

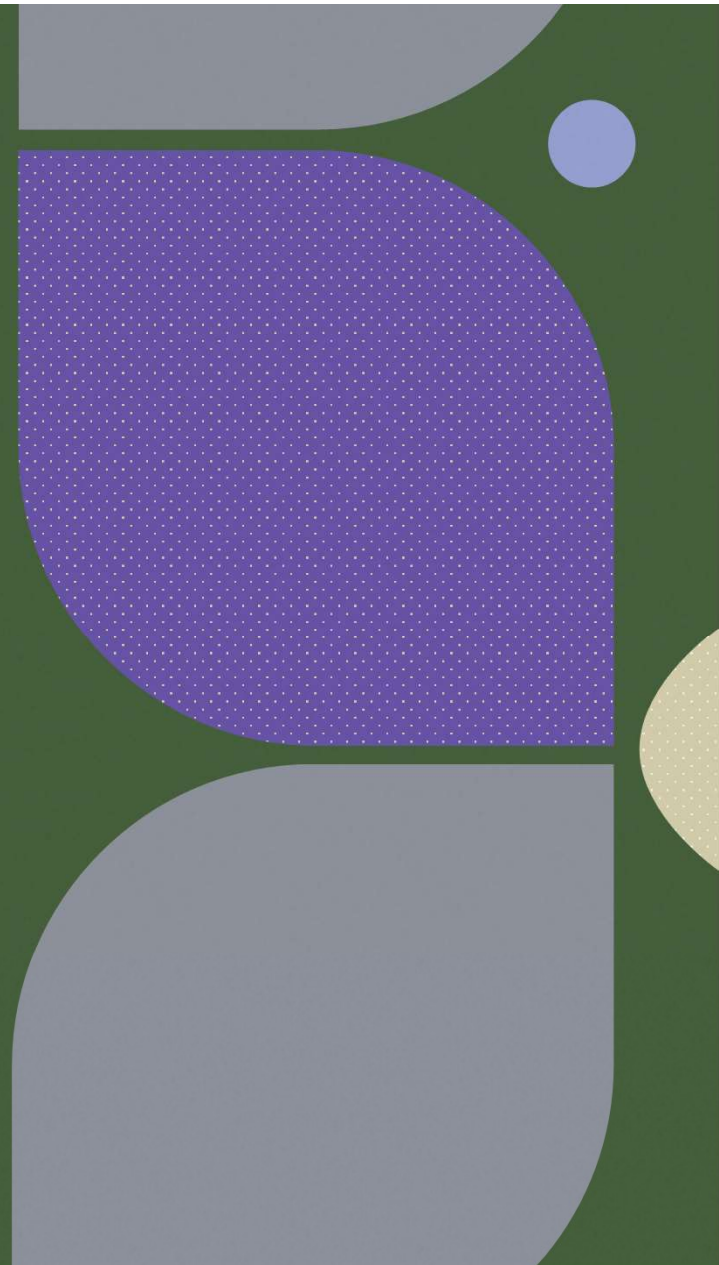


# BeTech x Motostudent

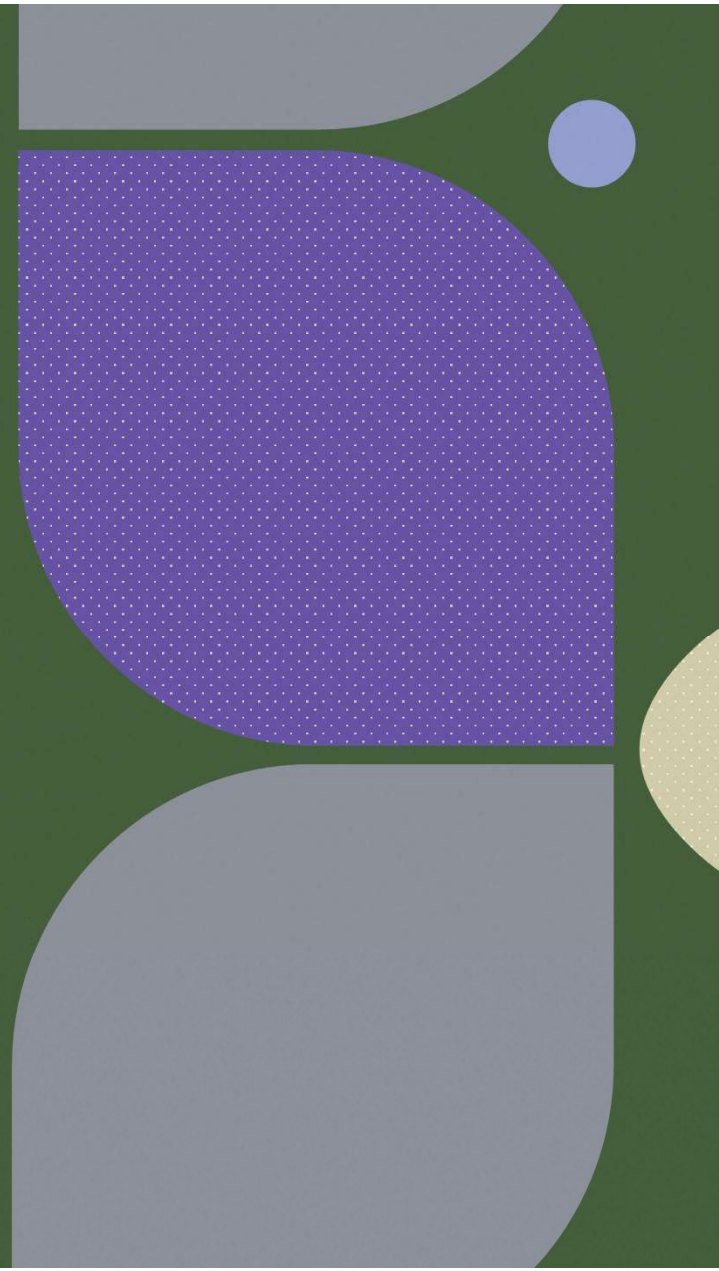
Análisis Térmico

# Fluidos + Transmisión de Calor

- Fluidos:
  - Reynolds
  - Magnitudes FisicoQuimicas
- Calor:
  - Factores de importancia
  - Metodologías



# FLUIDOS



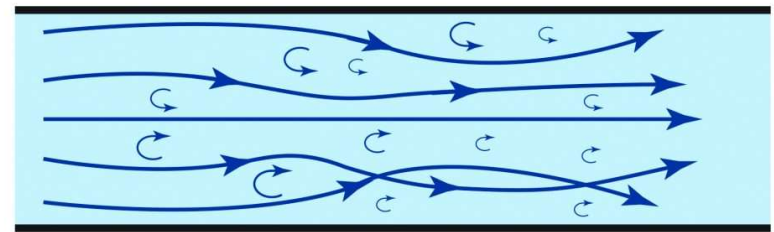
# Número de Reynolds

- $Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$   $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \text{densidad} \\ \mu = \text{visc. dinámica} \\ v = \text{vel} \end{array} \right.$
- $\nu = \frac{\mu}{\rho} \rightarrow \text{visc. cinemática}$
- Laminar vs turbulento
- ¿Importante?

Laminar Flow

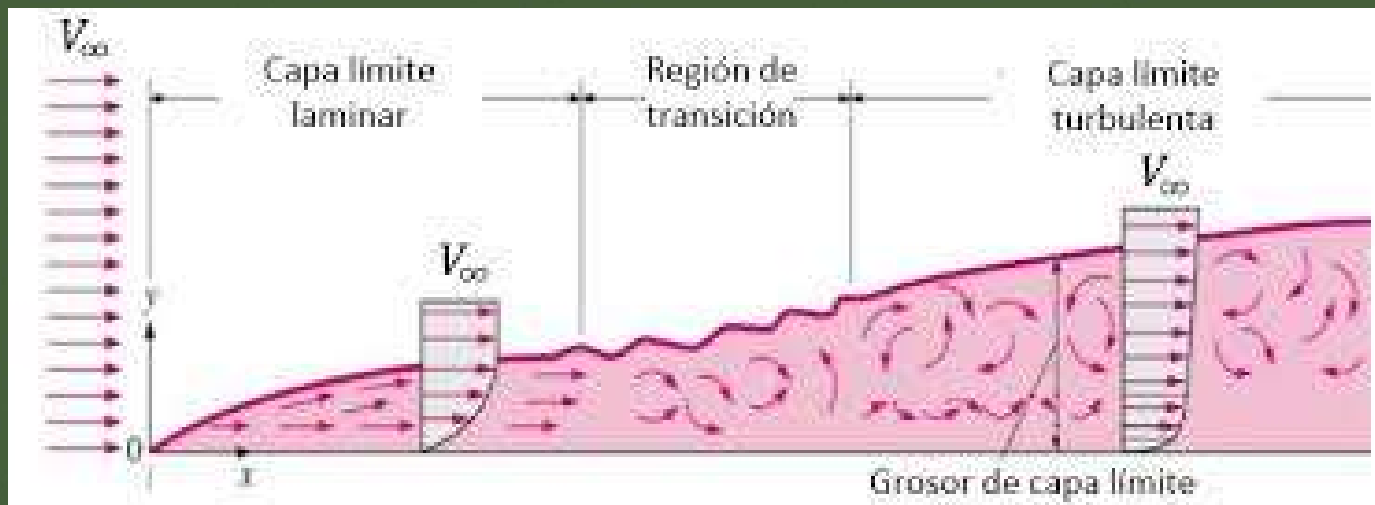


Turbulent Flow

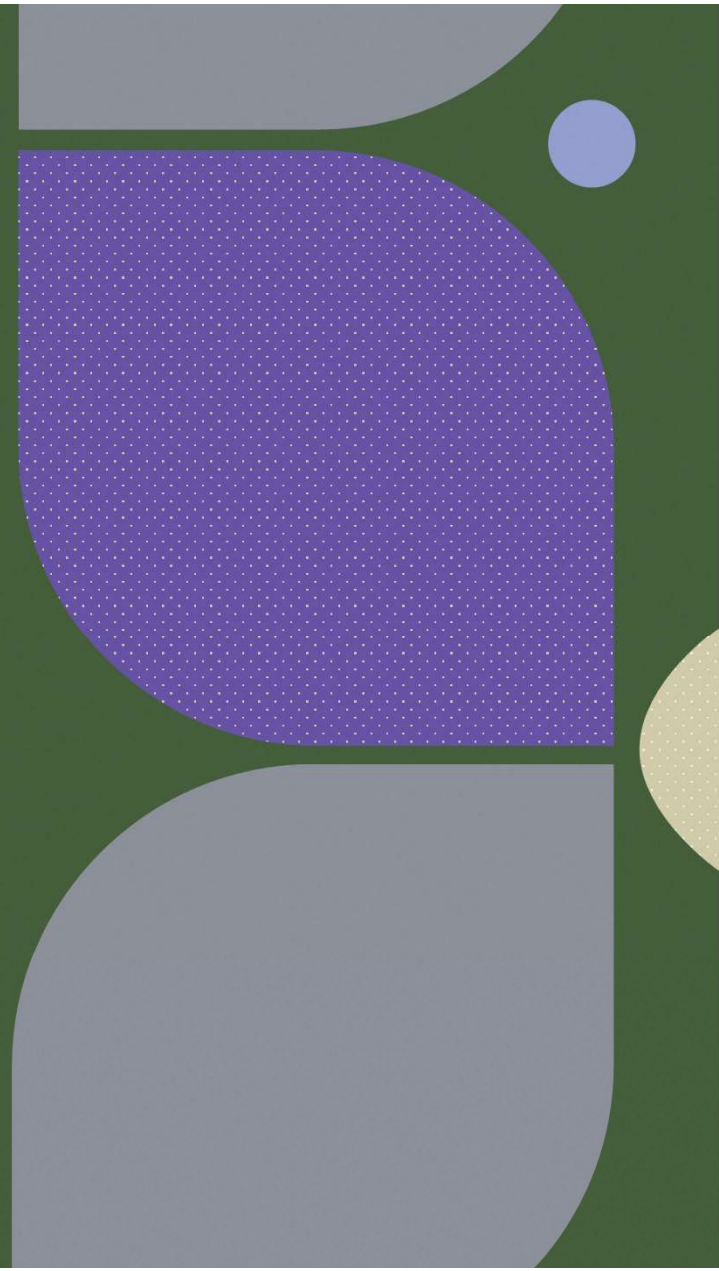




# Capa límite del fluido

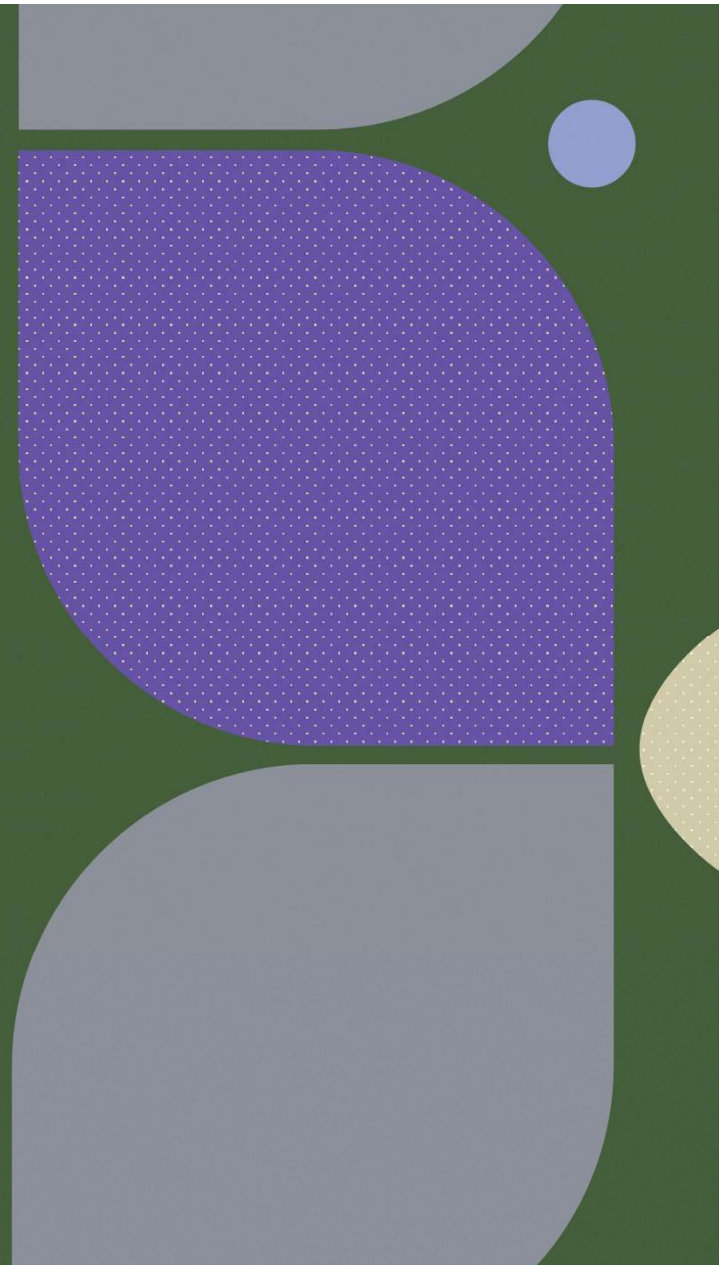


Calor



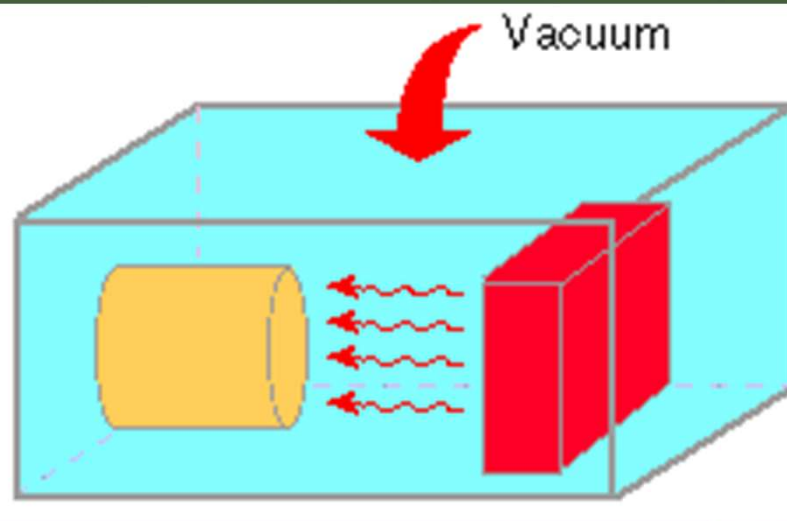
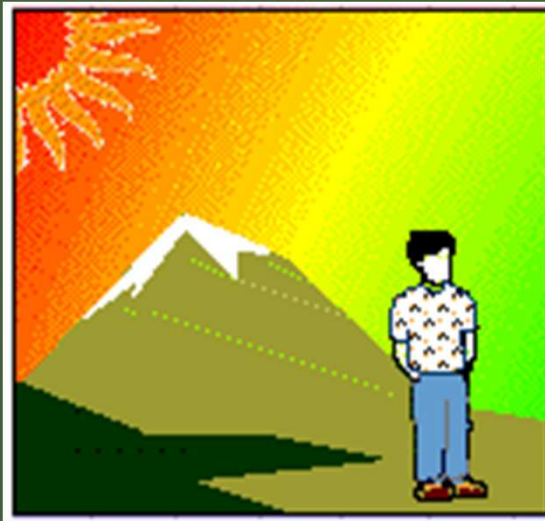
# Introducción rapidilla ;)

- Conceptos importantes
  - Radiación
  - Conducción
  - Convección



# Radiación

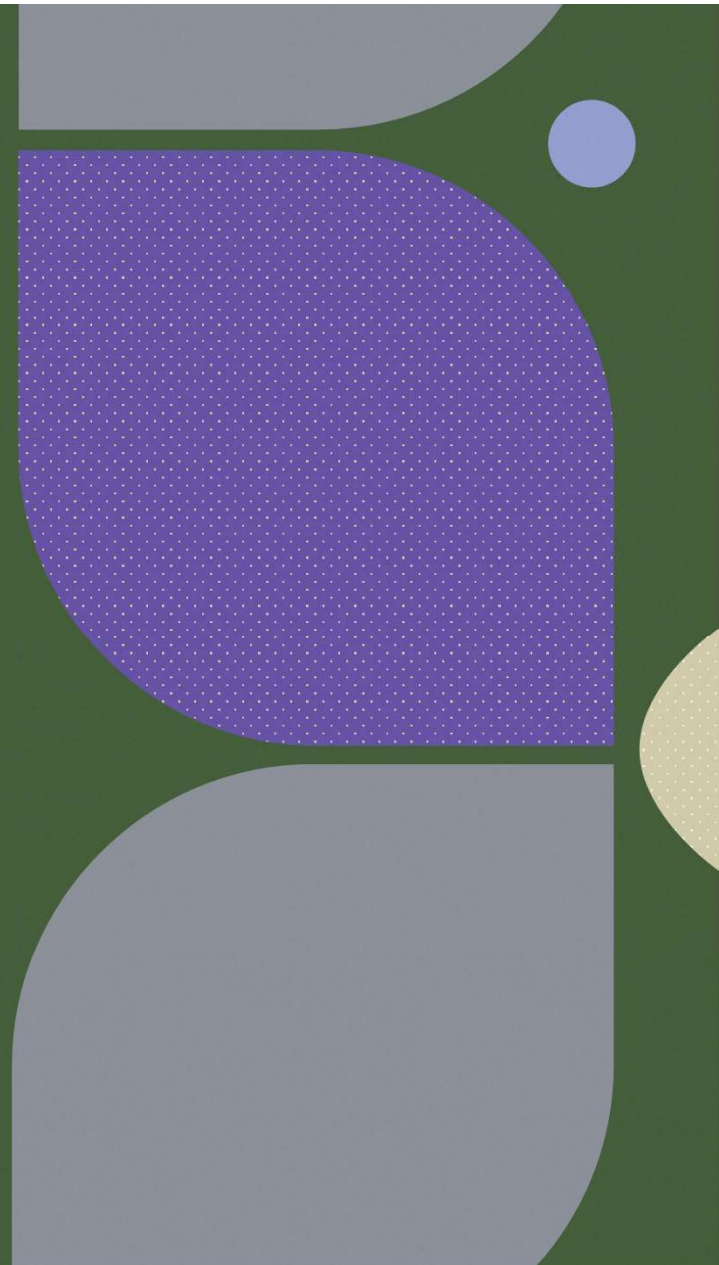
- Es la Energía que emite un cuerpo por el hecho de estar caliente
- Ley de Stefan-Boltzmann
  - $P = e\sigma A(T^4 - T_0^4)$





# Conducción

- Transmisión de calor por contacto entre dos sólidos
- Ley de Fourier
  - $Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e}$ 
    - K constante característica del material
    - A área de intercambio
    - E espesor



# Conductividades

**Conductividades térmicas de diversos materiales en W/(K·m)**

Material	$\lambda$	Material	$\lambda$	Material	$\lambda$
Acero	47-58	Corcho	0,03-0,04	Mercurio	83,7
Agua	0,58	Estaño	64,0	Mica	0,35
Aire	0,02	Fibra de vidrio	0,03-0,07	Níquel	52,3
Alcohol	0,16	Glicerina	0,29	Oro	308,2
Alpaca	29,1	Hierro	80,2	Parafina	0,21
Aluminio	237	Ladrillo	0,80	Plata	406,1-418,7
Amianto	0,04	Ladrillo refractario	0,47-1,05	Plomo	35,0
Bronce	116-186	Latón	81-116	Vidrio	0,6-1,0
Zinc	106-140	Litio	301,2	Cobre	372,1-385,2
Madera	0,13	Tierra húmeda	0,8	Diamante	2300
Titanio	21,9				

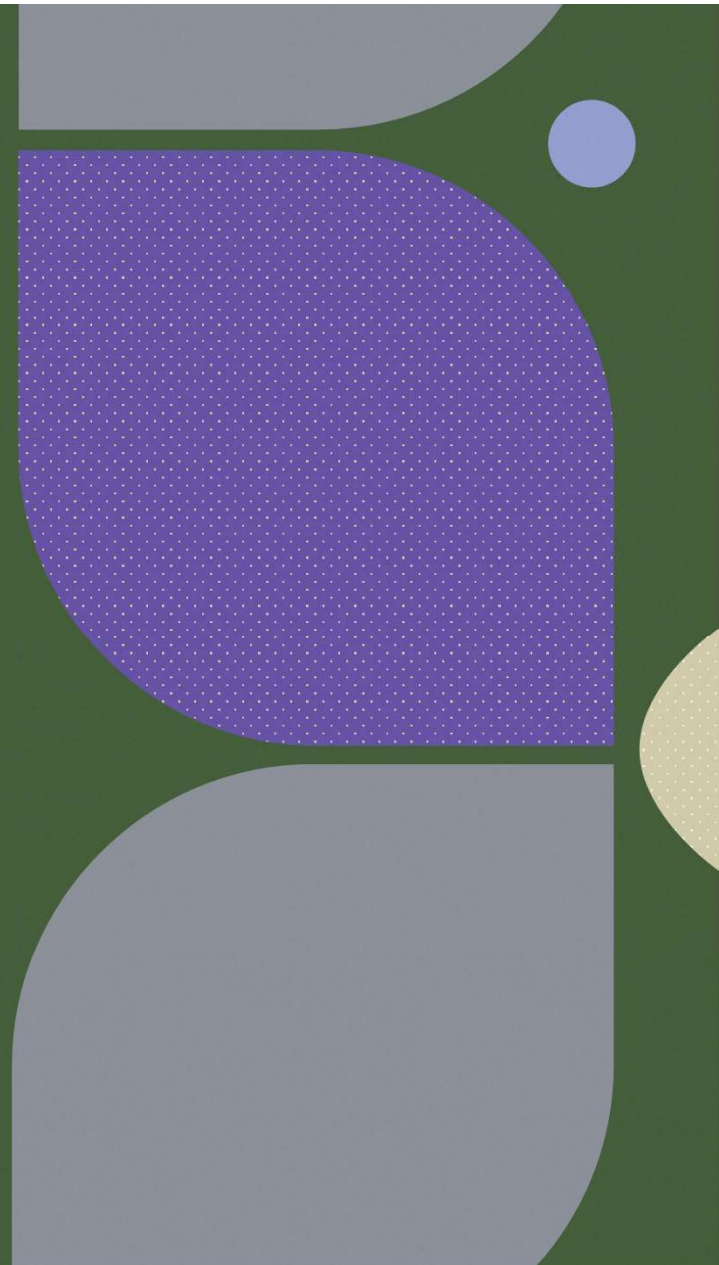
# Difusividad térmica y capacidad calorífica

- Concepto que indica la velocidad de cambio, y flujo de temperaturas hasta que alcanza el equilibrio térmico
  - $\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p}$
- ¿Qué es  $C_p$ ?



# Convección

- Transmisión sólido líquido
- Ley de enfriamiento de Newton
  - $Q = hA\Delta T$
- ¿Despejar h?
  - Números fundamentales





# Números fundamentales

- Reynolds
- Prandtl (Relación entre las capas límites)
  - $Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{K_{TF}}$
- Nusselt
- $Nu = a \cdot Re^n \cdot Pr^m = \frac{h \cdot D}{K_{TF}}$

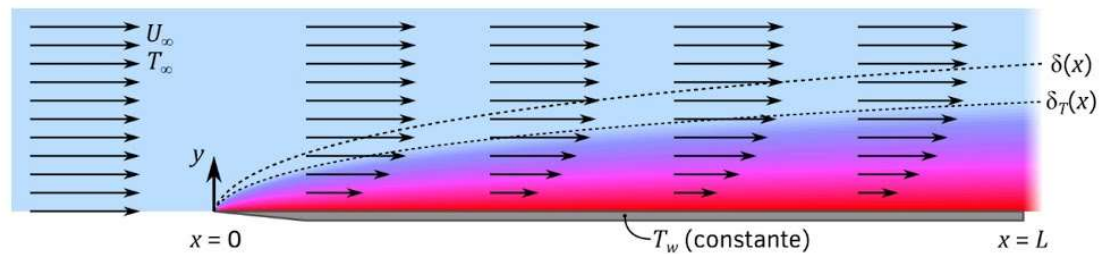
Table 2. Correlation equations for turbulent flow of base fluid.

Authors	Correlation	Range	Remarks
Dittus and Boelter [50]	$\overline{Nu} = 0.23 Re^{0.8} Pr^n$	$Re > 10^4$ $0.7 < Pr < 100$	$n = 0.4$ —heating $n = 0.3$ —cooling
Kraußold [51]	$\overline{Nu} = 0.032 Re^{0.8} Pr^n \left(\frac{L}{D}\right)^{-0.054}$	$Re > 10^4$	$n = 0.37$ —heating $n = 0.3$ —cooling
Sieder and Tate [52]	$\overline{Nu} = 0.027 Re^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w}\right)^{0.14}$	$Re > 10^4$ $0.7 < Pr < 16,700$	$T_w = \text{const.}$
Mikhejev [53]	$\overline{Nu} = 0.021 Re^{0.8} Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \epsilon_L$	$10^4 < Re < 5 \times 10^6$ $0.6 < Pr < 2500$	$\epsilon_L = f(L/D, Re)$
Petukhov [54]	$\overline{Nu} = \frac{(f/8) Re Pr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/4} (Pr^{2/3} - 1)}$	$10^4 < Re < 5 \times 10^6$ $0.5 < Pr < 2000$	$f = (1.82 \ln Re - 1.64)^{-2}$
Notter and Sleicher [55]	$\overline{Nu} = 4.8 + 0.0156 Pe^{0.85} Pr^{0.08}$ $\overline{Nu} = 6.3 + 0.0167 Pe^{0.85} Pr^{0.08}$	$10^4 < Re < 10^6$ $0.004 < Pr < 0.1$	$T_w = \text{const.}$ $q_w = \text{const.}$
Churchill and Ozoe [56]	$\overline{Nu} = \frac{0.3387 Pr^{1/3} Re^{1/2}}{[1 + (0.0468/Pr)^{2/3}]^{1/4}}$	$Re > 100$ $10^{-4} < Pr \rightarrow \infty$	$q_w = \text{const.}$
Hausen [57]	$Nu = 0.0235 \left[1 + \left(\frac{d}{L}\right)^{2/3}\right]$ $[Re^{0.8} - 230] Pr_f^{0.3} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w}\right)^{0.14}$	$2300 < Re < 2 \times 10^6$ $1.5 < Pr < 500$ $d/L < 1$	
Gnieliński [58]	$\overline{Nu} = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{0.5} (Pr^{2/3} - 1)}$	$3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6$ $0.5 < Pr < 2000$	$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2}$
Kutateladze [59]	$\overline{Nu} = 1.61 (Pe_L^D)^{1/3}$	$Pe > 12$ $d/L < 12$	

# Capa límite de transferencia de calor

## ANÁLISIS DE LA CAPA LÍMITE TÉRMICA

FLUJO LAMINAR PARALELO A UNA SUPERFICIE PLANA ISOTÉRMICA



### Suposiciones

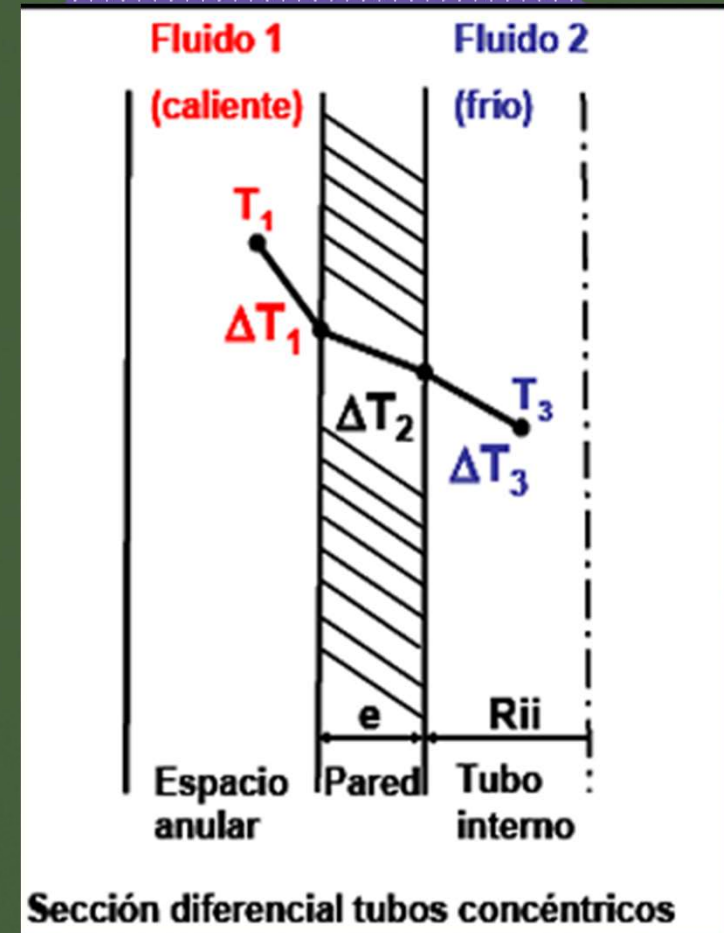
- ★ Estado estable.
- ★ Es una placa plana tiene una longitud  $L$  en la dirección  $x$  y es de infinita extensión en la dirección  $z$ .
- ★ El fluido llega en flujo laminar de forma paralela a la superficie con velocidad  $U_\infty$  y temperatura  $T_\infty$  uniformes.
- ★ La velocidad y la temperatura varían en las direcciones  $x$  y  $y$ , pero no varían en la dirección  $z$ .
- ★ Los efectos de la gravedad son despreciables y no hay gradientes de presión.
- ★ No hay generación de calor ni disipación viscosa.
- ★ El fluido es newtoniano incompresible de propiedades constantes ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $c_p$  y  $k$ ).

# Metodologías para el análisis

- Ecuación fundamental
- Correlaciones del Número de Nusselt
- Número de Unidades de Transferencia de calor

# Ecuación fundamental

- $Q_1 = h_1 \cdot A_{TQ1} \cdot \Delta T_1$
- $Q_2 = \frac{K_{TM}}{e} \cdot A_{TQ2} \cdot \Delta T_2$
- $Q_3 = h_3 \cdot A_{TQ3} \cdot \Delta T_3$
- En condiciones generales
  - $\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$
  - $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$





# Ecuación fundamental

- Se concluye entonces que
- $$\Delta T = Q \cdot \left( \frac{1}{h_1 \cdot A_{TQ1}} + \frac{e}{K_{TM} \cdot A_{TQ2}} + \frac{1}{h_2 \cdot A_{TQ}} \right)$$
- El espesor de aluminio es de unos 0,16mm y su constante es 237 W/(m.K) por lo que la resistencia es despreciable

# Ecuación fundamental

- Concepto de temperatura media logarítmica
  - En el intercambiador hay una variación interna de temperatura.
  - $$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{c,1} - T_{f,2}) - (T_{c,2} - T_{f,1})}{\ln\left(\frac{T_{c,1} - T_{f,2}}{T_{c,2} - T_{f,1}}\right)}$$
- Acabando:
  - $$Q = m_f \cdot C_p \cdot \Delta T_f = U \cdot A_{TQ} \cdot \Delta T_{ML}$$

# Correlaciones empíricas

- Escoger la correlación de Nusselt (ej Dittus-Boetler)
- $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = \frac{h \cdot D}{K_{TF}}$

# NTU

- Contemplamos la variación de entalpía (calor)

- $Q_f = m_f \cdot C_{p,f} \cdot \Delta T_f$
- $Q_c = m_c \cdot C_{p,c} \cdot \Delta T_c$

$$NTU = \frac{U \cdot A_{TQ}}{m \cdot C_p}$$

$$\partial q = U \cdot (T_c - T_f) \cdot \partial A = m_c \cdot C_{p,c} \cdot \partial T_c = m_f \cdot C_{p,f} \cdot \partial T_f \rightarrow$$

$$\int_{T_{c,i}}^{T_{c,o}} \frac{-\partial T_c}{T_c - T_f} = NTU_c = \frac{U}{m_c \cdot C_{p,c}} \cdot \int_{A=0}^A \partial A = \frac{U \cdot A_{TQ}}{m_c \cdot C_{p,c}}$$

$$\int_{T_{f,i}}^{T_{f,o}} \frac{-\partial T_f}{T_c - T_f} = NTU_f = \frac{U}{m_f \cdot C_{p,f}} \cdot \int_{A=0}^A \partial A = \frac{U \cdot A_{TQ}}{m_f \cdot C_{p,f}}$$