

TEMA 3

Transmisión del calor por conducción y por convección

3.1 Introducción

ENERGÍA de un sistema:

- **ENERGÍA MECÁNICA**
- **ENERGÍA INTERNA U**

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA:

Trabajo y calor:

- **no son funciones de estado**
- **función del proceso: formas transitorias de energía**

OBJETIVO: ESTUDIO DE FORMAS BÁSICAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

Conducción - Convección - Radiación

Intercambio de energía en forma de calor:

- **diferencia de temperaturas**
- **Primer Principio de la Termodinámica: conservación de la energía**
- **Segundo Principio de la Termodinámica:**

SISTEMA CALIENTE \Rightarrow SISTEMA FRÍO

¿POR QUÉ ES INTERESANTE ESTE ESTUDIO?

Diferentes condiciones térmicas en exterior e interior de una instalación

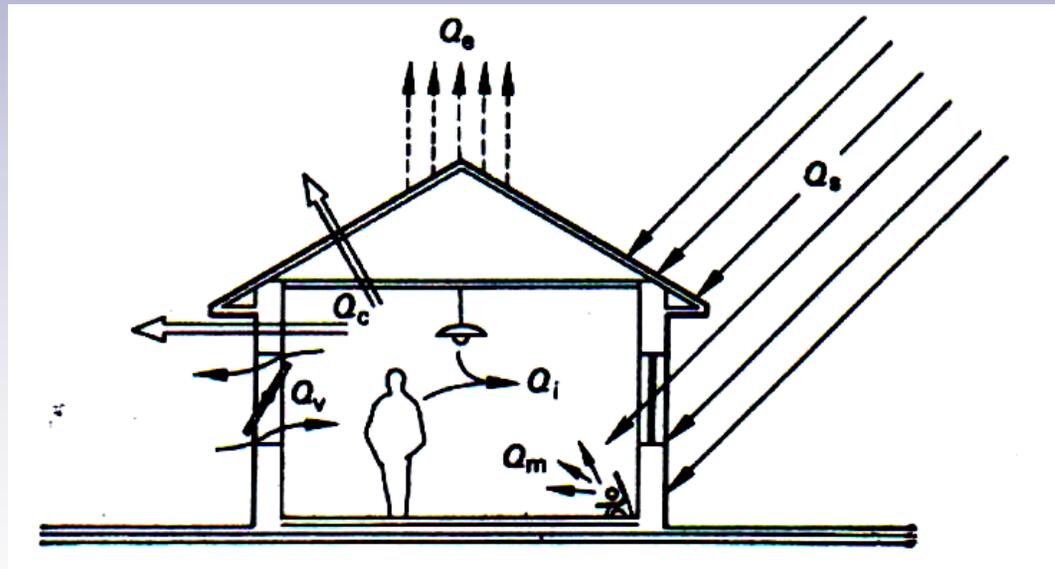
Transferencia de calor elevada: pérdida de eficiencia y alto coste energético

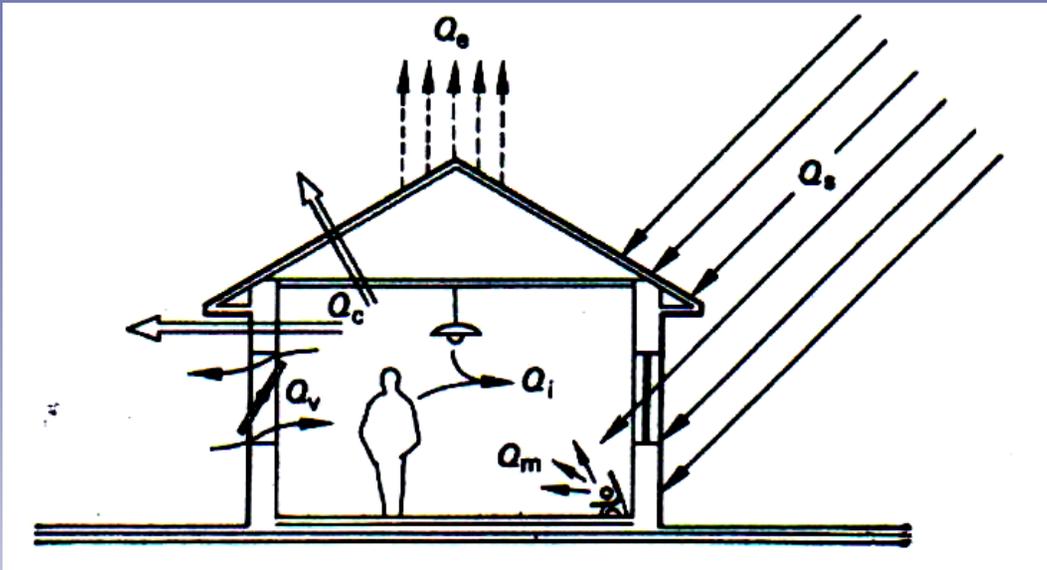
1) REDUCCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO: adecuado aislamiento

2) CONFORT TÉRMICO EN UN ESPACIO: combinación temperatura y grado de humedad

3.2. Modalidades básicas de transmisión del calor

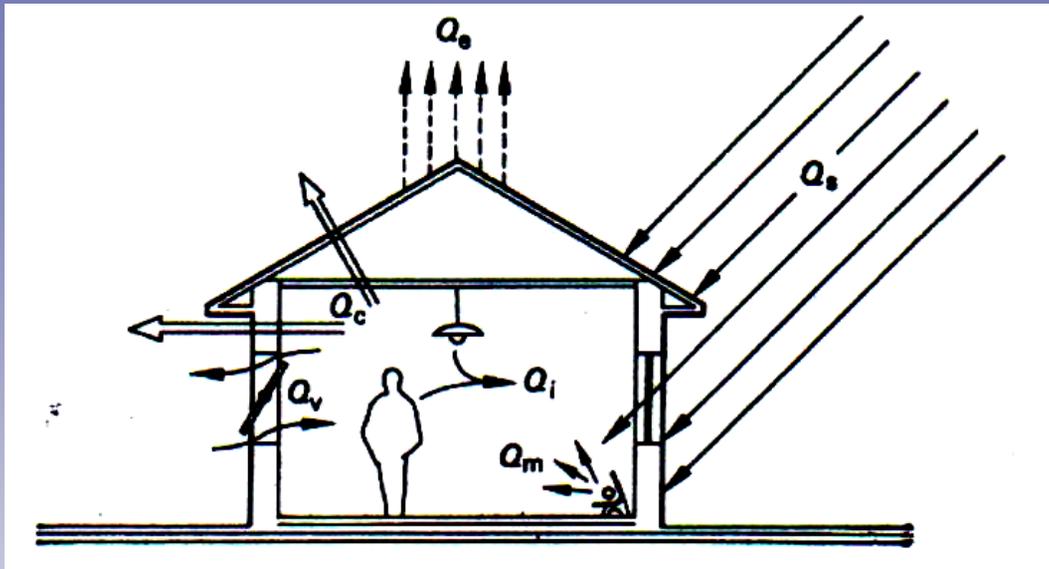
- CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN
- PROBLEMAS PRÁCTICOS: PRESENCIA DE LAS TRES, UNO PREDOMINA





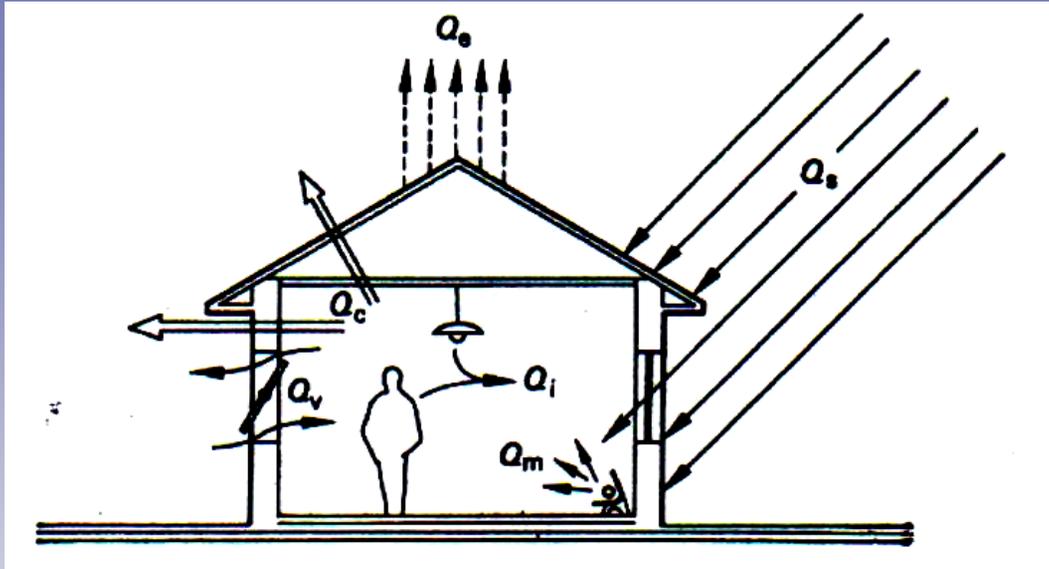
CONDUCCIÓN:

- intercambio de energía cinética: movimiento de electrones libres
- soporte material



CONVECCIÓN:

- transporte de energía por desplazamiento de las masas de fluido
- **convección libre o natural:** diferencia de temperaturas
- **convección forzada:** sistema mecánico (bomba o ventilador)

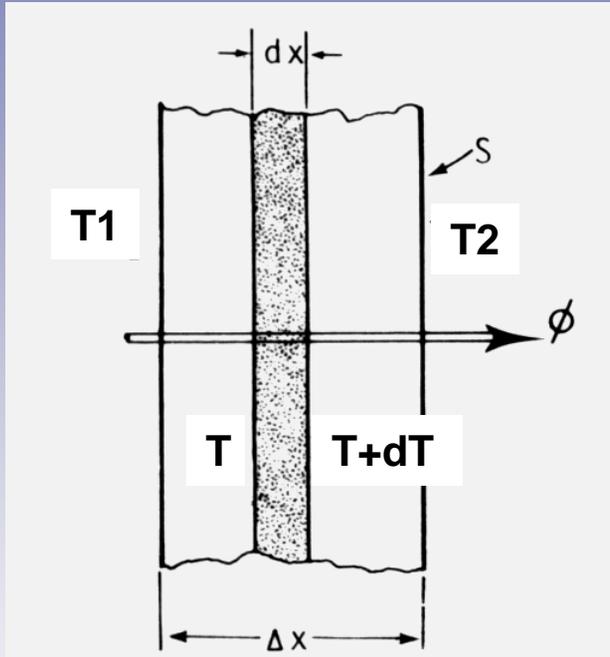


RADIACIÓN:

- radiación electromagnética emitida por los cuerpos en función de T
- reflexión, transmisión y absorción
- no exige medio de transporte (calor transferido por el sol)

3.3. Transferencia de calor por conducción

Medios isótropos:



Fórmula empírica (Fourier):

$$\Phi = kS \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kS \frac{T_2 - T_1}{\Delta x}$$

K: conductividad térmica ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

$$C = \frac{k}{\Delta x} \Rightarrow \Phi = CS(t_1 - t_2)$$

C: conductancia térmica

Densidad de flujo térmico:

$$q = \frac{\Phi}{S} = -k \frac{T_2 - T_1}{\Delta x}$$

Conductividad térmica:

K: facilidad de transmisión de calor por conducción de una sustancia

Dependiente de composición química, fase, presión y temperatura

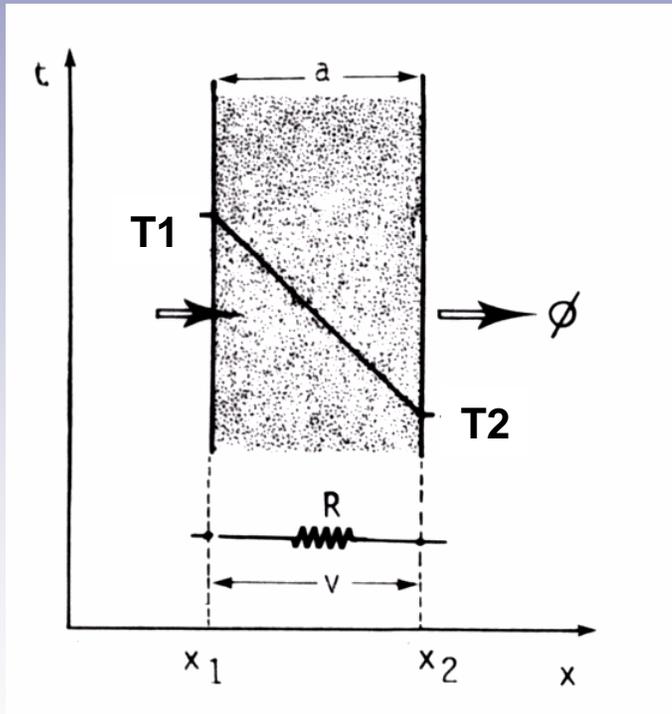
Sustancias	Conductividad térmica W/m-° C
Gases:	
Freón-12 (° C, 1 atm)	0.0083
Aire (° C, 1 atm)	0.0241
Líquidos:	
Anhídrido carbónico (liq. sat., 0° C)	0.105
Glicerina, pura (° C)	0.282
Agua (liq. sat., 0° C)	0.562
Sólidos:	
Vidrio, placa (20° C)	0.76
Hielo (0° C)	2.22
Ladrillo de magnesia (204° C)	3.81
Cuarzo (20° C)	7.6
Acero inoxidable (18 % Cr, 8 % Ni) (0° C)	16.3
Hierro, puro (0° C)	73
Cinc, puro (0° C)	112
Aluminio, puro (0° C)	202
Cobre, puro (0° C)	386
Plata, pura (0° C)	417

Ejemplos (régimen estacionario)

1. Pared plana con temperaturas de contorno conocidas

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0$$

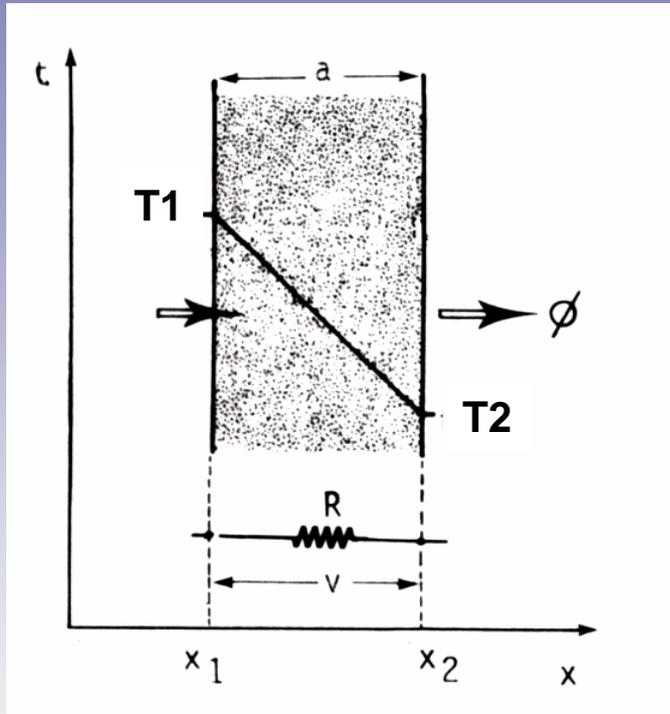


$$\frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) = 0 \Rightarrow \frac{dT}{dx} = C \Rightarrow T = Cx + C'$$

$$\left. \begin{array}{l} x=0 \quad T=T_1 \\ x=a \quad T=T_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} C = \frac{(T_2 - T_1)}{a} \\ C' = T_1 \end{array}$$

$$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{a} x$$

1. Pared plana con temperaturas de contorno conocidas



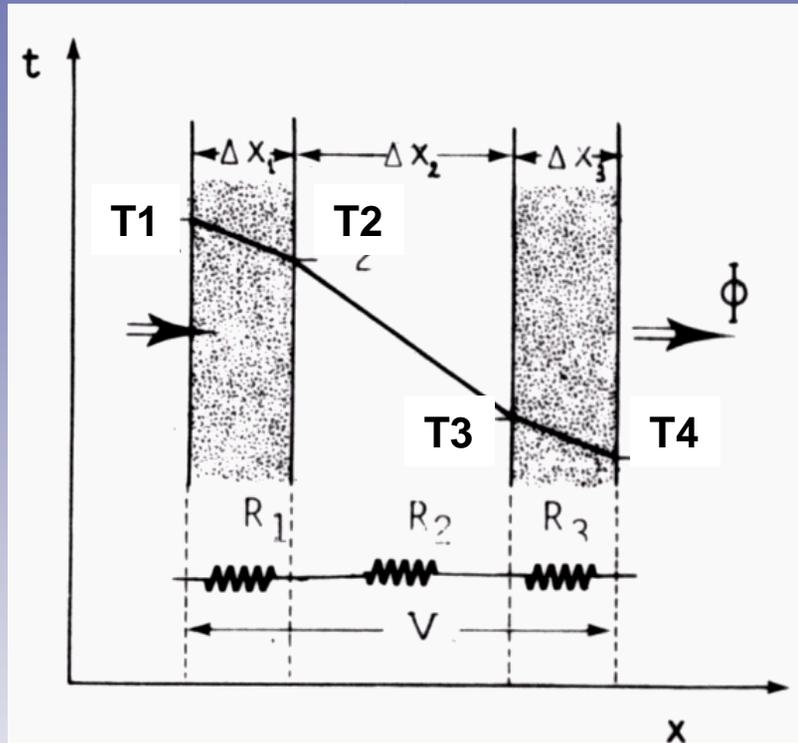
$$\Phi_x = kS \frac{T_1 - T_2}{a} = \frac{T_1 - T_2}{(a/kS)} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{t\u00e9rmica}}}$$

Resistencia t\u00e9rmica del muro:

$$R = \frac{a}{kS}$$

LEY DE OHM DE LA CONDUCCI\u00d3N T\u00c9RMICA

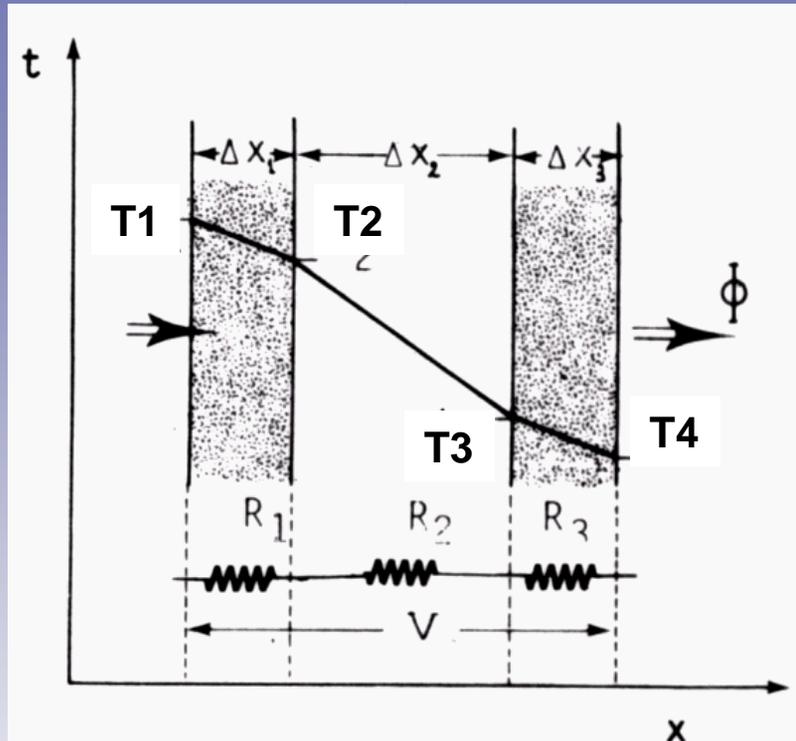
2. Pared de capas múltiples con temperaturas de contorno conocidas



$$\Phi = k_1 S \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_1} = k_2 S \frac{T_2 - T_3}{\Delta x_2} = k_3 S \frac{T_3 - T_4}{\Delta x_3}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{\Phi}{S} \frac{\Delta x_1}{k_1} \quad T_2 - T_3 = \frac{\Phi}{S} \frac{\Delta x_2}{k_2} \quad T_3 - T_4 = \frac{\Phi}{S} \frac{\Delta x_3}{k_3}$$

2. Pared de capas múltiples con temperaturas de contorno conocidas



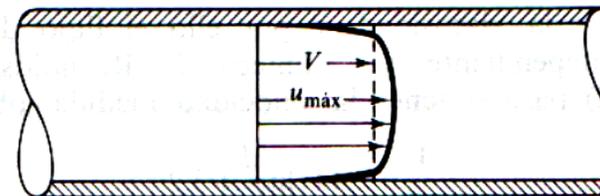
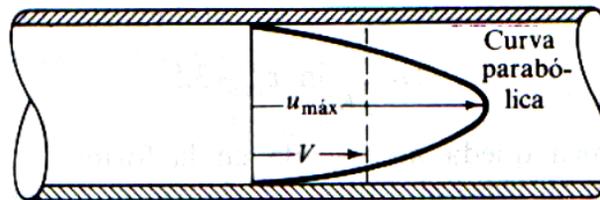
$$\Phi = \frac{S(T_1 - T_4)}{\left(\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3}\right)} = \frac{(T_1 - T_4)}{\left(\frac{\Delta x_1}{k_1 S} + \frac{\Delta x_2}{k_2 S} + \frac{\Delta x_3}{k_3 S}\right)} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

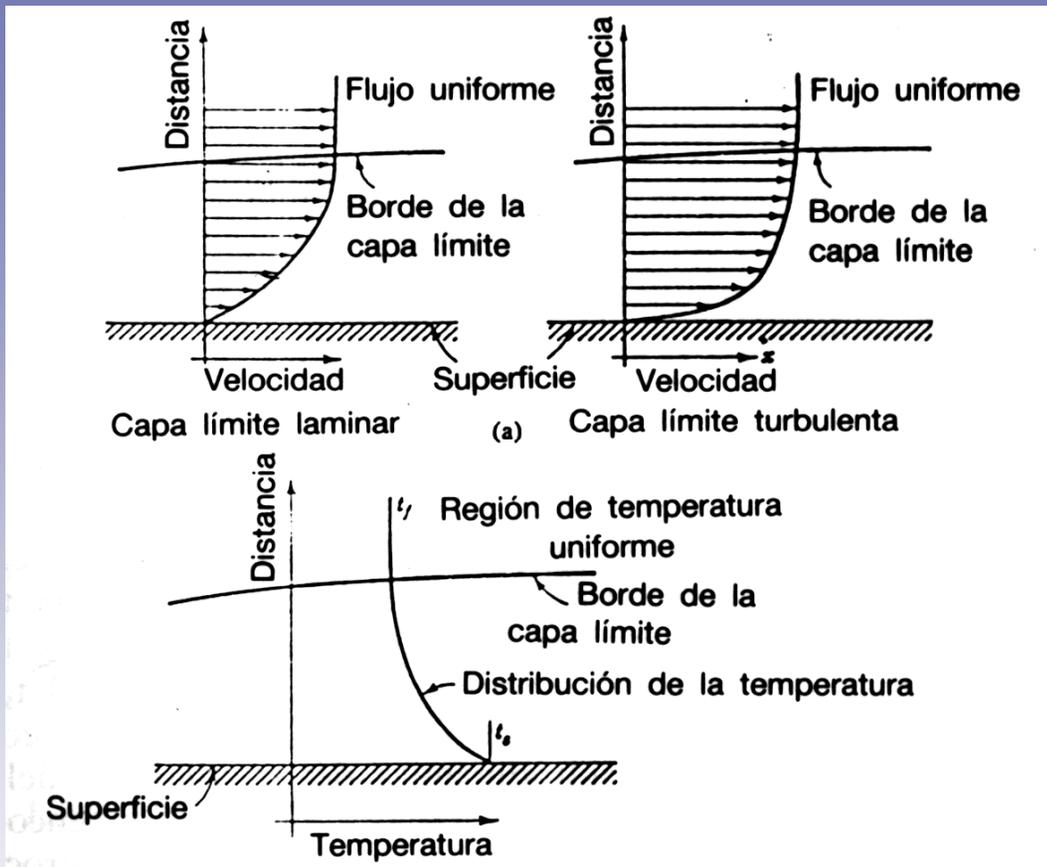
A partir de Φ podemos determinar T_2 y $T_3 \Rightarrow$ distribución de temperaturas

3.4. Transmisión del calor por convección

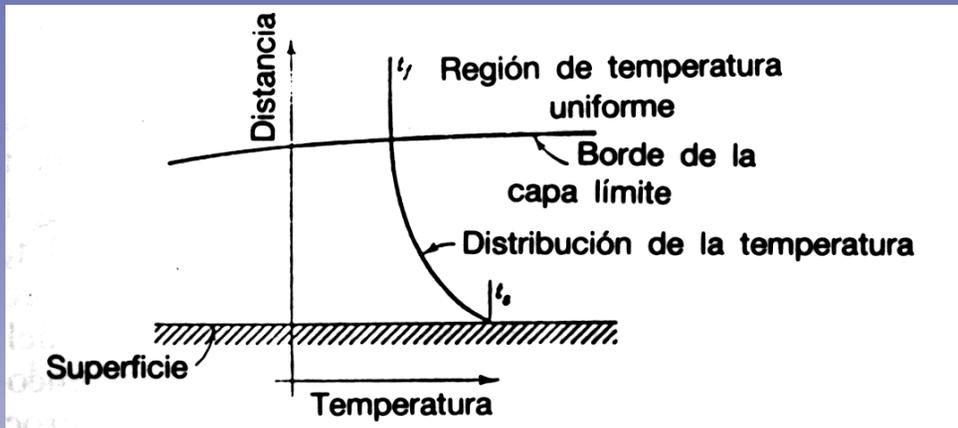
VISCOSIDAD Y VISCOSIDAD CINEMATICA DE OCHO FLUIDOS A 1 atm y 20° C

Fluido	μ , kg/(m·s)†	Relación $\mu/\mu(\text{H}_2)$	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s†	Relación $\nu/\nu(\text{Hg})$
1. Hidrógeno	$8,9 \times 10^{-6}$	1,0	0,084	$1,06 \times 10^{-4}$	910
2. Aire	$1,8 \times 10^{-5}$	2,1	1,20	$1,51 \times 10^{-5}$	130
3. Gasolina	$2,9 \times 10^{-4}$	33	680	$4,27 \times 10^{-7}$	3,7
4. Agua	$1,0 \times 10^{-3}$	114	999	$1,01 \times 10^{-6}$	8,7
5. Alcohol etílico	$1,2 \times 10^{-3}$	135	789	$1,51 \times 10^{-6}$	13
6. Mercurio	$1,5 \times 10^{-3}$	170	13 540	$1,16 \times 10^{-7}$	1,0
7. Aceite SAE 30	0,26	29 700	933	$2,79 \times 10^{-4}$	2 430
8. Glicerina	1,5	168 000	1 263	$1,19 \times 10^{-3}$	10 200





CAPA LÍMITE TÉRMICA: región en la que temperatura del fluido ha alcanzado una cierta fracción de T_f (zona T uniforme)



Ley de enfriamiento de Newton:

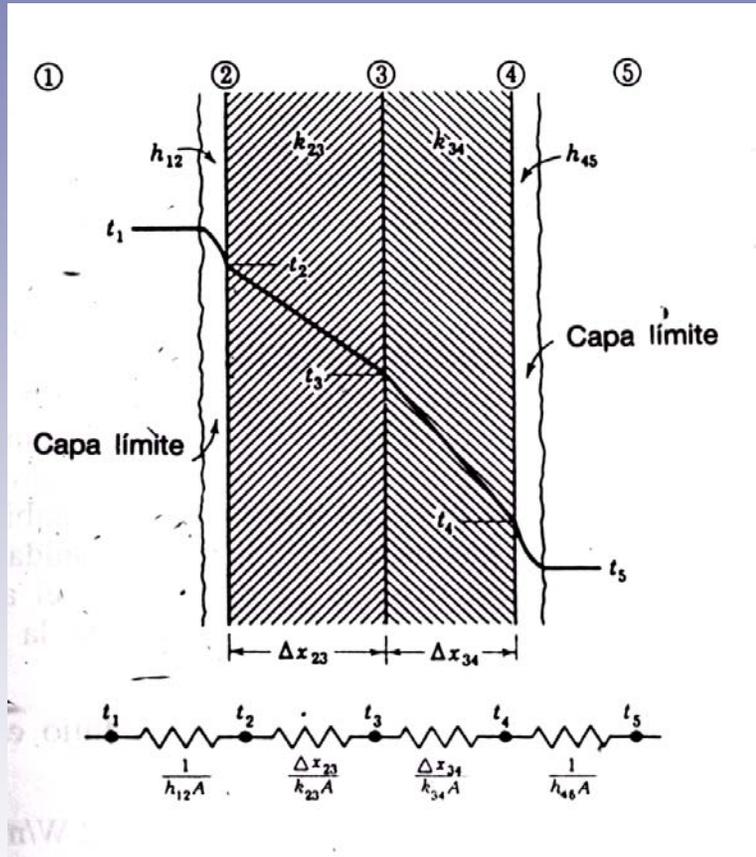
$$\Phi = kS \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right) = hS (T_S - T_f)$$

Coeficiente de convección, de película, de conductancia térmica unitaria:

$$h = \frac{k}{\Delta z}$$

EJEMPLOS:

1. Pared plana constituida por dos capas sólida y limitada por fluidos convectivos



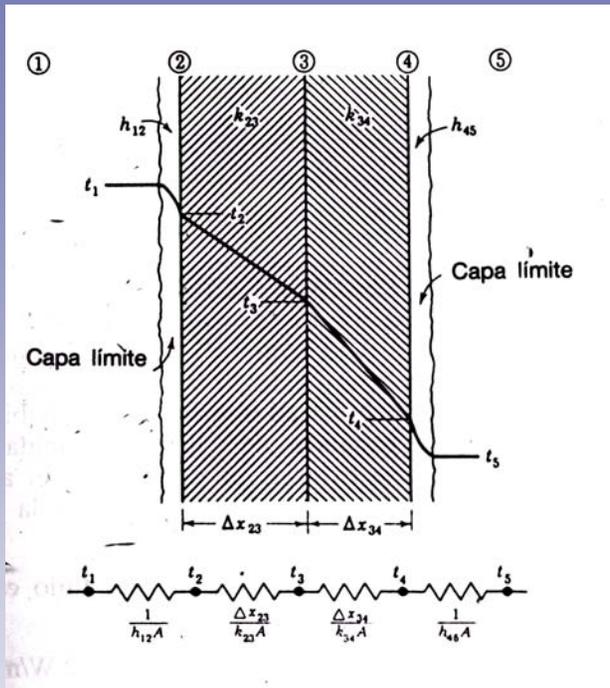
Datos: T_1 y T_5

$$\Phi = Sh_{12}(T_1 - T_2)$$

$$\Phi = S \left[\frac{T_2 - T_4}{\frac{\Delta x_{23}}{k_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{k_{34}}} \right]$$

$$\Phi = Sh_{45}(T_4 - T_5)$$

1. Pared plana constituida por dos capas sólida y limitada por fluidos convectivos



$$T_1 - T_2 = \frac{\Phi}{Sh_{12}}$$

$$T_2 - T_4 = \Phi \left[\frac{\Delta x_{23}}{Sk_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{Sk_{34}} \right]$$

$$T_4 - T_5 = \frac{\Phi}{Sh_{45}}$$

$$\Phi = \left[\frac{T_1 - T_5}{\frac{1}{Sh_{12}} + \frac{\Delta x_{23}}{Sk_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{Sk_{34}} + \frac{1}{Sh_{45}}} \right]$$

$$\Phi = \left[\frac{T_1 - T_5}{R_{12conv} + R_{23ter} + R_{34ter} + R_{45conv}} \right]$$

1. Pared plana constituida por dos capas sólida y limitada por fluidos convectivos

$$\Phi = \left[\frac{T_1 - T_5}{\frac{1}{Sh_{12}} + \frac{\Delta x_{23}}{Sk_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{Sk_{34}} + \frac{1}{Sh_{45}}} \right] = S \left[\frac{T_1 - T_5}{\frac{1}{h_{12}} + \frac{\Delta x_{23}}{k_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{k_{34}} + \frac{1}{h_{45}}} \right]$$

$$\Phi = SU(T_1 - T_5)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{12}} + \frac{\Delta x_{23}}{k_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{k_{34}} + \frac{1}{h_{45}}$$

TRANSMISIÓN GLOBAL O TRANSMITANCIA