



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA-VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
TRANSFERENCIA DE CALOR

CONVECCION FORZADA FLUJO INTERNO

PROF. FRANZ RAIMUNDO

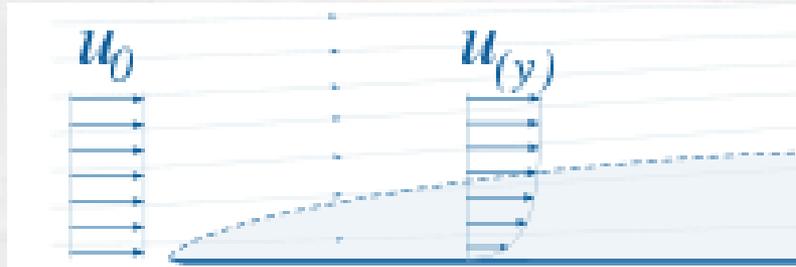
EN ESTA CLASE:

CONVECCION FORZADA - FLUJO INTERNO

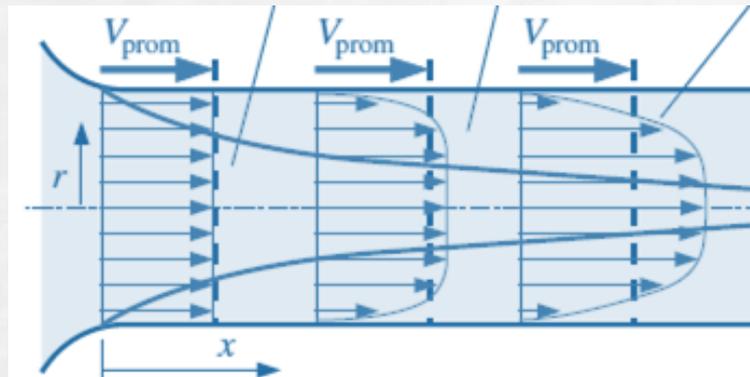
- **Fundamentos**
- **Capa límite hidrodinámica**
- **Capa límite térmica**
- **Régimen de flujo**
- **Velocidad y temperatura media**
- **Flujo de calor**
- **Correlaciones**

FUNDAMENTOS

Recordemos que un flujo externo es aquel que permite la producción de una capa límite sin restricciones, llegando a ser incluso un flujo desarrollado.

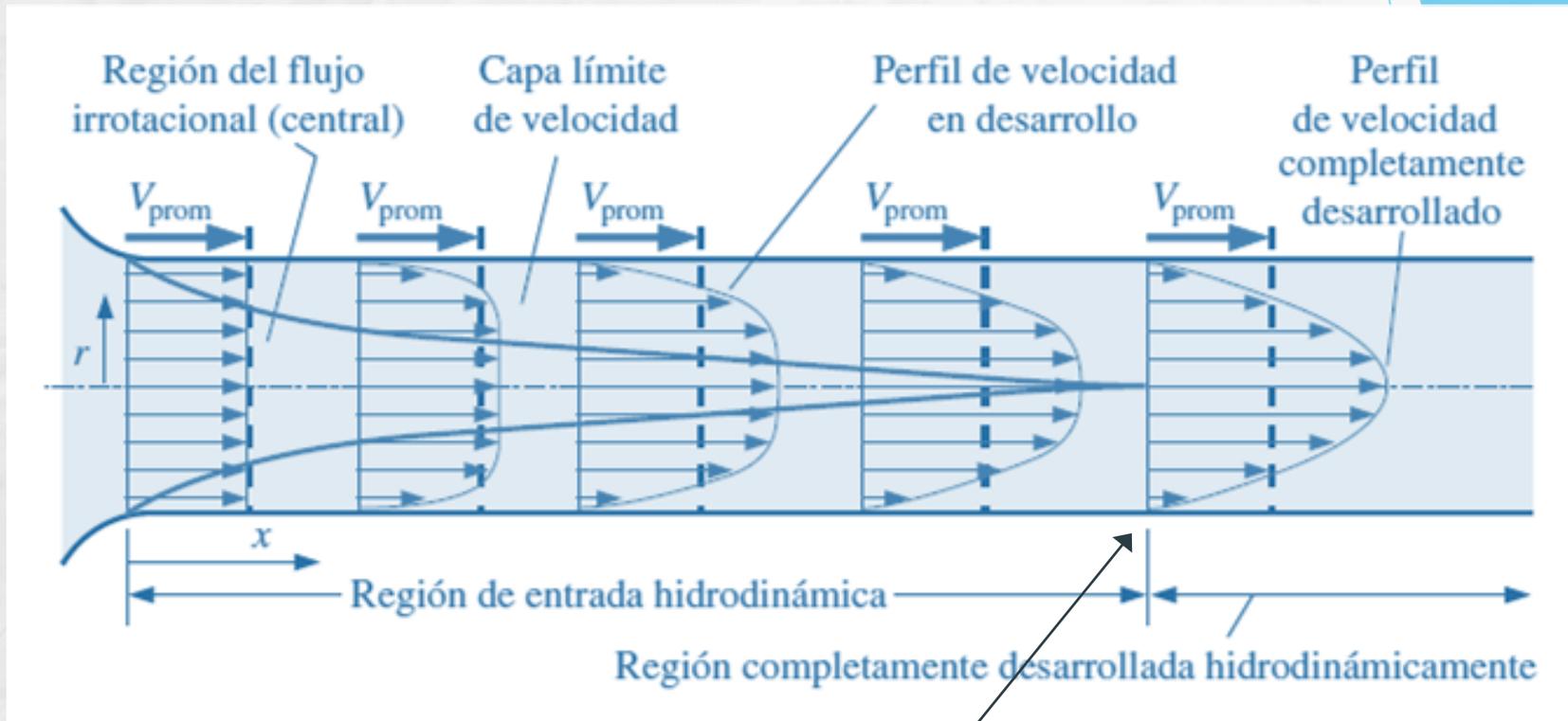


Por el contrario en flujo interno, tal como el flujo en una tubería, el fluido está confinado por una superficie. Por lo tanto la capa límite no puede producirse sin quedar restringida.



CAPA LIMITE HIDRODINAMICA

CONDICIONES DE FLUJO

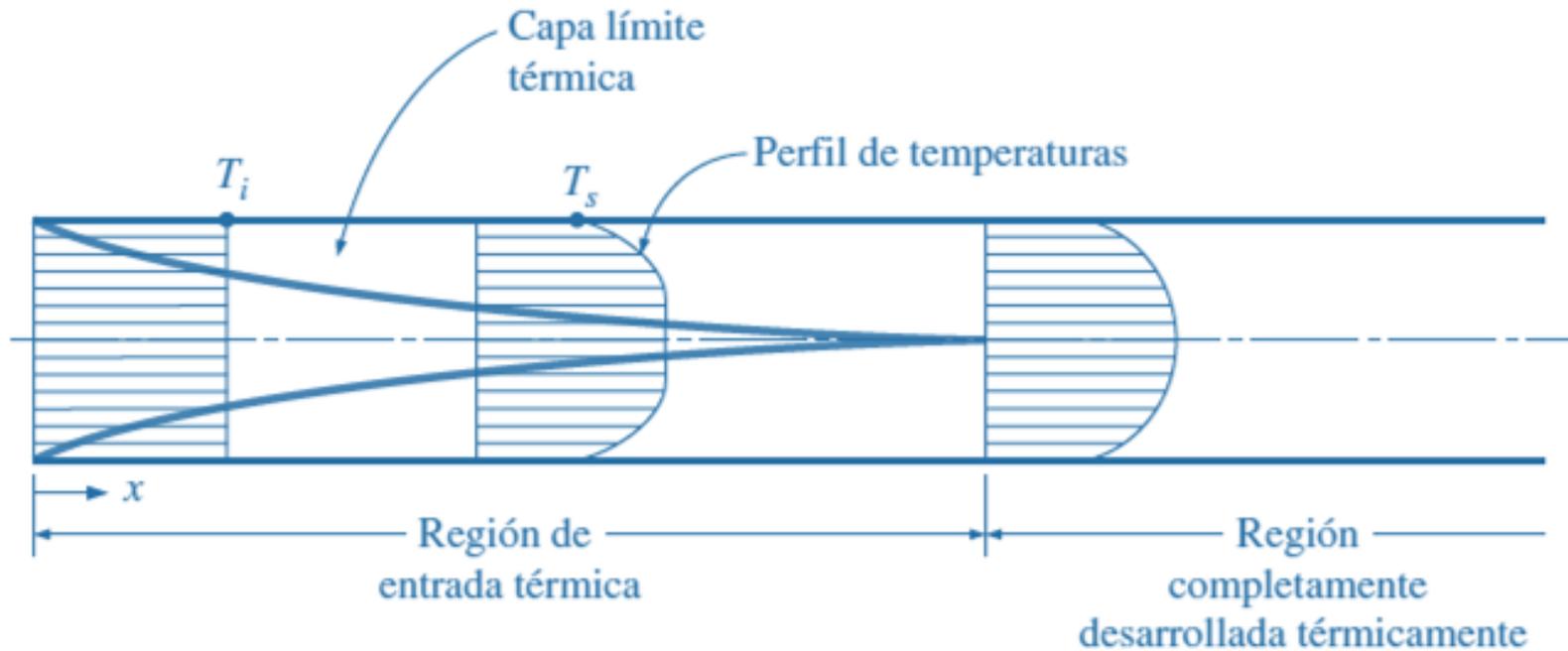


Longitud hidrodinámica de entrada $x_{cd,h}$

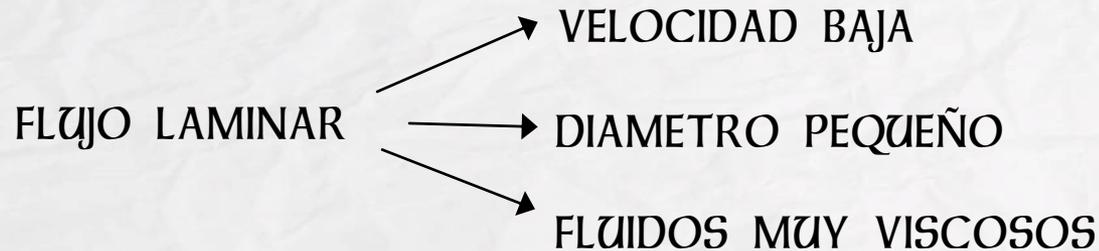
$$x_{cd,h} = 10D$$

CAPA LIMITE TERMICA

CONDICIONES DE FLUJO



REGIMEN DE FLUJO



Conductos circulares

$$Re_D = \frac{V_m \cdot D}{\nu}$$

Conductos NO circulares

$$Re_D = \frac{V_m \cdot D_h}{\nu}$$

$$D_h = \frac{4 \cdot A_c}{P}$$

FLUJO LAMINAR $Re_D < 2300$

FLUJO TURBULENTO $Re_D > 10.000$

MEZCLA $2300 < Re_D < 10.000$

VELOCIDAD Y TEMPERATURA MEDIA

Como la velocidad varía sobre la sección transversal y no existe un flujo libre bien definido, es necesario trabajar con una velocidad media V_m cuando se trata de flujo interno.

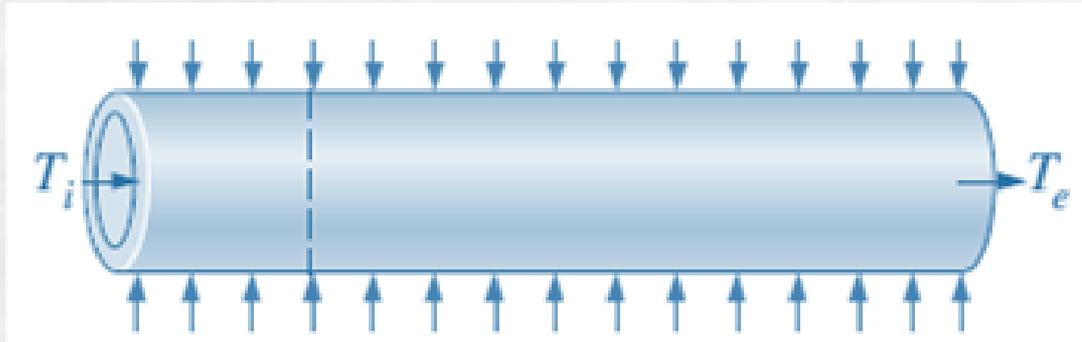
$$\dot{m} = \rho \cdot V_m \cdot A_c$$

Así como la ausencia de una velocidad de flujo libre requiere el uso de una velocidad media, la ausencia de una temperatura fija de flujo libre implica una temperatura media.

$$T_m = \frac{T_{me} + T_{ms}}{2}$$

FLUJO DE CALOR

BALANCE DE ENERGIA



Realizando un balance de energía sobre el fluido, la transferencia de calor se puede expresar como:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{me} - T_{ms})$$

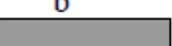
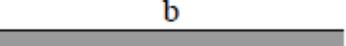
CORRELACIONES

CONDUCTO CIRCULAR Y NO CIRCULAR

Conducto circular				
N°	Correlación	Condiciones de aplicación	Temperatura	Nombre
13	$Nu_D = 3.66$	Flujo laminar, completamente desarrollado, T_s Cte, $Pr \geq 0.6$	T_m	
14	$Nu_D = 4.36$	Flujo laminar, completamente desarrollado, Q_s Cte, $Pr \geq 0.6$	T_m	
15	$\bar{Nu}_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Flujo turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$ $0.6 \leq Pr \leq 160$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$ $n = 0.3$ para $T_s < T_m$, $(L/D) > 10$	T_m	Dittus – Boelter
Conducto no circular				
N°	Correlación	Condiciones de aplicación	Temperatura	Nombre
16	Nu_D (Tabla 8)	Flujo laminar, completamente desarrollado	T_m	
17	$\bar{Nu}_D =$ Correlación 15 con $D = D_h = \frac{4A_C}{P}$	Flujo turbulento, completamente desarrollado, A_C : Área de la sección transversal, P: Perímetro	T_m	

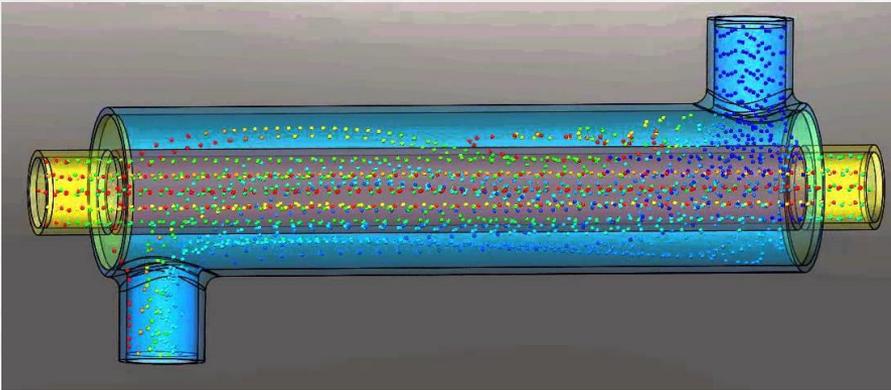
CORRELACIONES

CONDUCTO NO CIRCULAR

Sección transversal	$\frac{b}{a}$	$Nu_D \equiv \frac{hD_h}{k}$		fRe_{D_h}
		q_s^* uniforme	T_s uniforme	
	-	4.36	3.66	64
a  b	1.0	3.61	2.98	57
a  b	1.43	3.73	3.08	59
a  b	2.0	4.12	3.39	62
a  b	3.0	4.79	3.96	69
a  b	4.0	5.33	4.44	73
a  b	8.0	6.49	5.60	82
a  b	∞	8.23	7.54	96
	-	3.11	2.47	53

CORRELACIONES

ANILLOS DE TUBOS CONCENTRICOS



$$q_i = h_i \cdot A_i \cdot (T_{s_i} - T_m)$$

$$q_o = h_o \cdot A_o \cdot (T_{s_o} - T_m)$$

$$Nu_i = \frac{h_i \cdot D_h}{K_f} \quad Nu_o = \frac{h_o \cdot D_h}{K_f}$$

$$D_h = \frac{4 \cdot (\pi/4)(D_o^2 - D_i^2)}{\pi \cdot D_o + \pi \cdot D_i} = D_o - D_i$$

Flujo Laminar



D_i/D_o	Nu_i	Nu_o
0	—	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86