

OPERACIONES UNITARIAS

2023



UT 1 - *CALOR: CONVECCION a-*



CONVECCION DEL CALOR

- La convección, es la transferencia de calor mediante el movimiento de un fluido.
- Ocurre cuando ponemos en contacto la superficie de un sólido con un fluido.
- La convección se lleva a cabo porque un fluido en movimiento recoge energía de un cuerpo caliente o lleva energía a un cuerpo frío
- En 1701 Newton definió el calor transferido por convección entre una superficie en contacto con un fluido por medio de:

$$Q = h A (T_s - T)$$

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

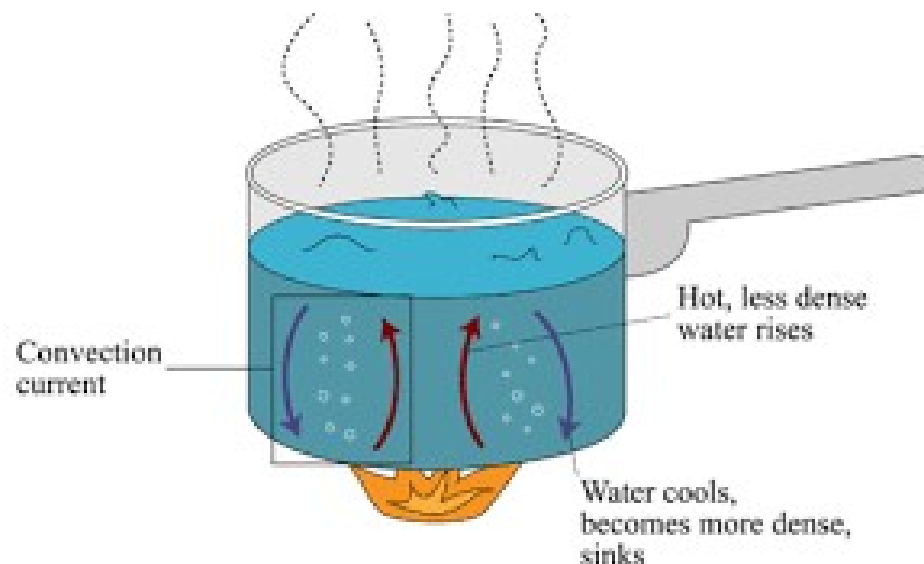
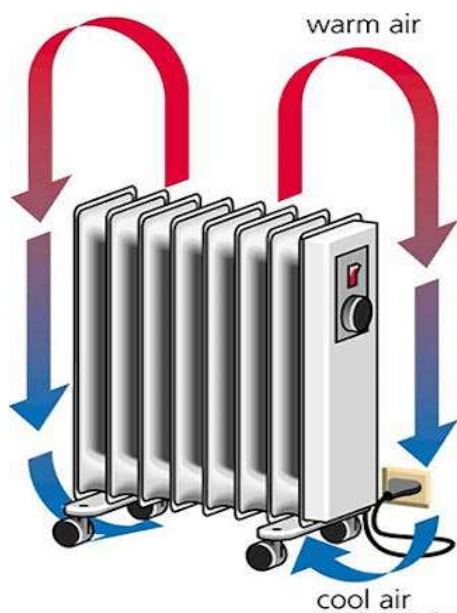
T_s = temperatura de la superficie del sólido

T = temperatura media del fluido

CONVECCION DEL CALOR

Ejemplos de Convección natural

- Una cacerola con agua sobre una hornilla caliente. Como resultado, el agua del fondo se calienta más que en la superficie.
- La δ agua caliente es menor que la δ agua fría.
- El agua del fondo asciende y transmite su calor por convección natural.
- De manera semejante, ocurre con el aire que se pone en contacto con una superficie.(Radiante calefactor)



CONVECCION DEL CALOR



El coeficiente de convección natural para aire se puede obtener por:

- cilindros o planos verticales:

$$h = 1.127(\Delta T)^{\frac{1}{3}} \quad \text{si } L > 0.4 \text{ m}$$

$$h = 1.217 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25} \quad \text{si } L < 0.4 \text{ m}$$

$$h \text{ en } \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- cilindros horizontales: $h = 1.305\Delta T^{\frac{1}{3}}$

- placas calientes con la cara hacia abajo o placas frías con la cara hacia abajo

$$h = 1.305\Delta T^{\frac{1}{3}}$$

- placas frías con la cara hacia arriba o placas calientes con la cara hacia abajo

$$h = 0.5035 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25}$$

CONVECCION DEL CALOR



El coeficiente de convección natural para aire se puede obtener por:

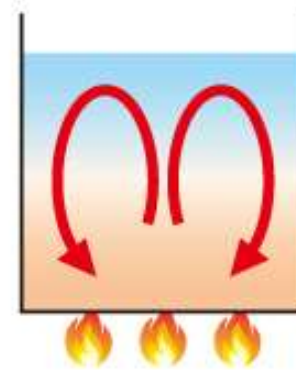
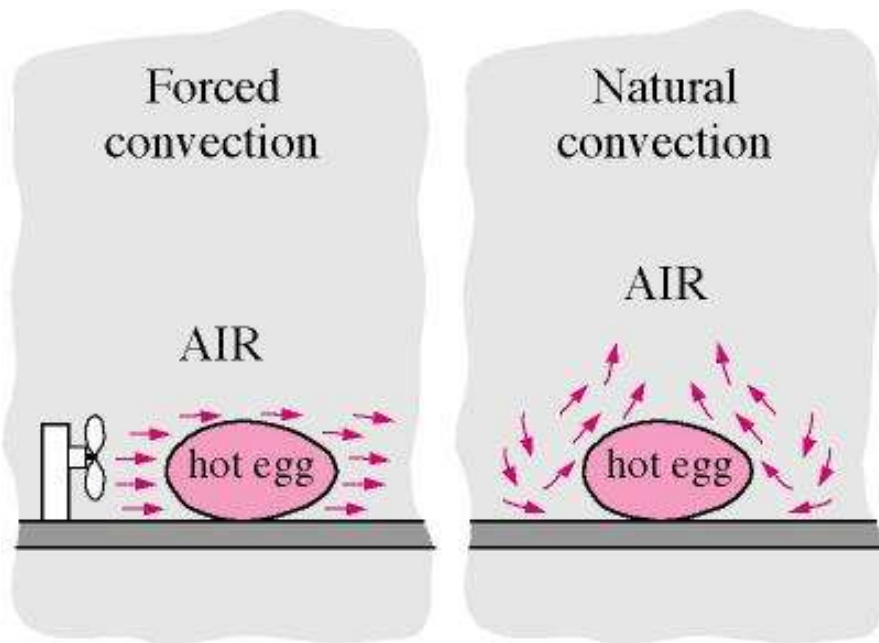
Geometría	Dimensión Característica L	Tipo de flujo	Rango de GrPr	Coeficiente de Transferencia de calor ha (W/m ² K)
Placas y cilindros verticales	Altura	Laminar Turbulento	10 ⁴ hasta 10 ⁹ 10 ⁹ hasta 10 ¹³	ha=1.42(ΔT/L) ^{1/4} ha=1.31ΔT ^{1/3}
Cilindros horizontales	Diámetro externo	Laminar Turbulento	10 ⁴ hasta 10 ⁹ 10 ⁹ hasta 10 ¹³	ha=1.32(ΔT/L) ^{1/4} ha=1.24ΔT ^{1/3}
Placas horizontales Superficie superior caliente o Superficie inferior fría	Como se define en el texto	Laminar Turbulento	10 ⁵ hasta 2.10 ⁷ 2.10 ⁷ hasta 3.10 ¹⁰	ha=1.32(ΔT/L) ^{1/4} ha=1.52ΔT ^{1/3}
Placas horizontales Superficie superior fría o Superficie inferior caliente	Como se define en el texto	Laminar	3.10 ⁵ hasta 3.10 ¹⁰	ha=0.59(ΔT/L) ^{1/4}

L en metros. ΔT en °C Estas relaciones se pueden extender a presiones mayores o menores con respecto a la atmosférica multiplicando por los siguientes factores (p/1.033)^{1/2} para flujo laminar y (p/1.032)^{2/3} para flujo turbulento (presiones en atmósferas absolutas)

CONVECCION DEL CALOR

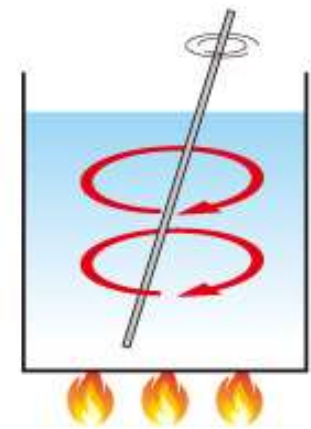
Convección forzada

- En la convección forzada las corrientes se producen por medio de una bomba, un agitador, un compresor o un ventilador.



A flow is driven only by temperature difference

(a) Natural convection



A flow is driven by an external factor

(b) Forced convection

CONVECCION DEL CALOR

TABLE 1.2 Summary of Dimensionless Groups Used in Heat Transfer

Group	Symbol	Definition
Bejan number	Be	$\Delta P L^2 / \mu \alpha$
Biot number	Bi	$h L / k$
Colburn j -factor	j_h	$St \cdot Pr^{2/3}$
Eckert number	Ec	$\hat{V}_\infty^2 / c_p (T_w - T_\infty)$
Elenbass number	El	$\rho^2 \beta g c_p z^4 \Delta T / \mu k L$
Euler number	Eu	$\Delta P / \rho \hat{V}^2$
Fourier number	Fo	$\alpha t / L^2$
Froude number	Fr	$\hat{V}^2 / g L$
Graetz number	Gz	$\rho c_p \hat{V} d^2 / k L$
Grashof number	Gr	$g \beta \Delta T L^3 / \nu^2$
Jakob number	Ja	$\rho_l c_{pl} (T_w - T_{sat}) / \rho g g h_{fg}$
Knudsen number	Kn	λ / L
Mach number	Ma	\hat{V} / a
Nusselt number	Nu	$h L / k$
Péclet number	Pe	$Re \cdot Pr = \rho c_p \hat{V} L / k$
Prandtl number	Pr	$c_p \mu / k = \nu / \alpha$
Rayleigh number	Ra	$Gr \cdot Pr = \rho g \beta \Delta T L^3 / \mu \alpha$
Reynolds number	Re	$\rho \hat{V} L / \mu$
Stanton number	St	$Nu / Re \cdot Pr = h / \rho c_p \hat{V}$
Stefan number	Ste	$c_p (T_w - T_m) / h_{sf}$
Strouhal number	Sr	$L f / \hat{V}$
Weber number	We	$\rho \hat{V}^2 L / \sigma$

CONVECCION DEL CALOR

Por medio de relaciones de Números Adimensionales podemos definir los fenómenos de Convección.

- Si la relación entre el número de Grashof y $(\text{Re})^2$

$\text{Gr} / \text{Re}^2 \gg 1$ Convección Libre o Natural

$\text{Gr} / \text{Re}^2 \ll 1$ Convección Forzada

Grashof number

Gr

$g\beta \Delta T L^3 / \nu^2$

Gr = Fuerzas de flotación / Fuerzas viscosas

Reynolds number

Re

$\rho \hat{V} L / \mu$

Re = Fuerzas de inercia / Fuerzas viscosas

CONVECCION DEL CALOR

Y con estos resultados concluimos que:

- Los fenómenos relacionados con la convección libre son dominados por fuerzas de flotación y el número de Nusselt será función de (Gr y Pr)
- Los fenómenos relacionados con la convección forzada están dominados por fuerzas de inercia y el número de Nusselt será función de (Re y Pr)

$$\text{Nu} = h L / k$$

Nu = transferencia de calor por convección / transferencia de calor por conducción.

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= C_p \mu / k \\ &= \nu / \alpha \end{aligned}$$

Pr = velocidad de difusión de la cantidad de movimiento (viscosidad) / velocidad de difusión del calor (difusividad térmica)

CONVECCION DEL CALOR

Convección forzada

- La magnitud de la transferencia de calor por convección forzada es de decenas a cientos de veces más grande que la que se logra por convección natural.

$$Q = h A \Delta T$$

h = coeficiente de transferencia de calor por convección forzada.

h depende:

-geometría del sistema

-velocidad del fluido

-de las propiedades de este

- Se emplean correlaciones apropiadas para cada condición específica.
- Estas correlaciones dependen de números adimensionales-
- tales como el Nusselt, Reynolds, Prandtl, Grashof, Graetz, etc.

CONVECCION DEL CALOR

Typical values of convection heat transfer coefficient

Type of convection	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

CONVECCION DEL CALOR

Coefficientes aproximados de película

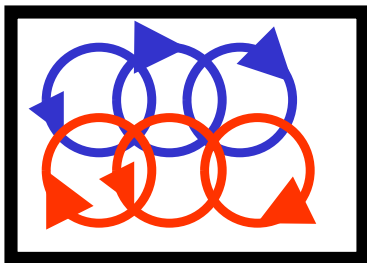
$$h_i \text{ ó } h_o \quad \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

<i>Sin cambio de estado</i>	
Agua	1450 a 9760
Gases	15 a 250
Solventes orgánicos	300 a 2500
Aceites	50 a 585
<i>Condensación</i>	
Vapor	5000 a 15000
Solventes orgánicos	730 a 2500
Aceites ligeros	1000 a 2000
Aceites pesados (vacío)	100 a 250
Amoniaco	2500 a 5000
<i>Evaporación</i>	
Agua	4000 a 9760
Solventes orgánicos	500 a 1500
Amoniaco	1000 a 2000
Aceites ligeros	730 a 1460
Aceites pesados	50 a 250

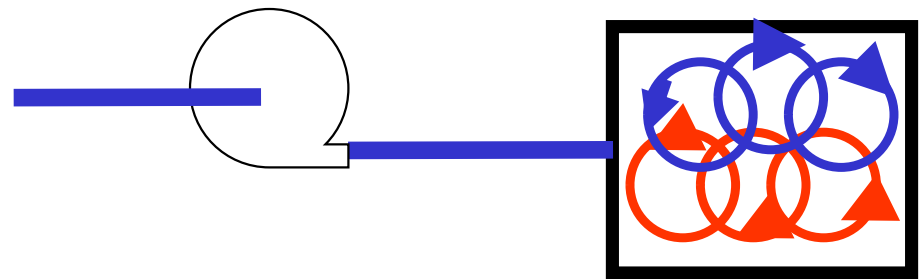
CONVECCION DEL CALOR

CONVECCION: Transferencia de calor entre fluido frío adyacente que reciben calor de superficies calientes, que transfieren al resto del fluido frío por mezcla, o partes calientes y frías de un fluido por mezclas. (agua que se calienta en un recipiente).

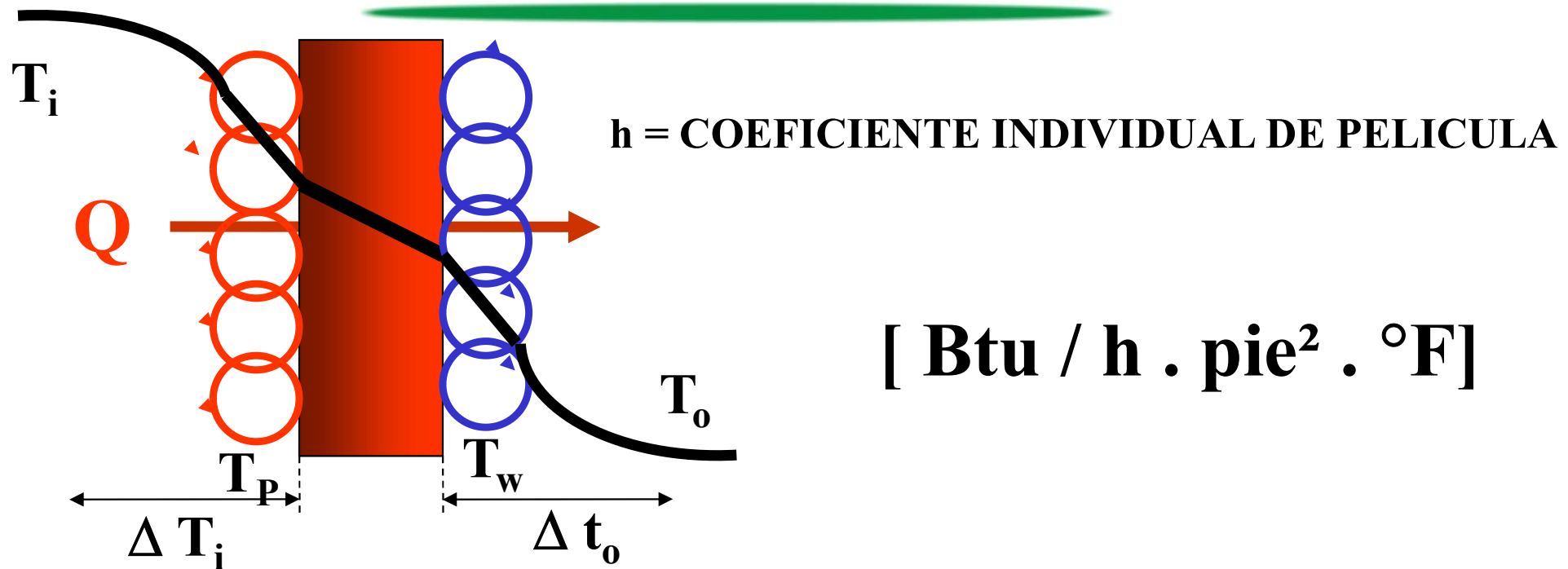
NATURAL O LIBRE



FORZADA



CONVECCION DEL CALOR



$$Q = \frac{A_i (T_i - T_p)}{R_i} = \frac{A_o (T_w - T_o)}{R_o}$$

$$Q = h_i A_i \Delta T_i = h_o A_o \Delta T_o$$

CONVECCION DEL CALOR



$$**Q = h A \Delta t**$$

El flujo de calor convectivo por unidad de area es proporcional a la diferencia entre la temperatura de la superficie y la temperatura del fluido, como se establece en la ley de Newton de enfriamiento

CONVECCION DEL CALOR

$$Q = h A \Delta t$$

Q : FLUJO DE CALOR (Kcal / h)

A : AREA DE INTERCAMBIO DE CALOR (m²)

Δ T : DIFERENCIA DE TEMPERATURA (°C)

***h : COEFICIENTE PELICULAR DE TRANSMISION
DE CALOR POR CONVECCION (Kcal / h m² °C)***

CONVECCION DEL CALOR

$$Q = h A \Delta t$$

La dependencia lineal de la fuerza impulsora de la temperatura ($T_s - T_f$), es la misma que para la conducción pura en un sólido con conductividad térmica constante.

A diferencia de la conductividad térmica, el coeficiente de transferencia de calor no es una propiedad intrínseca del fluido.

Depende tanto de los patrones de flujo determinados por la mecánica de fluidos como de las propiedades térmicas del fluido. Si $T_f - T_s > 0$, el calor será transferido del fluido a la superficie.

CONVECCION DEL CALOR

h : DEPENDE DE MUCHAS VARIABLES

a) PROPIEDADES DEL FLUIDO (ρ , μ , λ , c_p)

b) GEOMETRIA DEL SISTEMA

c) VELOCIDAD DEL FLUIDO

d) DIFERENCIA CARACTERISTICA DE T^o

CONVECCION DEL CALOR

***h : COEFICIENTE PELICULAR DE TRANSMISION
DE CALOR POR CONVECCION (Kcal / h m² °C)***

definir; A y Δt

***FLUJO
TURBULENTO***

FLUJO LAMINAR

***h : "no es una constante característica
del fluido"***

***h : "no es una propiedad de
transporte"***



Los Profesores de la Cátedra OPERACIONES UNITARIAS

**i Agradecemos
su asistencia !**