

REPASO DE LA UNIDAD 4.

Transporte de energía por convección.

MENU

*¿Qué esperamos que sepan / puedan hacer?

*Consejos

*Conceptos

*Temas



QUÉ ESPERAMOS QUE SEPAN / PUEDAN HACER.

Distinguir cuando se trata de un problema de convección natural, forzada o combinada.

Distinguir que números adimensionales caracterizan el fenómeno.

Seleccionar la correlación que aplica a la solución del problema.



Saber :

- Leer las gráficas de las correlaciones
- Operar hojas de Excel y
- Usar los simuladores en la solución de problemas de convección

Obtener a partir del Nusselt (u otro grupo adimensional) el valor de h .

Obtener a partir de h el valor de q .

Poder realizar un balance de energía para calcular las variaciones de temperatura a lo largo de un ducto

CONCEPTOS.

Convección

Natural

Forzada

Capa límite.

Hidrodinámica

Térmica

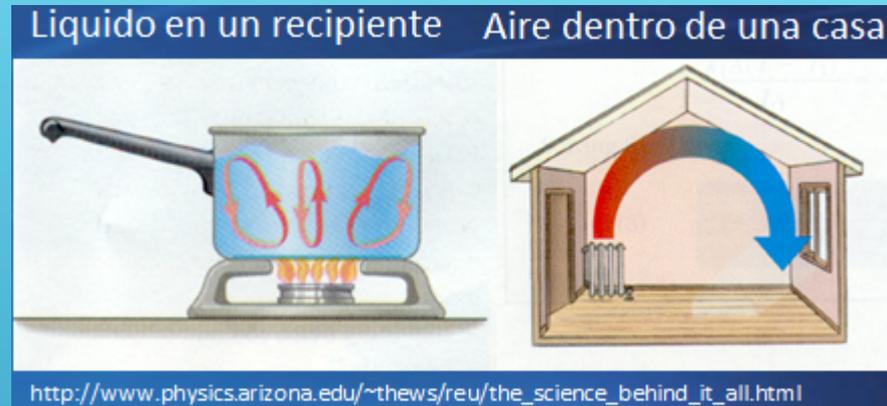
Números adimensionales. Teorema

π

Correlaciones

¿QUÉ ES LA CONVECCIÓN?

- ▶ Es el transporte asociado al
- ▶ movimiento de un fluido



• En clase la identificamos como asociada al coeficiente h dentro de la ley de

enfriamiento de Newton

$$Q = hA\Delta T$$

Hoy sabemos que hay muchos tipos de «h». Local, promedio aritmético, promedio logarítmico, etc.

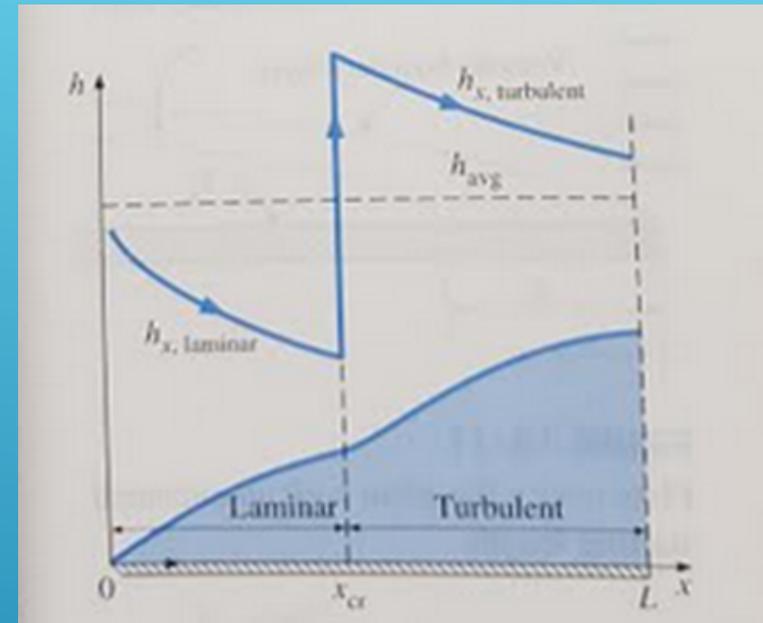
$$T_{\downarrow 01} - T_{\downarrow b1}$$

$$(T_{\downarrow 01} - T_{\downarrow b1}) + (T_{\downarrow 02} - T_{\downarrow b2}) / 2$$

$$(T_{\downarrow 01} - T_{\downarrow b1}) + (T_{\downarrow 02} - T_{\downarrow b2}) / \ln[(T_{\downarrow 01} - T_{\downarrow b1}) / (T_{\downarrow 02} - T_{\downarrow b2})]$$

VALORES TÍPICOS DE h

Tipo de convección	h W/m ² K
Convección natural en gases	2 – 25
Convección natural en líquidos	10 - 1000
Convección forzada en gases	25 – 250
Convección forzada en líquidos	50 – 20 000
Ebullición y condensación	2 500 – 100 000



Con datos de Cengel "Thermal-Fluid Sciences"

NUSSELT.

- El Nu se construye con base en h por lo tanto también hay Nu_1 , Nu_a , $Nu_{ln}...$
- Tener cuidado con las escalas seleccionadas, por ejemplo: D , R_h , a (Volumen/área en lecho fluidizado), u otra para el Re.
- Tener cuidado con los subíndices, por ejemplo f (temperatura de película)

$$T_f = (T_0 + T_\infty)/2$$

¿DE DÓNDE SALE h?

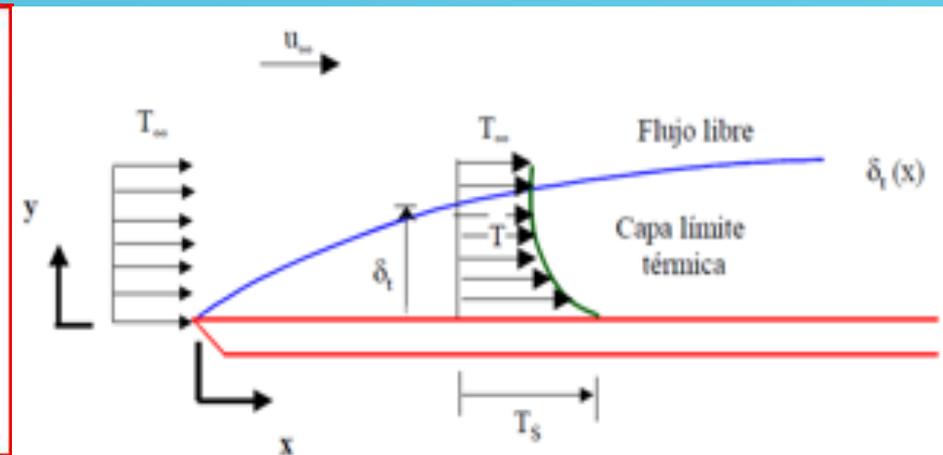
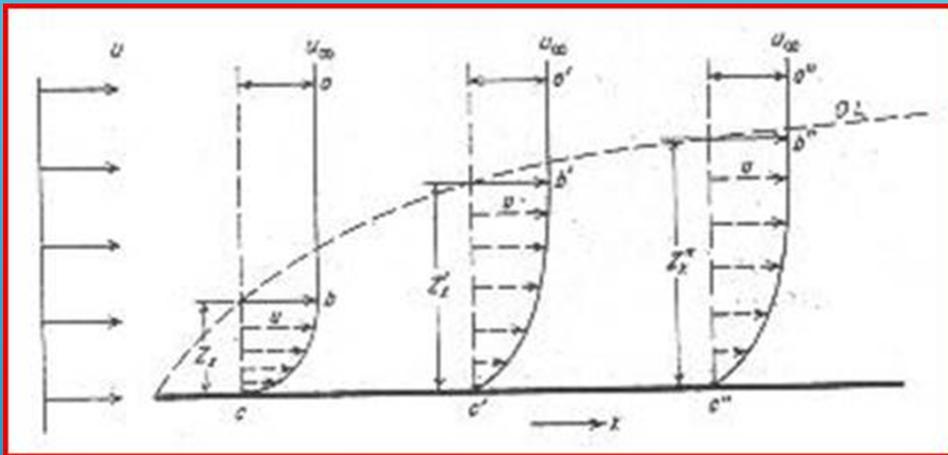
- Dos mecanismos posibles:
- Resolviendo, con algún tipo de simplificaciones, las ecuaciones de movimiento y de transferencia de energía (concepto de capa límite)
- De manera experimental. (Prácticamente indispensable en los casos en que hay turbulencia)

CAPA LÍMITE.

Región donde están presentes los gradientes de velocidad o temperatura. Zona “cercana” a un objeto

Hidrodinámica: Gradientes de velocidad.

Térmica: Gradientes de temperatura.



$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = \gamma \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{\gamma}{\alpha} = Pr$$

$$u \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

Resolver la ecuación (vectorial) de transporte de momentum (Navier- Stokes) permite conocer el campo (vectorial) de velocidades $\delta = 4.64/Re^{1/2} x$

Resolver la ecuación de transporte de energía permite conocer el campo de temperaturas.

$$\delta_t = 0.976 Pr^{1/3} \delta$$

¿CUÁLES SON LAS EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE ESOS CAMPOS?

Para la velocidad se propone un polinomio de tercer grado:

$$U(y) = \left(\frac{3 U_\infty}{2 \delta} \right) y - \left(\frac{U_\infty}{2 \delta^3} \right) y^3 \quad \left(\delta = \frac{4.64}{Re^{1/2}} x \right)$$

Que satisface las condiciones

de frontera: $U(y)|_{y=0} = 0$ $U(y)|_{y=\delta} = U_\infty$ y $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$

Para la temperatura se propone un polinomio de tercer grado:

$$T(y) = T_s + \frac{3 (T_\infty - T_s)}{2 \delta_t} y - \frac{(T_\infty - T_s)}{2 \delta_t^3} y^3 \quad (\delta_t = 0.976 Pr^{1/3} \delta)$$

Que satisface las condiciones

de frontera: $T(0) = T_s$ $\frac{d^2 T}{dy^2} \Big|_{y=0} = 0$ $T(\delta_t) = T_\infty$ y $\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\delta_t} = 0$

TEOREMA π DE BUCKINGHAM

Sea:

- m : Variables homogéneas; por ejemplo: diámetro (D), velocidad (v), Temperatura (T), longitud (L), presión (P),...
- n : Dimensiones de referencia longitud [L], tiempo [t], masa [M], temperatura [T]...

Entonces se obtendrán:

- $(m-n)$: Números adimensionales π

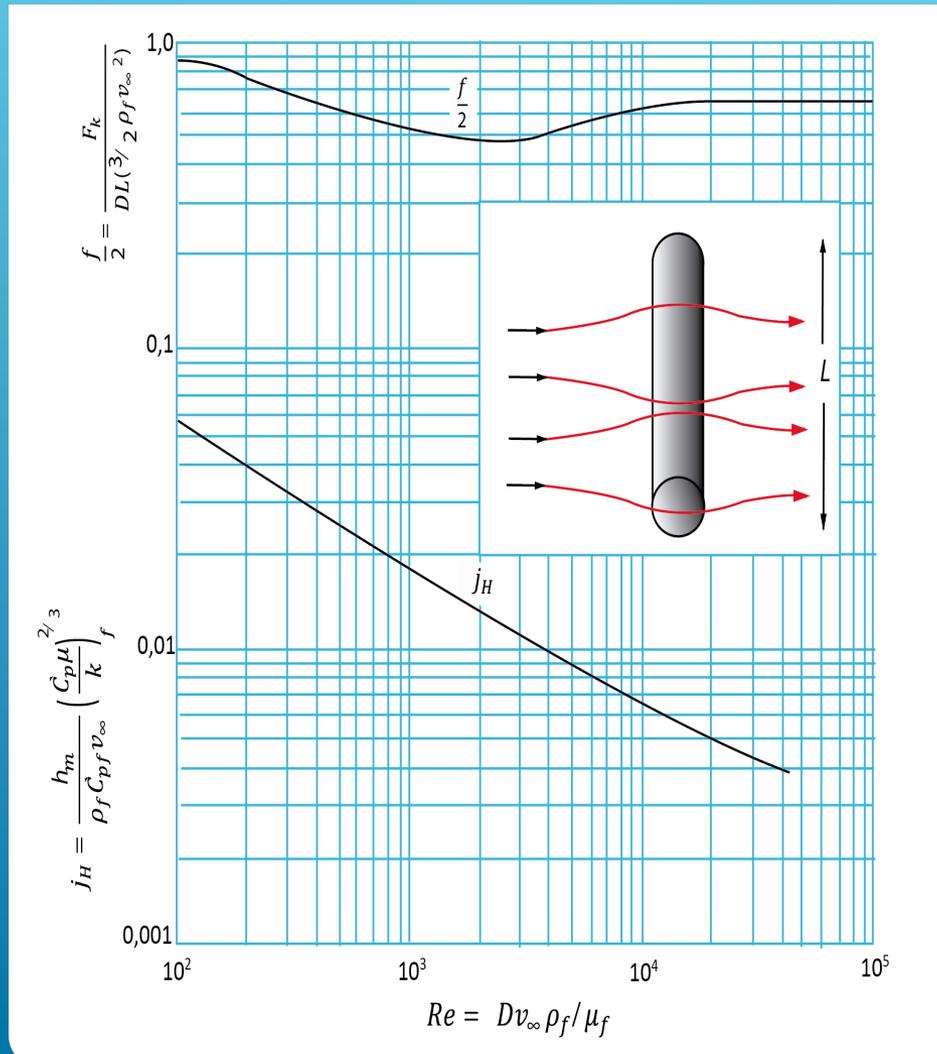
Si la viscosidad varía significativamente con la temperatura se agrega el cociente μ_b / μ_o

$\pi_1 = \frac{hD}{k}$	<u>Nusselt</u>
$\pi_2 = \frac{U_\infty D \rho}{\mu}$	Reynolds
$\pi_3 = \frac{c_p \mu}{k}$	Prandtl
$\pi_4 = \frac{g\beta(T - T_\infty)L^3}{v^2}$	Grashof
$\mu V^2 / k(T_1 - T_0)$	Brinkman

En los casos de convección, la viscosidad casi no interviene, por lo que el número de Brinkman no tendrá mucha relevancia.

CORRELACIÓN. ANATOMÍA DE LA GRÁFICA

Gráfica



- Aparece el número de Reynolds:

$$Re = Dv_\infty \rho_f / \mu_f$$

- Aparece el número adimensional J_H

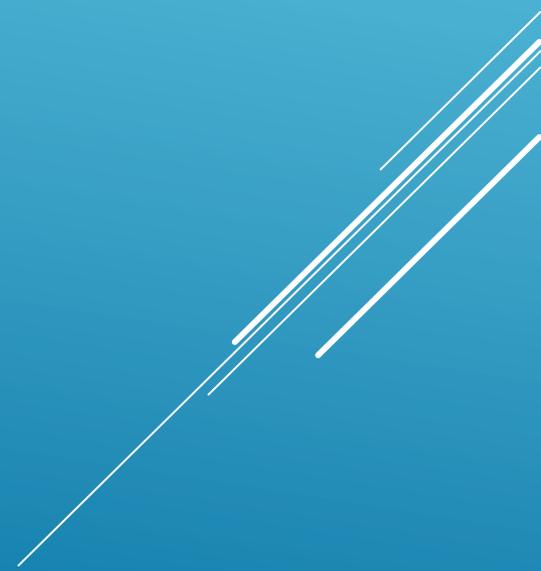
$$j_H = \frac{h_m}{\rho_f C_{p_f} v_\infty} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)_f^{2/3}$$

TEMAS.

- Convección Forzada
 - Tubos. Laminar y Turbulento
 - Objetos sumergidos. Placas, esferas, cilindros...

Convección libre

- Placas
- Esferas
- Cilindros
- Otras geometrías

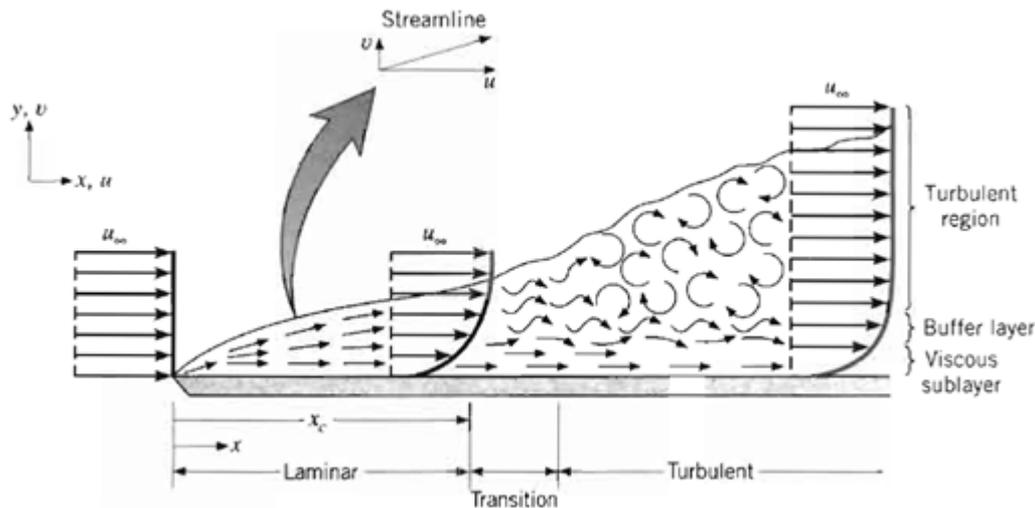


EL REYNOLDS

Marca la transición laminar-turbulento.

La turbulencia aumenta los valores de los coeficientes de transporte.

Importante conocer la longitud de transición .



- El punto de transición se conoce como longitud crítica
- Puede calcularse a partir de la fórmula del Reynolds
- Criterio: $Re < 5 \times 10^5$

$$Re_{x,c} \equiv \frac{\rho u_{\infty} x_c}{\mu} = 5 \times 10^5$$

El Prandtl.

Typical ranges of Prandtl numbers for common fluids

Fluid	Pr
Liquid metals	0.004–0.030
Gases	0.19–1.0
Water	1.19–13.7
Light organic fluids	5–50
Oils	50–100,000
Glycerin	2000–100,000

Tomada de Cengel et Al. "Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences."

EL Nu Y EN FUNCIÓN DEL Re Y EL Pr (TEMPERATURA CONSTANTE.)

- ▶ En el caso laminar es posible resolver exactamente las ecuaciones de transporte. La solución puede expresarse como:

$$Nu_x = hxX/k = 0.332 Re_x^{0.5} Pr^{1/3} \quad (Pr > 0.6)$$

- ▶ En el caso turbulento puede construirse experimentalmente la correlación:

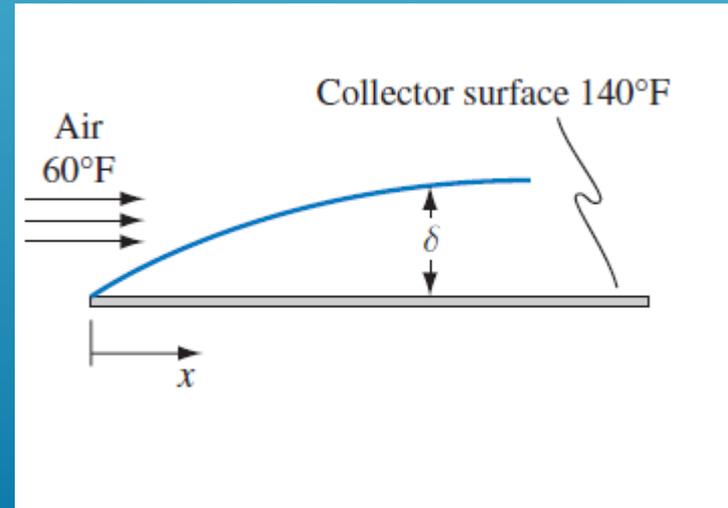
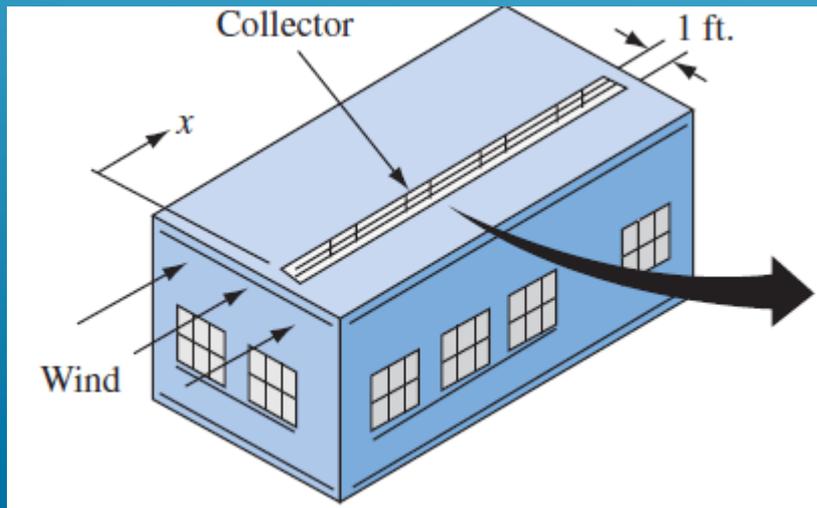
$$Nu_x = hxX/k = 0.0296 Re_x^{0.8} Pr^{1/3} \quad (0.6 < Pr < 60)$$

El subíndice x indica que estas magnitudes varían con la posición.

Ejemplo.

Un colector solar en forma de placa plana se coloca horizontalmente en el techo de una casa. Para determinar su eficiencia es necesario calcular el flujo de calor al medio ambiente. El colector tiene un pie de ancho. La temperatura en su superficie es de 140 F. Si sopla un viento a 60 F con una velocidad de 10 Ft/s calcule las siguientes cantidades a las distancias de 1 ft y de X_c :

- Espeor de la capa límite
- Coeficiente local de transferencia de calor
- Coeficiente local de transferencia de calor
- Tasa de transferencia de calor por convección.



Magnitud	Ecuación	Result ($x = 0.305$ m)	Result ($x = 2.8$ m)
δ	$\delta = \frac{5x}{\sqrt{\text{Re}_x}}$	0.00648	0.0195
δ_t	$\delta/\delta_{th} = \text{Pr}^{1/3}$	0.00723	0.0217
h_{cx}	$h_{cx} = 0.332 \frac{k}{x} \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$	6.12	2.04
\bar{h}_c	$\bar{h}_c = 2h_c(x = L)$	12.23	4.08
q	$q = 0.664k \text{Re}_L^{1/2} \text{Pr}^{1/3} b(T_s - T_\infty)$	50.5	152

FLUJO TRANSITORIO

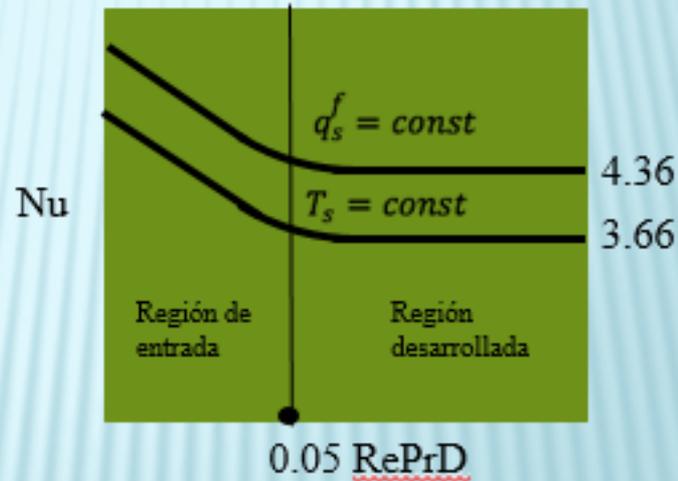
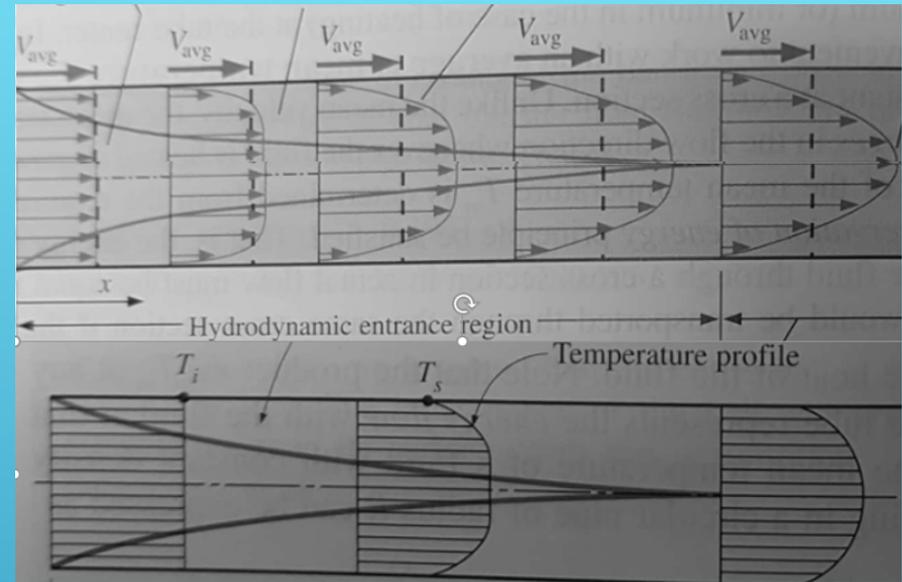
Laminar

$$L_{h \text{ lam}} = 0.05 \text{ Re}D$$

$$L_{t \text{ lam}} = 0.05 \text{ RePr}D = L_{h \text{ lam}} \text{ Pr}$$

Turbulento

$$L_{h \text{ tur}} = L_{t \text{ tur}} = 10 D$$



EN PRIMER ANÁLISIS. FLUJO ESTABLECIDO

$$\frac{h_{ln} D}{k_b} = 1,86 (Re_b Pr, \frac{D}{L})^{1/3} (\mu_b / \mu_0)^{0,14}$$

Para flujo laminar

$$\frac{h_{ln} D}{k_b} = 0,026 \left(\frac{DG}{\mu_b} \right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_0} \right)^{0.14}$$

Para flujo turbulento

La región de transición $2100 < Re < 10\ 000$ se conoce menos se evita hasta donde se puede.

La correlación tiene márgenes de error de 20%

METALES LÍQUIDOS Y TUBOS CORTOS.

Liquid Metals

for $q_s'' = \text{const}$ smooth pipe, fully developed

Skupinski

(8.64)

$$Nu_D = 4.82 + 0.0185 Pe_D^{0.287}$$

$$100 < Pe_D < 10000$$

$$Pe_D = Re_D \cdot Pr$$

$$3.6e3 < Re_D < 9.05e6$$

for $T_s = \text{const}$

Seban

(8.65)

$$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.3}$$

$$Pe_D \geq 100$$

Short Tubes

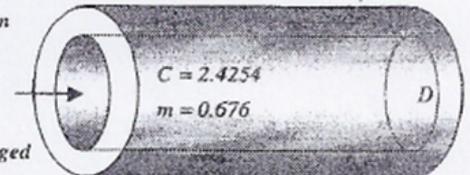
(8.63)

$$\overline{Nu}_D = Nu_D \cdot \left[1 + \frac{C}{(x/D)^m} \right]$$

Nu_D is calculated for fully developed flow

coefficients C and m depend on the shape of inlet

Example: sharp-edged



$$C = 2.4254$$

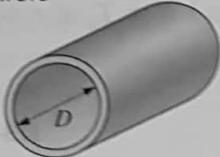
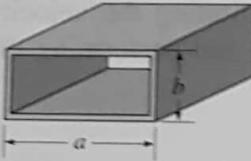
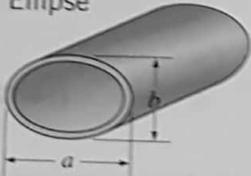
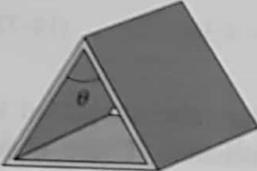
$$m = 0.676$$

x

NU PARA DUCTOS NO CIRCULARES.

TABLE 19-3

Nusselt number and friction factor for fully developed laminar flow in tubes of various cross sections ($D_h = 4A_c/p$, $Re = V_{avg}D_h/\nu$, and $Nu = hD_h/k$)

Tube Geometry	a/b or θ°	Nusselt Number	
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$
Circle 	—	3.66	4.36
Rectangle 	a/b 1 2 3 4 6 8 ∞	2.98 3.39 3.96 4.44 5.14 5.60 7.54	3.61 4.12 4.79 5.33 6.05 6.49 8.24
Ellipse 	a/b 1 2 4 8 16	3.66 3.74 3.79 3.72 3.65	4.36 4.56 4.88 5.09 5.18
Isosceles Triangle 	θ 10° 30° 60° 90° 120°	1.61 2.26 2.47 2.34 2.00	2.45 2.91 3.11 2.98 2.68

Los valores de la tabla aplican al caso de flujo laminar completamente desarrollado.

Resumen de correlaciones convección forzada. (Kreith)

TABLA 6.4 Resumen de correlaciones para la convección forzada para flujo incompresible dentro de tubos y conductos^{a,b,c}

Descripción del sistema	Correlación recomendada	Ecuación en el libro
Factor de fricción para flujo laminar en tubos y conductos largos	Líquidos: $f = (64/Re_D)(\mu_s/\mu_b)^{0.14}$ Gases: $f = (64/Re_D)(T_s/T_b)^{0.14}$	(6.44) (6.45)
Número de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en tubos largos con flujo de calor uniforme, $Pr > 0.6$	$\bar{Nu}_D = 4.36$	(6.31)
Número de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en tubos largos con temperatura de pared uniforme, $Pr > 0.6$	$\bar{Nu}_D = 3.36$	(6.32)
Número de Nusselt promedio para flujo laminar en tubos y conductos de longitud intermedia con temperatura de pared uniforme, $(Re_{D_H} Pr_{D_H}/L)^{0.33}(\mu_b/\mu_s)^{0.14} > 2$, $0.004 < (\mu_b/\mu_s) < 10$ y $0.5 < Pr < 16000$	$\bar{Nu}_{D_H} = 1.86(Re_{D_H} Pr_{D_H}/L)^{0.33}(\mu_b/\mu_s)^{0.14}$	(6.42)
Número de Nusselt promedio para flujo laminar en tubos y conductos cortos con temperatura de pared uniforme, $100 < (Re_{D_H} Pr_{D_H}/L) < 1500$ y $Pr < 0.7$.	$\bar{Nu}_{D_H} = 3.66 + \frac{0.0668 Re_{D_H} Pr_{D_H}/L}{1 + 0.045(Re_{D_H} Pr_{D_H}/L)^{0.66}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s}\right)^{0.14}$	(6.41)
Factor de fricción para flujo turbulento completamente desarrollado a través de tubos y conductos largos y lisos	$f = 0.184/Re_{D_H}^{0.2} (10000 < Re_{D_H} < 10^6)$	(6.56)
Número de Nusselt promedio para flujo turbulento completamente desarrollado a través de tubos y conductos largos y lisos, $6000 < Re_D < 10^7$, $0.7 < Pr < 10000$ y $L/D_H > 60$	$\bar{Nu}_{D_H} = 0.027 Re_{D_H}^{0.8} Pr^{1/3} (\mu_b/\mu_s)^{0.14}$ o tabla 6.3 o la correlación de Gnielinski, ecuación (6.65) para $Re_D > 2300$	(6.61) (6.63)
Número de Nusselt promedio para metales líquidos en flujo turbulento completamente desarrollado a través de tubos lisos con flujo térmico uniforme, $100 < Re_D Pr < 10^4$ y $L/D > 30$	$\bar{Nu}_D = 4.82 + 0.0185 (Re_D Pr)^{0.827}$	(6.68)
Igual que lo anterior, pero en la región de entrada con calor constante cuando $Re_D Pr < 100$	$\bar{Nu}_D = 3.0 Re_D^{0.0833}$	(6.69)
Número de Nusselt promedio para metales líquidos en flujo turbulento completamente desarrollado a través de tubos lisos con temperatura superficial uniforme, $Re_D Pr > 100$ y $L/D > 30$	$\bar{Nu}_D = 5.0 + 0.025(Re_D Pr)^{0.8}$	(6.70)

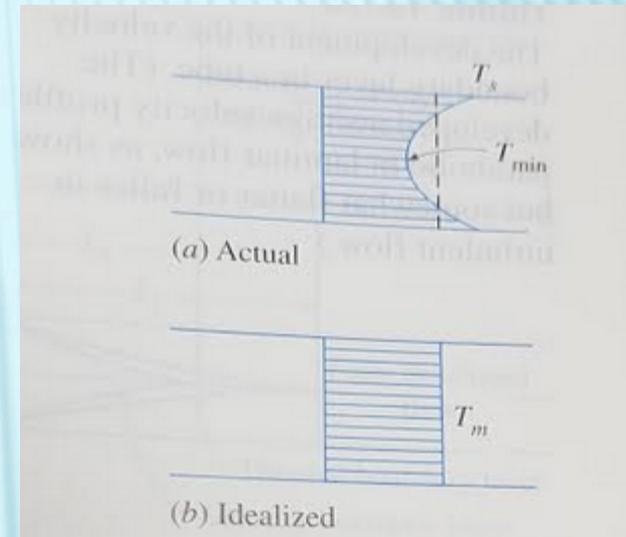
^aTodas las propiedades físicas en las correlaciones se evaluaron a la temperatura global T_b , excepto μ_s , que se evaluó a la temperatura de pared T_s .

^b $Re_{D_H} = D_H \bar{u} \rho / \mu$, $D_H = 4A_c/P$ y $\bar{u} = \dot{m} / \rho A_c$.

^cLas correlaciones para flujo incompresible son válidas cuando la velocidad promedio es menor que la mitad de la velocidad del sonido (número de Mach < 0.5) para gases y vapores.

Variación de la temperatura media (t_m) del fluido en la dirección del flujo.

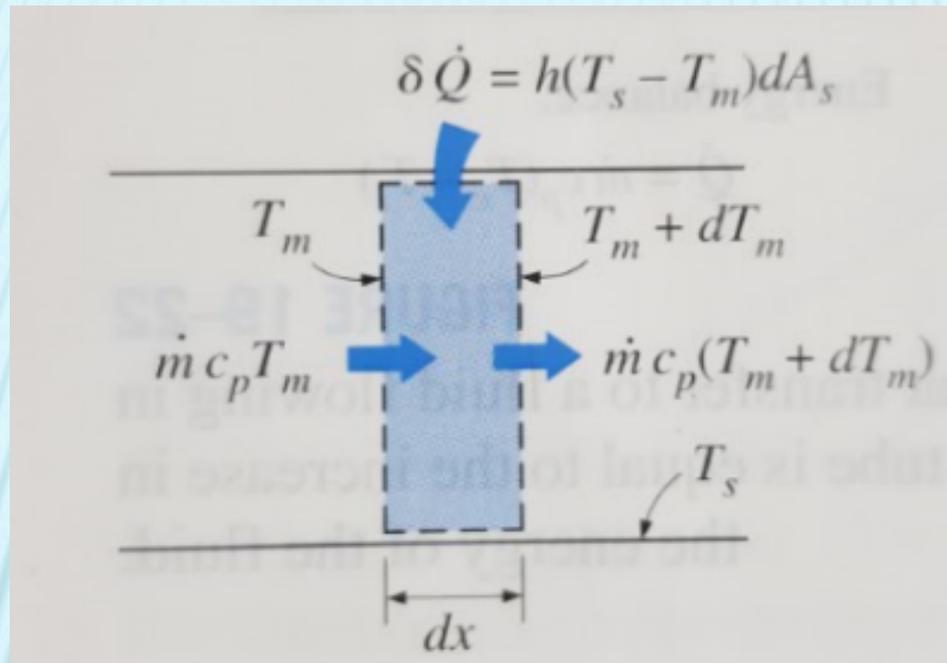
- ✘ Al conocer h se puede calcular mediante la ley de enfriamiento de Newton el flujo de calor a través de la superficie del tubo.
- ✘ Un problema que no hemos estudiado aún es el de la variación de la temperatura a lo largo de la dirección del flujo.
- ✘ Para resolver este tipo de problemas realizamos un balance de energía.



$$\dot{m} c_p T_m$$

Representa el flujo de energía en cualquier sección transversal

BALANCE DIFERENCIAL.



$$\dot{m} c_p dT_m = h(T_s - T_m)dA_s$$

INTEGRACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BALANCE:

$$\dot{m}c_p dT_m = h(T_s - T_m)dA_s$$

$$dA_s = p dx$$

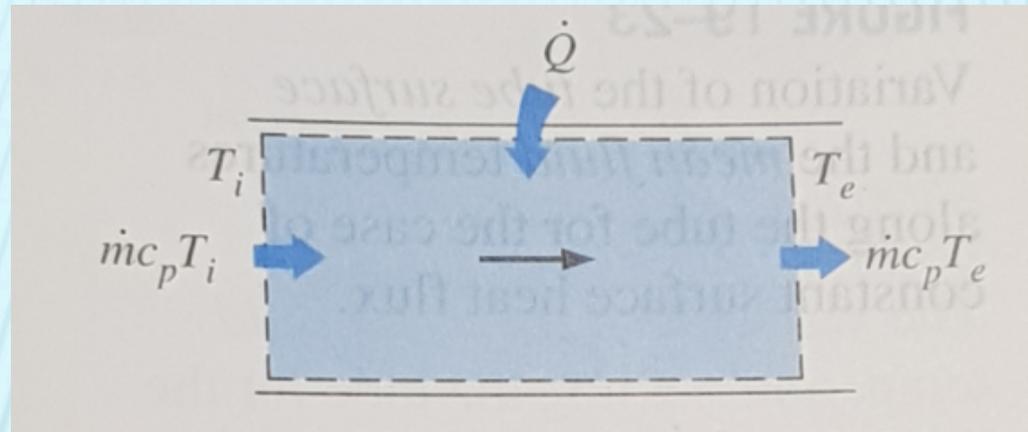
$$\frac{d(T_s - T_m)}{T_s - T_m} = -\frac{hp}{\dot{m}c_p} dx$$

$$\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i} = -\frac{hA_s}{\dot{m}c_p}$$

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp(-hA_s/\dot{m}c_p)$$

$$\dot{m}c_p = -\frac{hA_s}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]}$$

BALANCE MACROSCÓPICO



$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_e - T_i)$$

$$\dot{m}c_p = - \frac{hA_s}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]}$$

$$\dot{Q} = hA_s\Delta T_{\ln}$$

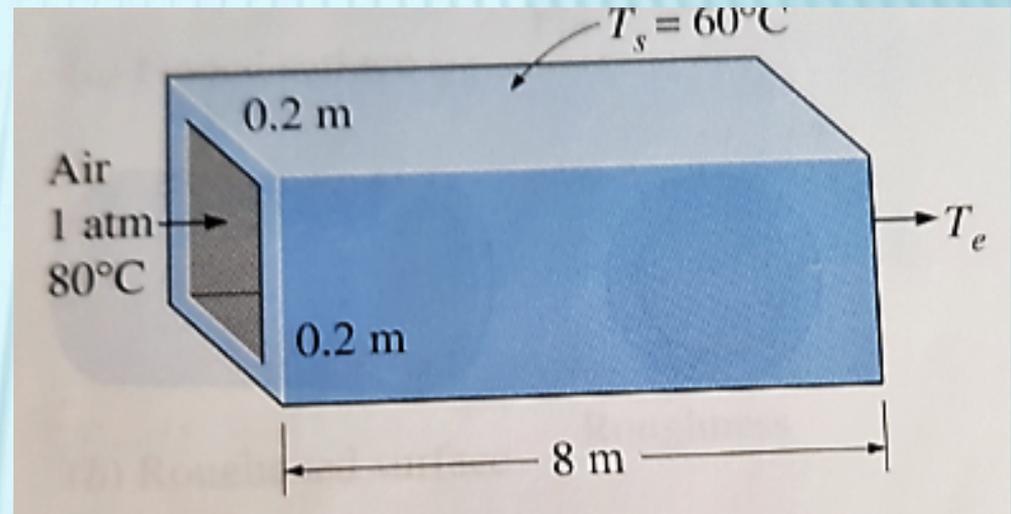
$$\Delta T_{\ln} = \frac{T_i - T_e}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_e/\Delta T_i)}$$

ACTIVIDAD.

- × Calcular las unidades de $\dot{m} c_p T_m$
- × Mostrar que \dot{m} puede escribirse como $\rho V_{\text{prom}} A$
- × Calcular el valor de $\dot{m} c_p T_m$ para agua fluyendo a 0.3 Kg/s a una temperatura media de 65 C. El C_p del agua a esa temperatura es de 4187 J/kg C

EJEMPLO 2. PÉRDIDA DE CALOR EN DUCTOS NO CIRCULARES.

En el ático de una casa pasa un ducto, no aislado, de longitud 8 m y sección transversal de 0.2 m X 0.2 m que transporta aire a presión atmosférica a una tasa de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$. La temperatura a la cual entra el aire al ducto es 80 C . ¿Cuál es la temperatura de salida del aire y la tasa de pérdida de calor del ducto al recinto?



CÁLCULO DEL REYNOLDS Y LONGITUD DE ENTRADA.

Las propiedades físicas del aire en las condiciones de entrada del aire son:

$$\rho = 0.9994 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 0.02953 \text{ W/m C}$$

$$\gamma = 2.097 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C_p = 1008 \text{ J/Kg C}$$

$$Pr = 0.7154$$

Con lo que podemos calcular el Re y la longitud para tener un flujo establecido

$$D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0.2 \text{ m}$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.2 \text{ m})^2} = 3.75 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V_{\text{avg}} D_h}{\gamma} = \frac{(3.75 \text{ m/s})(0.2 \text{ m})}{2.097 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 35,765$$

$$L_h \approx L_t \approx 10D = 10 \times 0.2 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

CÁLCULO DE h

El flujo es turbulento y está completamente desarrollado,

usamos por lo tanto la correlación: $\frac{h_{in} D}{k_b} = 0,026 \left(\frac{DG}{\mu_b}\right)^{0,8} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_0}\right)^{0,14}$

Cengel utiliza: $Nu = \frac{h D_h}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}$ Para determinar h

Es decir asume que μ no varía mucho

$$Nu = \frac{h D_h}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} = 0.023 (35,765)^{0.8} (0.7154)^{0.3} = 91.4$$

$$h = \frac{k}{D_h} Nu = \frac{0.02953 \text{ W/m} \cdot \text{°C}}{0.2 \text{ m}} (91.4) = 13.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

CÁLCULO DE LA TASA DE CALOR PERDIDO.

$$\Delta T_{\ln} = \frac{T_i - T_e}{\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i}} = \frac{80 - 71.3}{\ln \frac{60 - 71.3}{60 - 80}} = -15.2^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{\ln} = (13.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})(6.4 \text{ m}^2)(-15.2^{\circ}\text{C}) = -1313 \text{ W}$$

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA A LA SALIDA

Para calcular la temperatura de salida usamos la fórmula

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp(-hA_s / \dot{m}c_p)$$

Calculando

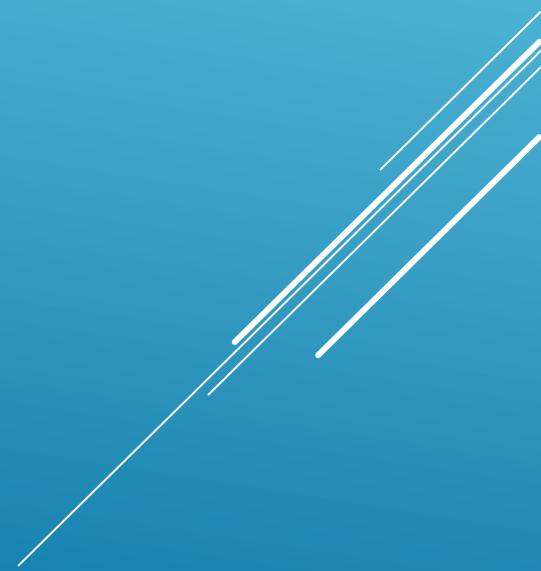
$$A_s = 4aL = 4 \times (0.2 \text{ m})(8 \text{ m}) = 6.4 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (0.9994 \text{ kg/m}^3)(0.15 \text{ m}^3/\text{s}) = 0.150 \text{ kg/s}$$

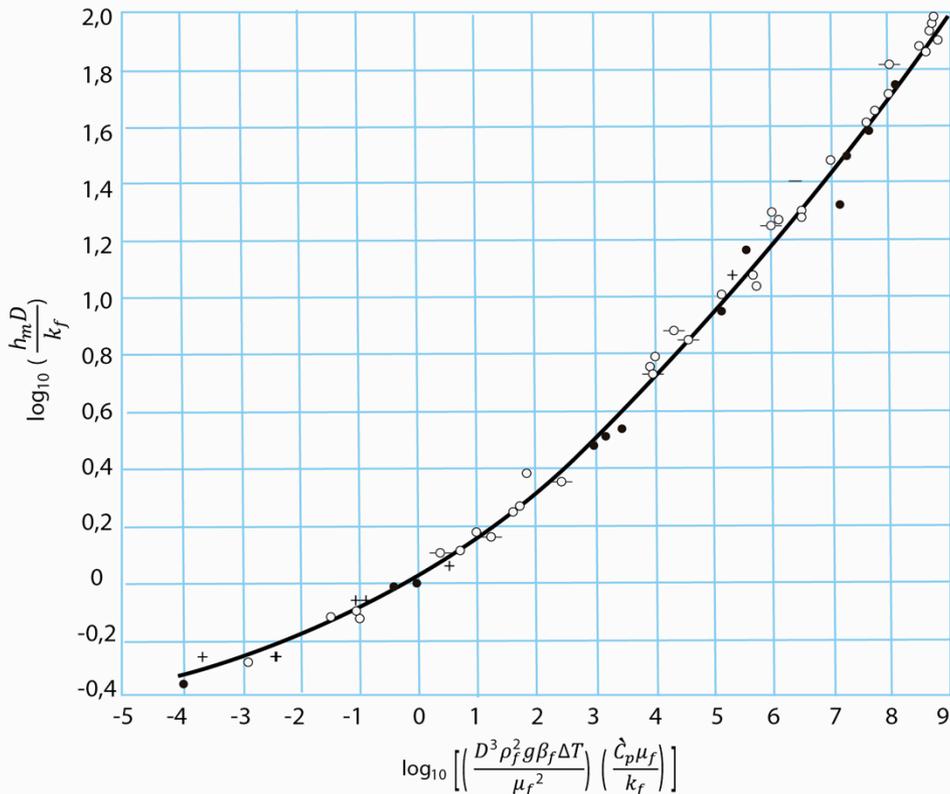
Y sustituyendo:

$$\begin{aligned} &= 60^\circ\text{C} - [(60 - 80)^\circ\text{C}] \exp \left[- \frac{(13.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(6.4 \text{ m}^2)}{(0.150 \text{ kg/s})(1008 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} \right] \\ &= 71.3^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Convección libre.



Convección libre alrededor de un Cilindro horizontal



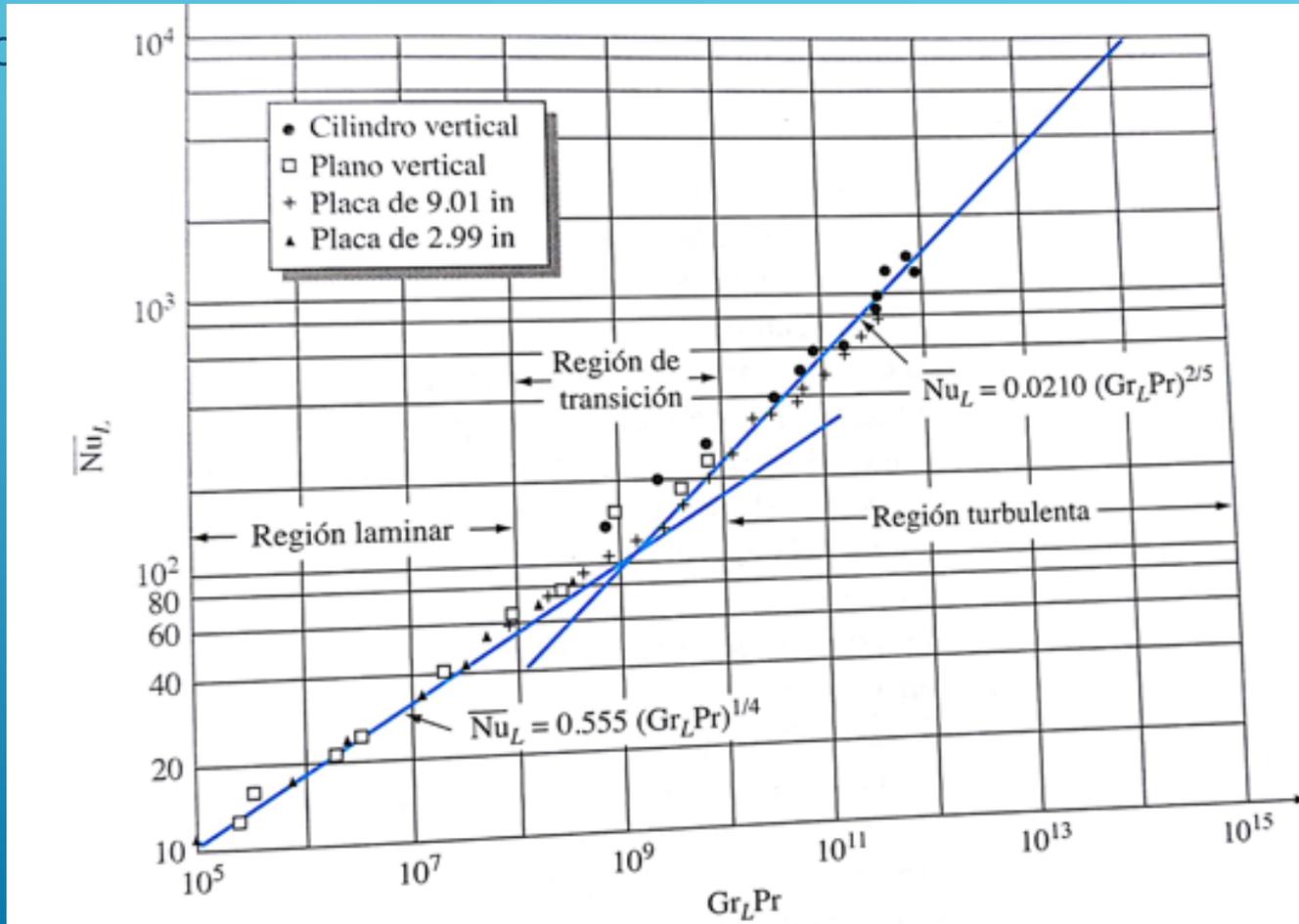
En este caso $Nu = Nu(Gr, Pr)$

Para $Gr Pr > 10^4$, esta gráfica está representada por la ecuación

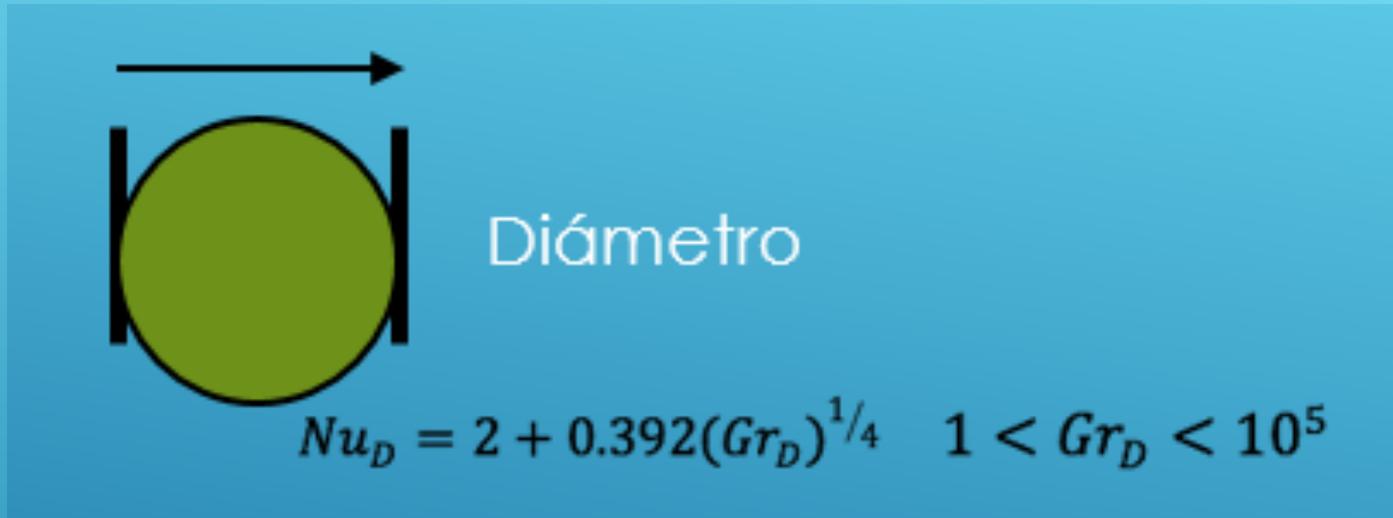
$$Nu = 0.525 (GrPr)^{1/4}$$

CORRELACION PARA CONVECCIÓN NATURAL EN PLACAS Y CILINDROS VERTICALES.

Tomado



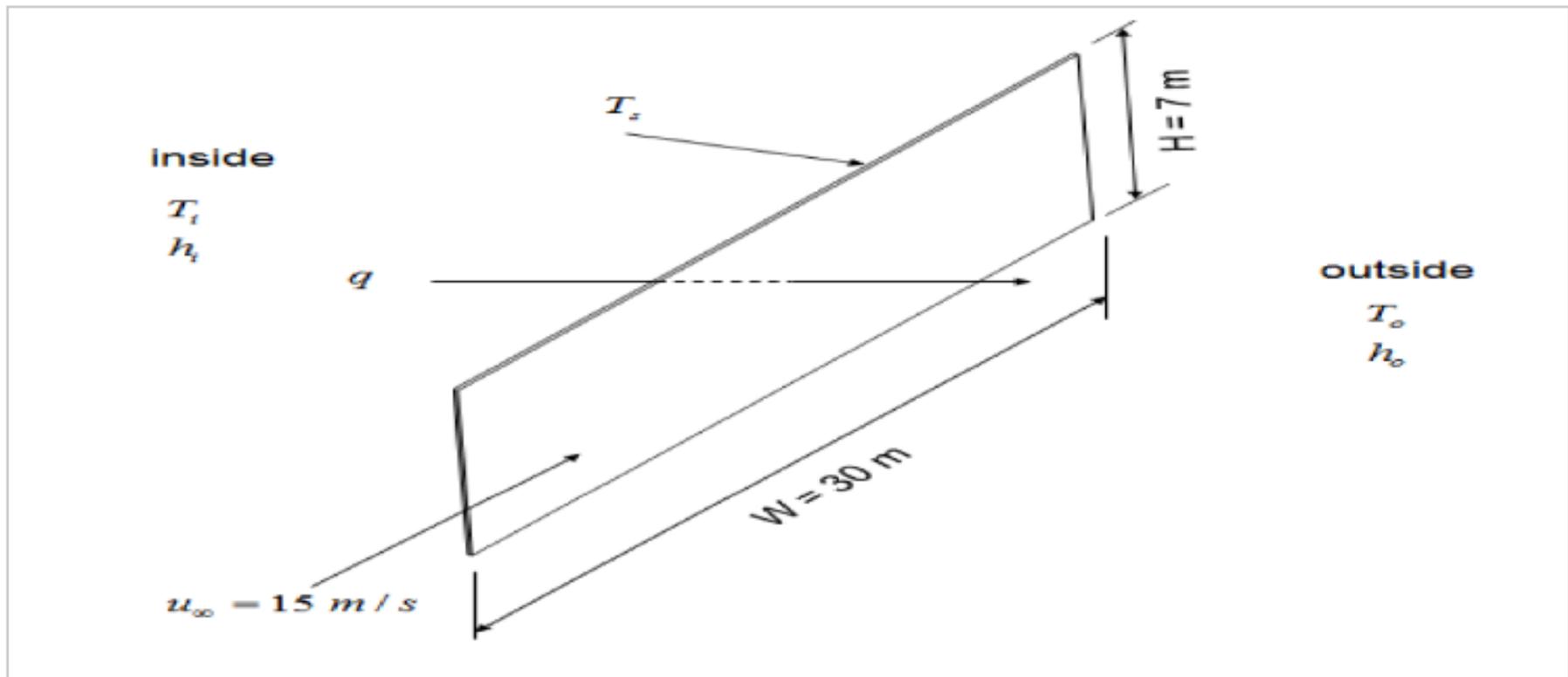
Esfera sumergida. Convección libre



Existen muchas otras correlaciones para diferentes geometrías y situaciones

EJEMPLO. CONVECCIÓN FORZADA Y LIBRE.

En el siguiente dibujo se esquematiza el costado de un edificio de altura 7 m y ancho 30 m que está hecho completamente de vidrio. Se marcan las temperaturas exterior e interior y la velocidad de una corriente de aire paralela a la pared del edificio.



Calcule la pérdida de calor a través del vidrio si la temperatura del aire dentro del edificio es de 20 °C , fuera es de -15 °C cuando en el exterior sopla un viento de 15 m/s paralelo al costado del edificio.

Realice las siguientes consideraciones:

- Desprecie la resistencia térmica del vidrio.

Considere los siguientes valores para las características del aire:

- $\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$
- $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms}$
- $C_p = 1 \text{ KJ/kg K}$
- $Pr = 0.7$

SOLUCIÓN

- ▶ Metodología:

- ▶ 1. El problema se resuelve utilizando la fórmula: $q = h_o (T_s - T_o)$

- ▶ 2. T_o es dato del problema, por lo tanto tenemos que calcular h_o y T_s

2.1 Para calcular h_o usaremos una correlación del Nu en términos de números adimensionales.

2.2 Para calcular T_s realizaremos un balance de energía transmitida del interior al exterior

CÁLCULO DE h_o

La convección puede ser libre o forzada y el flujo laminar o turbulento. Para cada una de esas 4 posibles combinaciones, existe una correlación adimensional para el número de Nu.

	Natural	Forzada
Laminar	$Nu_x = 0.3 Gr_x^{1/4}$	$Nu_x = 0.33 Re_x^{0.5} Pr^{1/3}$
Turbulento	$Nu_x = 0.09 Gr_x^{1/3}$	$Nu_x = 0.029 Re_x^{0.8} Pr^{1/3}$

CORRELACIÓN CONVECCIÓN FORZADA EN EL EXTERIOR.

Con los valores dados en el enunciado

$$Re_L = \frac{\rho u_\infty L}{\mu} = \frac{1.2 \times 15 \times 30}{1.8 \times 10^{-5}} = 3 \times 10^7$$

Por lo tanto el flujo es turbulento y la correlación a emplear será:

$$\underline{Nu_x} = 0.029 Re_x^{0.8} Pr^{1/3}$$

h PROMEDIO.

$$Nu_x = \frac{h x}{k} = 0.029 \left(\frac{\rho u x}{\mu} \right)^{0.8} Pr^{1/3}$$

Despejando:

$$h = \text{constant} \times \frac{(x)^{0.8}}{x} = C x^{-0.2}$$

Para calcular el valor promedio integramos sobre x

$$h_{av} = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} h dx = \frac{C}{L} \int_{x=0}^{x=L} x^{-0.2} dx = \frac{h_{x=L}}{0.8}$$

Con lo cual podemos calcular:

$$\frac{h_o W}{k} = \frac{0.029}{0.8} \left(\frac{\rho u W}{\mu} \right)^{0.8} \text{Pr}^{1/3}$$

$$h_o = \frac{0.026}{30} \times \frac{0.029}{0.8} \left(\frac{1.2 \times 15 \times 30}{1.8 \times 10^{-5}} \right)^{0.8} \times 0.7^{1/3}$$

$$h_o = 26.7 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Correlación convección natural en el interior.

$$Nu_x = \frac{h x}{k} = 0.09 \left(\frac{\rho^2 g \beta (T_i - T_s) x^3}{\mu^2} \right)^{1/3}$$

$$h = \text{constant} \times \frac{(x^3)^{1/3}}{x} = \text{constant}$$

Sustituyendo en la correlación:

$$\frac{h_i H}{k} = 0.09 \left(\frac{\rho^2 g (T_i - T_s) H^3}{\mu^2 \times T_i} \right)^{1/3}$$

Con los valores numéricos dados:

$$h_i = 0.09 \left(\frac{1.2^2 \times 9.81 \times (T_i - T_s)}{(1.8 \times 10^{-5})^2 \times 293} \right) \times 0.026$$

$$h_i = 1.24 (T_i - T_s)^{1/3}$$

Haciendo el balance de energía.

$$h_i(T_i - T_s) = h_o(T_s - T_o)$$

Sustituyendo valores da la siguiente ecuación para T_s :

$$1.24(T_i - T_s)^{4/3} = 26.7(T_s - T_o)$$

$$1.24(20 - T_s)^{4/3} = 26.7(T_s + 15)$$

$$T_s = 0.0464(20 - T_s)^{4/3} - 15$$

La ecuación se puede resolver numéricamente y da:

$$\underline{T_s} = -10.6 \text{ °C}$$

CÁLCULO DE q Y Q

$$q = h_o(T_s - T_o) = 26.7(-10.6 + 15) = 117 \text{ W / m}^2$$

$$Q = qA = 117 \times 30 \times 7 = 24600 \text{ W} = 24.6 \text{ kW}$$

OTRAS TABLAS CON CORRELACIONES.

Convección	Referencia
Convección Natural.	Kreith. P. 334-337
Convección forzada en conductos.	Kreith P. 408
Convección forzada. Flujos externos.	Kreith. P. 472-473

CONSEJOS

- ▶ Revisar las presentaciones de las clases
 - ▶ Revisar los ejercicios hechos en las prácticas
 - ▶ Poner atención a los subíndices y a lo que significa cada símbolo
 - ▶ Familiarizarse con las principales correlaciones.
 - ▶ Organizar el trabajo del equipo previamente (en caso de ser posible)
 - ▶ Sacar respaldo de todo lo que se sube a la plataforma.
- 