenergía 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

Instante 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

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

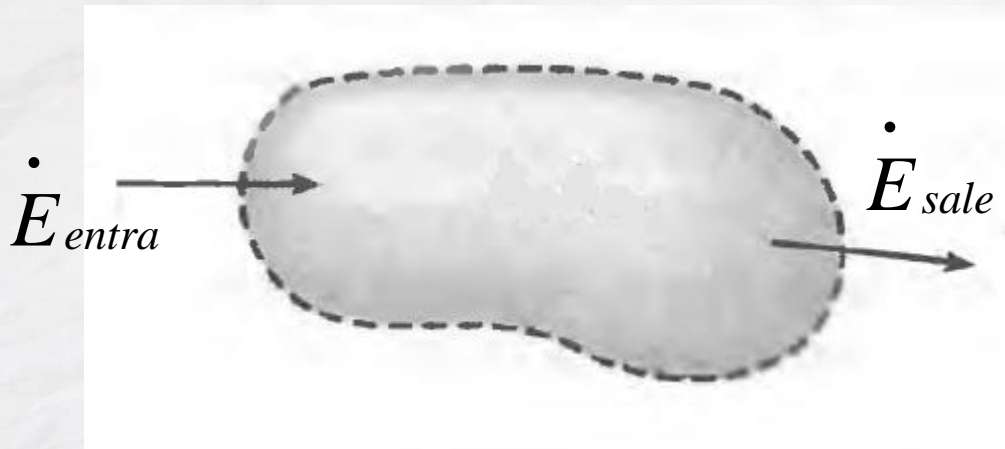
*La cantidad de energía térmica que ingresa a un volumen, mas la cantidad de energía que se genera dentro del volumen, menos la cantidad de energía que sale del volumen debe ser igual a la cantidad de energía almacenada dentro del volumen*

# 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*

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

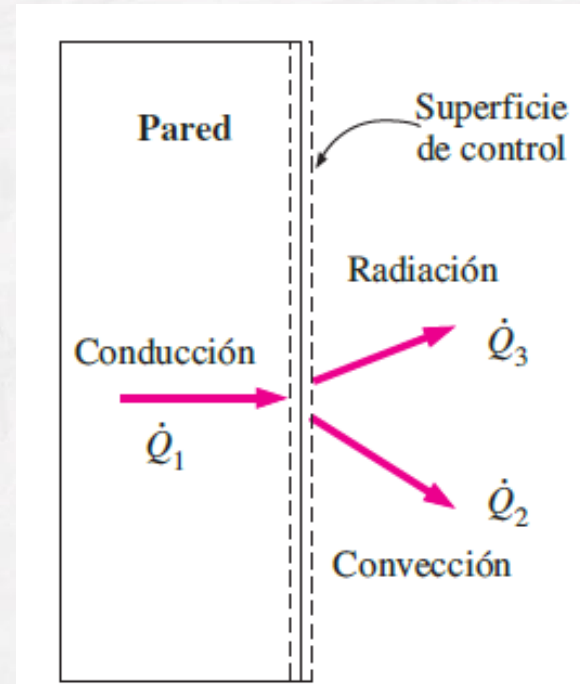
# Balace de energía

## Balace de energía para una superficie

Fenómenos de superficie



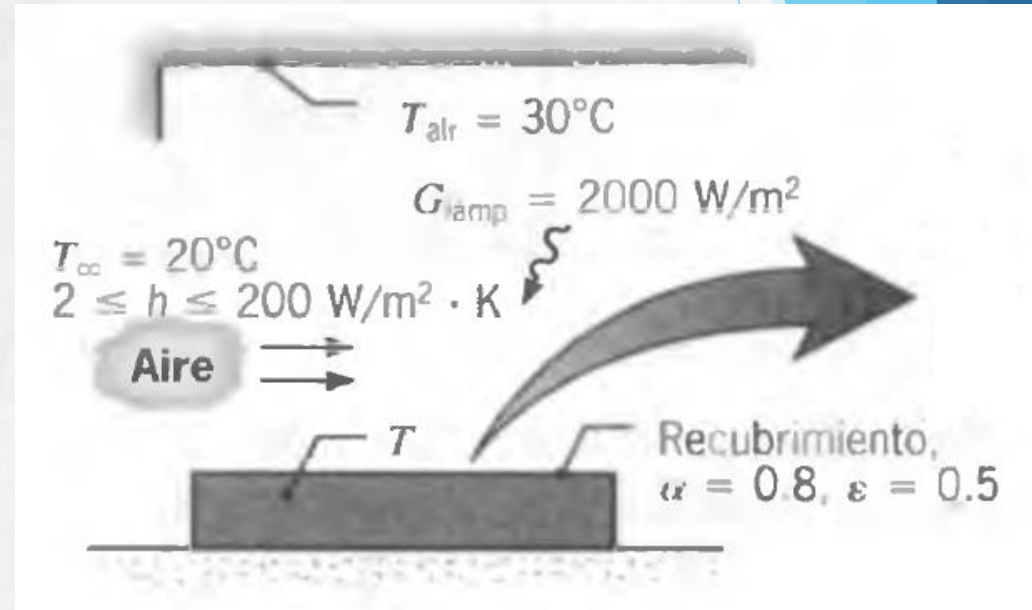
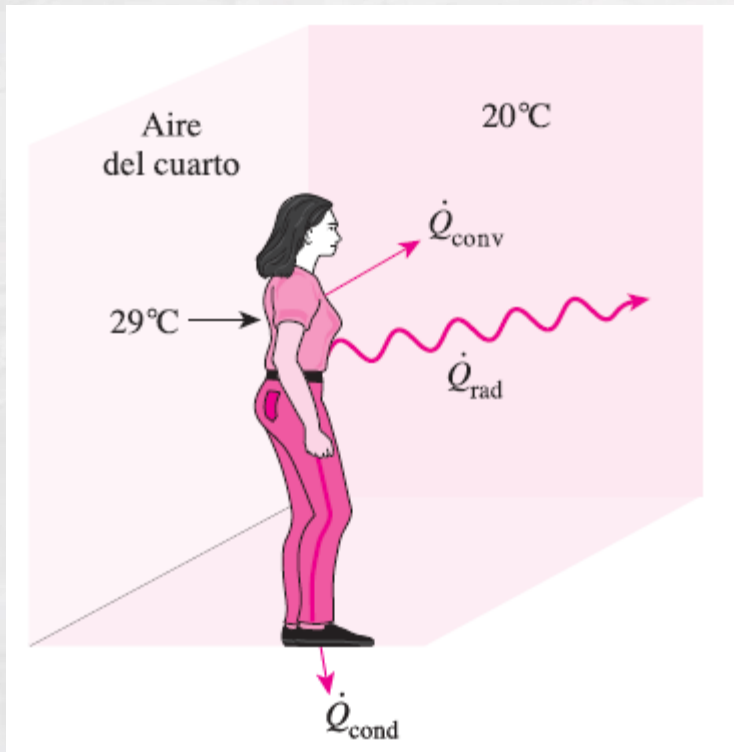
Entrada y salida de energía



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

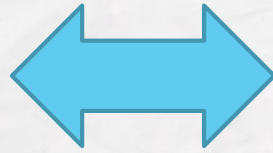
# Balace de energía

## 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

