

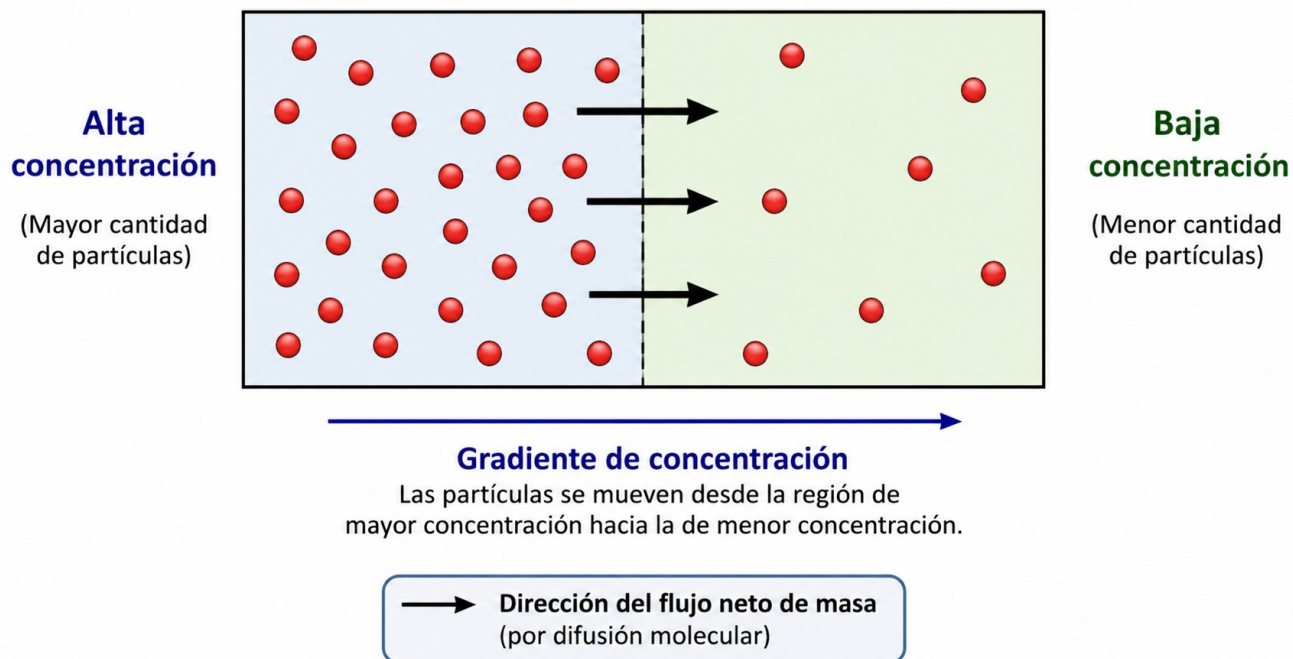
Transferencia de masa

Ing. Forestal_2026

Laidy Hernandez-Mena

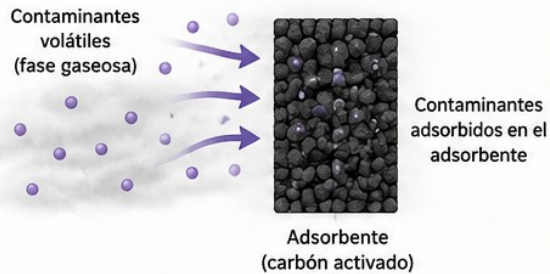
Transferencia de masa por difusión

Masa en tránsito como resultado de una diferencia en la concentración de especies en una mezcla.



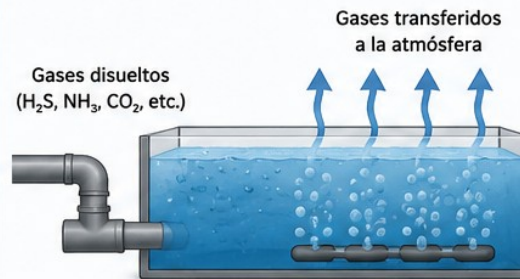
Aplicaciones

1. Eliminación de contaminantes volátiles por adsorción



Los contaminantes pasan de la fase gaseosa a la superficie del adsorbente y quedan retenidos.

2. Eliminación de gases de aguas residuales



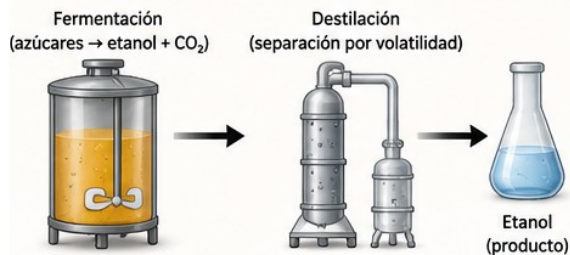
Los gases se transfieren desde el agua hacia el aire mediante procesos de aireación, absorción o adsorción.

3. Difusión de partículas adsorbidas en los poros del carbón activado



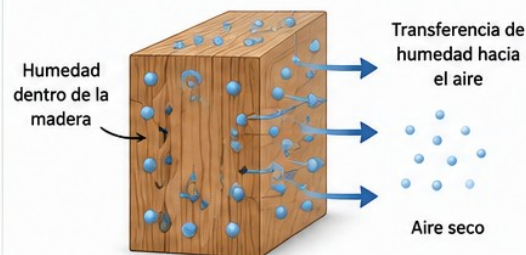
Las moléculas se difunden dentro de los poros del carbón activado y quedan retenidas.

4. Producción de alcohol (etanol)



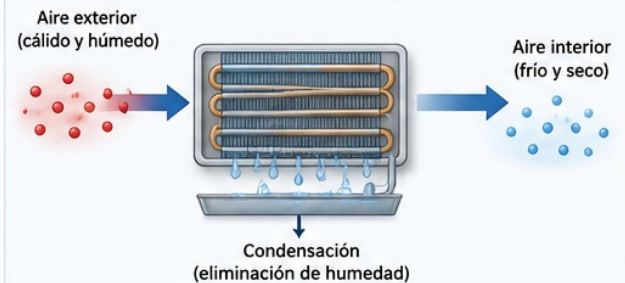
Incluye transferencia de masa durante la fermentación y la separación del etanol por destilación.

5. Secado de madera



La humedad se transfiere desde el interior de la madera hacia el aire circundante hasta alcanzar el equilibrio.

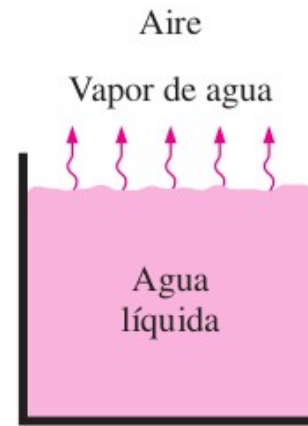
6. Aire acondicionado



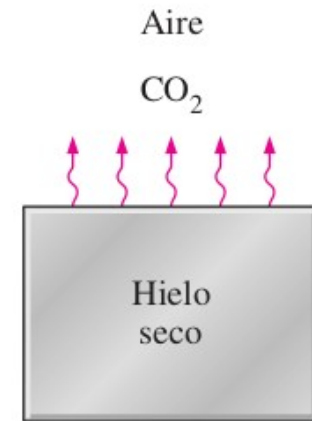
Implica transferencia simultánea de masa (humedad) y calor para el acondicionamiento del aire.

Transferencia de masa

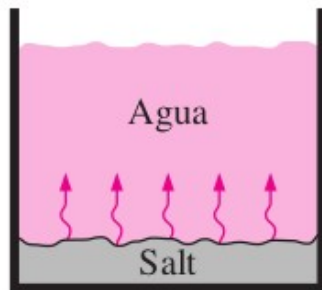
- Puede ocurrir en:
- Líquidos
- Gases
- Sólidos



a) Líquido a gas



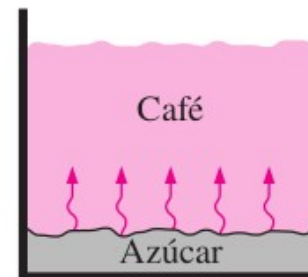
b) Sólido a gas



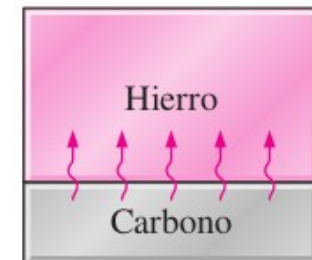
a) Antes



b) Después



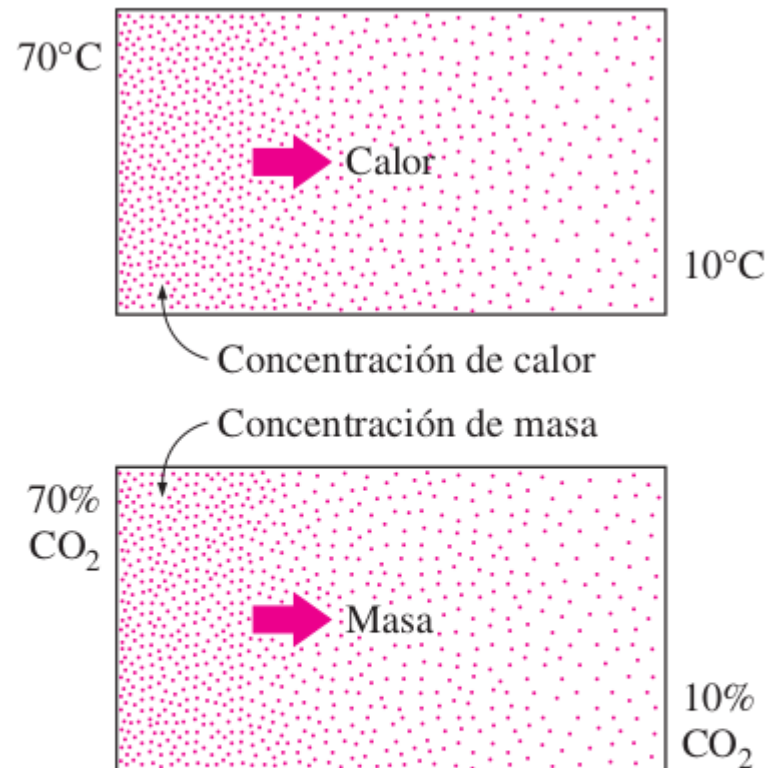
c) Sólido a líquido



d) Sólido a sólido

Analogía entre la transferencia de calor y masa

La fuerza impulsora para la transferencia de calor es la **diferencia de temperatura**. Como contraste, la fuerza impulsora para la transferencia de masa es la **diferencia de concentración**.



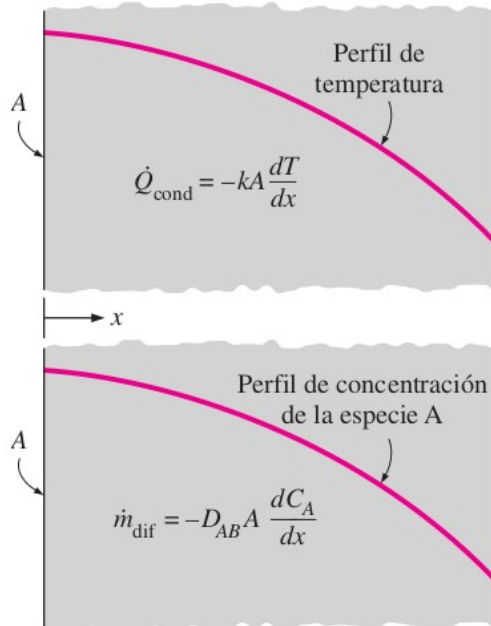
Difusión vs Convección

T.M. Molecular (Difusión) ↔ T.C. por Conducción

T.M. Convectiva ↔ T.C. por Convección

Movimiento aleatorio de un fluido en reposo

Superficie de un fluido en movimiento



Coeficiente de transferencia de masa Diferencia de concentración
 $\dot{m}_{\text{conv}} = h_{\text{masa}} A_s (C_s - C_{\infty})$

Convección de masa:
 Convección de calor:
 $\dot{Q}_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} A_s (T_s - T_{\infty})$

Coeficiente de transferencia de calor Diferencia de temperatura

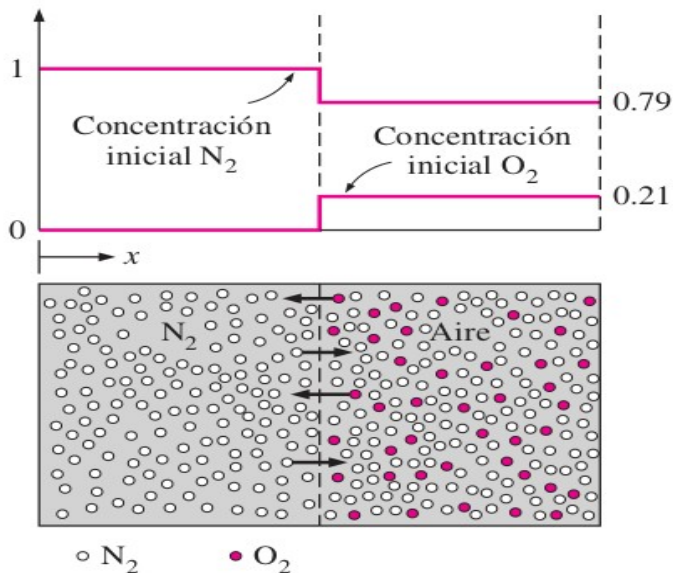
En la Transferencia de Calor (T.C.), ambos mecanismos frecuentemente actúan simultáneamente.

En la Transferencia de Masa (T.M.), uno de los mecanismos puede predominar cuantitativamente.

Origen física - Difusión de masa

Movimiento aleatorio: misma probabilidad que una molécula se mueva hacia la derecha.

Tanque con dos especies gaseosas, dividido en dos partes iguales a la misma temperatura y presión.

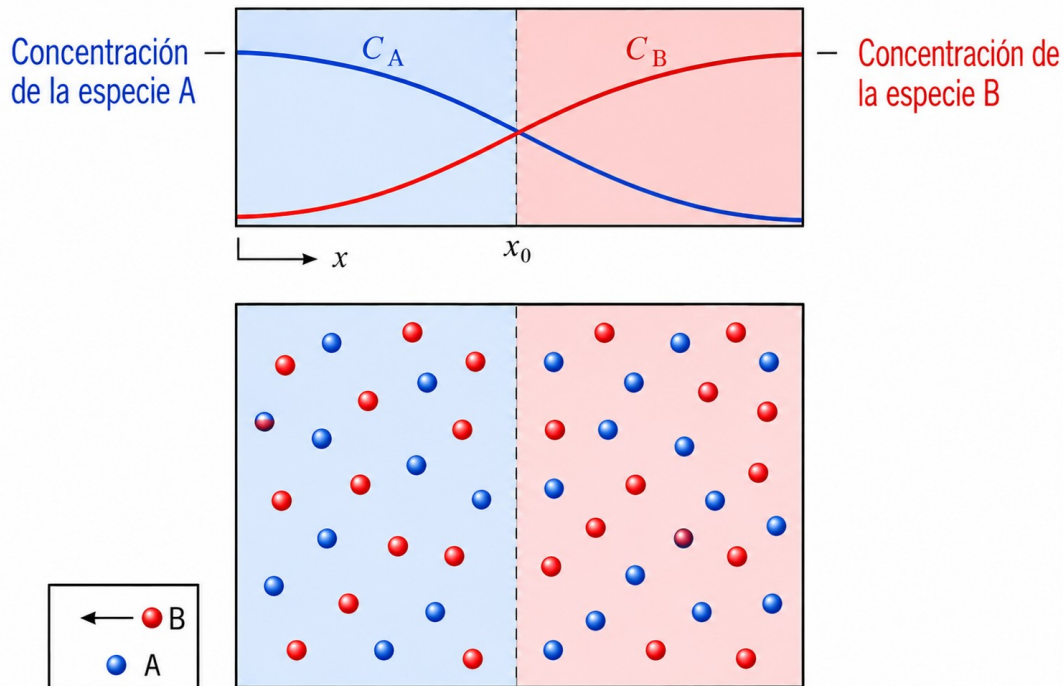


Cuando se elimina la partición, se sabe que las moléculas de N_2 empezarán a difundirse hacia el aire, al mismo tiempo que las de O_2 se difunden hacia las de N_2 .

Si se espera el tiempo suficiente, se tendrá una mezcla homogénea de N_2 y O_2 en el tanque.

Difusión

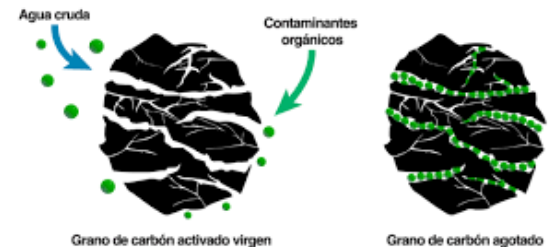
- Concentración de A aumenta con x
- La difusión ocurre en el sentido de la disminución de la concentración



Transferencia de masa por difusión en una mezcla gaseosa binaria en ESTADO TRANSITORIO

Difusión

- No hay transporte líquido de A o B
- Una transferencia independiente de cualquier convección dentro del sistema.
- Puede ocurrir en gases > líquidos > sólidos
- Difusión de óxido nitroso en el escape del automóvil
- Oxígeno disuelto en agua
- Medios adsorbentes para tratamiento de agua o aire.



Definiciones básicas

Concentración:

- Concentración molar (CA): Numero de moles de «A» presentes por unidad de volumen da mezcla.

$$C_A = \frac{\text{moles } A}{V_{\text{mistura}}}$$

- Concentración molar total

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

ou para uma mistura gasosa que obedece a lei dos gases ideais, tem-se:

$$C = \frac{n_{\text{total}}}{V} = \frac{P}{R.T}$$

sabendo que, P é a pressão total

Definiciones básicas

- Densidad de masa (ρ)

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \quad \text{onde, } n \text{ é o número das espécies na mistura}$$

- Fracción mássica (w_{Δ}):

$$w_A = \frac{\rho_A}{\sum_{i=1}^n \rho_i} = \frac{\rho_A}{\rho} \quad \text{sendo} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

- Fracción molar (x_i ou v_i)

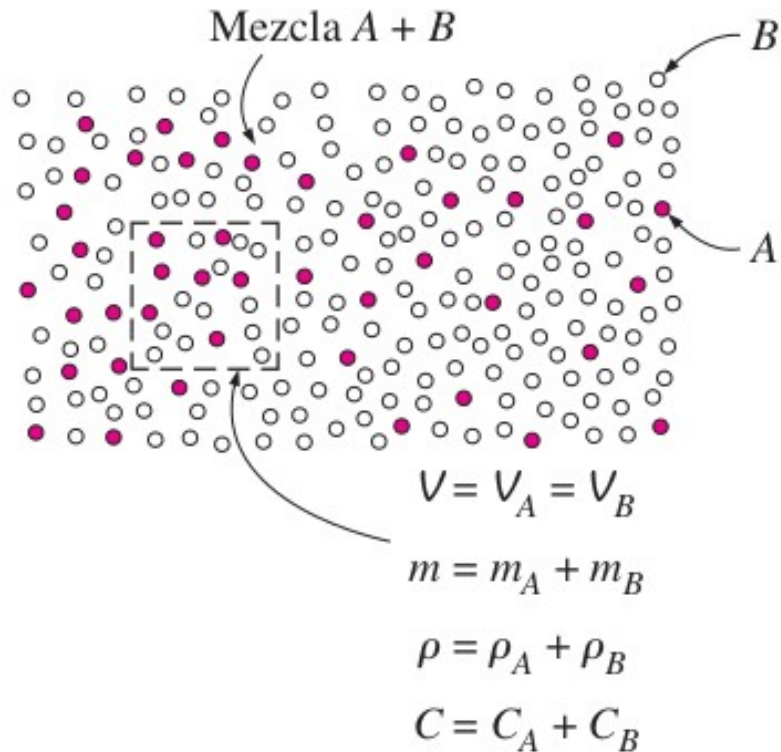
fração molar de líquidos e sólidos

$$x_A = \frac{C_A}{C} \quad (7.a) \quad \longrightarrow \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1$$

fração molar de gases

$$y_A = \frac{C_A}{C} \quad (8.a) \quad \longrightarrow \quad \sum_{i=1}^n y_i = 1$$

Maneras diferentes de expresar la concentración de la especie A de una mezcla binaria de A y B.



Base másica:

$$\rho_A = \frac{m_A}{V}, \quad \rho = \frac{m}{V}, \quad w_A = \frac{\rho_A}{\rho}$$

Base molar:

$$C_A = \frac{N_A}{V}, \quad C = \frac{N}{V}, \quad y_A = \frac{C_A}{C}$$

Relación entre ellas:

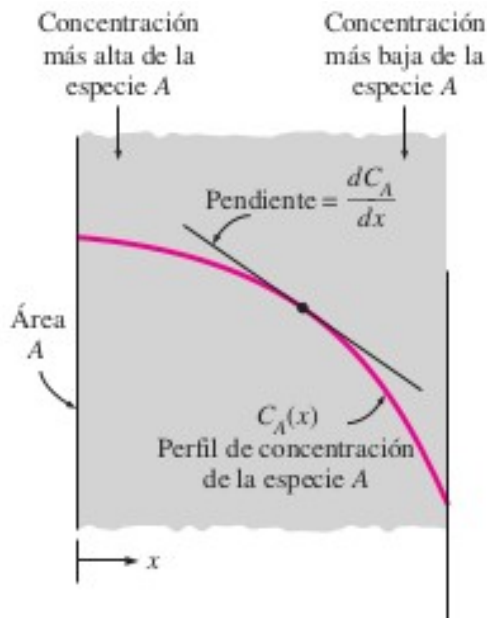
$$C_A = \frac{\rho_A}{M_A}, \quad w_A = y_A \frac{M_A}{M}$$

Ley de Fick de la difusión (1855):

Relación lineal entre:

1. La razón de difusión
2. Gradiente de concentración

Flujo de masa = Constante de proporcionalidad × Gradiente de concentración



Base másica:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{dif}} &= -\rho A D_{AB} \frac{dw_A}{dx} \\ &= -\rho A D_{AB} \frac{d(\rho_A/\rho)}{dx} \\ &= -A D_{AB} \frac{d\rho_A}{dx} \quad (\text{si } \rho = \text{constante}) \end{aligned}$$

Base molar:

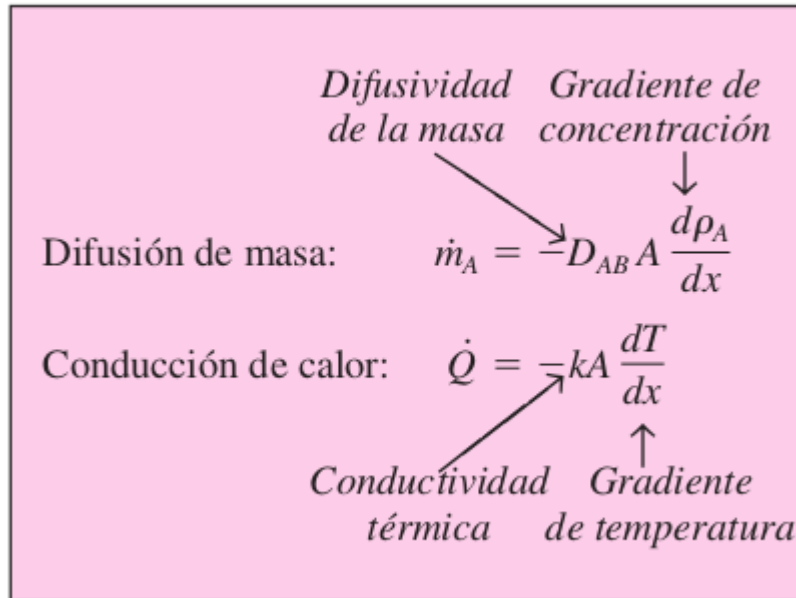
$$\begin{aligned} \dot{N}_{\text{dif}, A} &= -C A D_{AB} \frac{dy_A}{dx} \\ &= -C A D_{AB} \frac{d(C_A/C)}{dx} \\ &= -A D_{AB} \frac{dC_A}{dx} \quad (\text{si } C = \text{constante}) \end{aligned}$$

Flujo de masa (por difusión) de la especie A

$$\text{Base másica: } \bar{j}_{\text{dif}, A} = \frac{\dot{m}_{\text{dif}, A}}{A} = -\rho D_{AB} \frac{d(\rho_A/\rho)}{dx} = -\rho D_{AB} \frac{dw_A}{dx} \quad (\text{kg/s} \cdot \text{m}^2)$$

$$\text{Base molar: } \bar{j}_{\text{dif}, A} = \frac{\dot{N}_{\text{dif}, A}}{A} = -C D_{AB} \frac{d(C_A/C)}{dx} = -C D_{AB} \frac{dy_A}{dx} \quad (\text{kmol/s} \cdot \text{m}^2)$$

Analogía entre calor e masa



La constante de proporcionalidad en la ley de Fick se define como otra propiedad de transporte conocida como el coeficiente de difusión binaria o difusividad de la masa, D_{AB} .

Analogía entre la conducción de calor y la difusión de masa en un medio en reposo

Conducción de calor	Difusión de masa	
	Base másica	Base molar
T	w_i	y_i
k	ρD_{AB}	CD_{AB}
\dot{q}	\dot{j}_i	\bar{j}_i
α	D_{AB}	D_{AB}
L	L	L

Analogía estacionaria en una pared plana

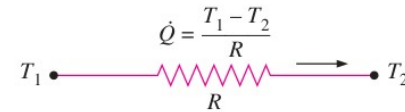
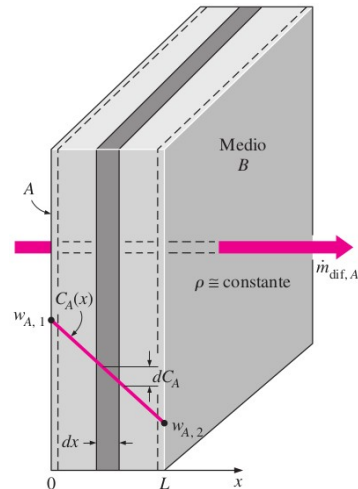
$$\dot{m}_{\text{dif}, A, \text{pared}} = \rho D_{AB} A \frac{w_{A,1} - w_{A,2}}{L} = D_{AB} A \frac{\rho_{A,1} - \rho_{A,2}}{L} \quad (\text{kg/s})$$

Esta relación puede reordenarse como

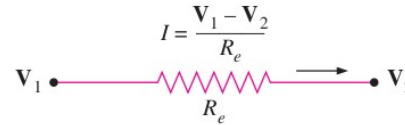
$$\dot{m}_{\text{dif}, A, \text{pared}} = \frac{w_{A,1} - w_{A,2}}{L/\rho D_{AB} A} = \frac{w_{A,1} - w_{A,2}}{R_{\text{dif}, \text{pared}}}$$

donde

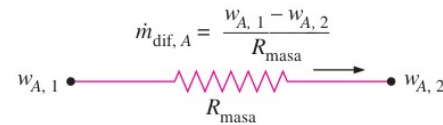
$$R_{\text{dif}, \text{pared}} = \frac{L}{\rho D_{AB} A}$$



a) Flujo de calor



b) Flujo de corriente



c) Flujo de masa

Coeficiente de difusividad de la masa, D_{AB} .

Coeficientes de difusión binaria de algunos gases en aire a la presión de 1 atm (tomado de Mills, 1995; tabla A.17a, pág. 869),

Coeficiente de difusión binaria,
m²/s × 10⁵*

<i>T, K</i>	<i>O₂</i>	<i>CO₂</i>	<i>H₂</i>	<i>NO</i>
200	0.95	0.74	3.75	0.88
300	1.88	1.57	7.77	1.80
400	5.25	2.63	12.5	3.03
500	4.75	3.85	17.1	4.43
600	6.46	5.37	24.4	6.03
700	8.38	6.84	31.7	7.82
800	10.5	8.57	39.3	9.78
900	12.6	10.5	47.7	11.8
1 000	15.2	12.4	56.9	14.1
1 200	20.6	16.9	77.7	19.2
1 400	26.6	21.7	99.0	24.5
1 600	33.2	27.5	125	30.4
1 800	40.3	32.8	152	37.0
2 000	48.0	39.4	180	44.8

*Multiplíquese por 10.76 para convertir a ft²/s.

TABLA 14-2

Coeficientes de difusión binaria de mezclas diluidas de gases a 1 atm (tomado de Barrer, 1941; Geankoplis, 1972; Perry, 1963, y Reid y otros, 1977).

Sustancia A	Sustancia B	<i>T, K</i>	<i>D_{AB} o D_{BA}, m²/s</i>	Sustancia A	Sustancia B	<i>T, K</i>	<i>D_{AB} o D_{BA}, m²/s</i>
Aire	Acetona	273	1.1 × 10 ⁻⁵	Argón, Ar	Nitrógeno, N ₂	293	1.9 × 10 ⁻⁵
Aire	Amoniaco, NH ₃	298	2.6 × 10 ⁻⁵	Carbono bióxido de, CO ₂	Benceno	318	0.72 × 10 ⁻⁵
Aire	Benceno	298	0.88 × 10 ⁻⁵	Carbono bióxido de, CO ₂	Hidrógeno, H ₂	273	5.5 × 10 ⁻⁵
Aire	Carbono bióxido de	298	1.6 × 10 ⁻⁵	Carbono bióxido de, CO ₂	Nitrógeno, N ₂	293	1.6 × 10 ⁻⁵
Aire	Cloro	273	1.2 × 10 ⁻⁵	Carbono bióxido de, CO ₂	Oxígeno, O ₂	273	1.4 × 10 ⁻⁵
Aire	Alcohol etílico	298	1.2 × 10 ⁻⁵	Carbono bióxido de, CO ₂	Agua, vapor de	298	1.6 × 10 ⁻⁵
Aire	Éter etílico	298	0.93 × 10 ⁻⁵	Hidrógeno, H ₂	Nitrógeno, N ₂	273	6.8 × 10 ⁻⁵
Aire	Helio, He	298	7.2 × 10 ⁻⁵	Hidrógeno, H ₂	Oxígeno, O ₂	273	7.0 × 10 ⁻⁵
Aire	Hidrógeno, H ₂	298	7.2 × 10 ⁻⁵	Oxígeno, O ₂	Amoniaco	293	2.5 × 10 ⁻⁵
Aire	Yodo, I ₂	298	0.83 × 10 ⁻⁵	Oxígeno, O ₂	Benceno	296	0.39 × 10 ⁻⁵
Aire	Metanol	298	1.6 × 10 ⁻⁵	Oxígeno, O ₂	Nitrógeno, N ₂	273	1.8 × 10 ⁻⁵
Aire	Mercurio	614	4.7 × 10 ⁻⁵	Oxígeno, O ₂	Agua, vapor de	298	2.5 × 10 ⁻⁵
Aire	Naftaleno	300	0.62 × 10 ⁻⁵	Agua, vapor de	Argón, Ar	298	2.4 × 10 ⁻⁵
Aire	Oxígeno, O ₂	298	2.1 × 10 ⁻⁵	Agua, vapor de	Helio, He	298	9.2 × 10 ⁻⁵
Aire	Agua, vapor de	298	2.5 × 10 ⁻⁵	Agua, vapor de	Nitrógeno, N ₂	298	2.5 × 10 ⁻⁵

Nota: Pueden tomarse en cuenta los efectos de la presión y la temperatura sobre D_{AB} por medio de la siguiente proporcionalidad: $D_{AB} \sim T^{3/2}/P$. Asimismo, multiplíquense los valores de D_{AB} por 10.76 a fin de convertirlos en ft²/s.

Coefficientes de difusión binaria de soluciones líquidas diluidas y de soluciones sólidas, a 1 atm (tomado de Barrer, 1941; Reid y otros 1977; Thomas, 1991, y Van Black, 1980).

a) Difusión a través de líquidos

b) Difusión a través de sólidos

Sustancia A (Solute)	Sustancia B (Solvente)	T, K	D_{AB} , m ² /s	Sustancia A (Solute)	Sustancia B (Solvente)	T, K	D_{AB} , m ² /s
Amoniaco	Agua	285	1.6×10^{-9}	Carbono, bióxido de	Caucho natural	298	1.1×10^{-10}
Benceno	Agua	293	1.0×10^{-9}	Nitrógeno	Caucho natural	298	1.5×10^{-10}
Carbono, bióxido de	Agua	298	2.0×10^{-9}	Oxígeno	Caucho natural	298	2.1×10^{-10}
Cloro	Agua	285	1.4×10^{-9}	Helio	Pyrex	773	2.0×10^{-12}
Etanol	Agua	283	0.84×10^{-9}	Helio	Pyrex	293	4.5×10^{-15}
Etanol	Agua	288	1.0×10^{-9}	Helio	Silicio, bióxido de	298	4.0×10^{-14}
Etanol	Agua	298	1.2×10^{-9}	Hidrógeno	Hierro	298	2.6×10^{-13}
Glucosa	Agua	298	0.69×10^{-9}	Hidrógeno	Níquel	358	1.2×10^{-12}
Hidrógeno	Agua	298	6.3×10^{-9}	Hidrógeno	Níquel	438	1.0×10^{-11}
Metano	Agua	275	0.85×10^{-9}	Cadmio	Cobre	293	2.7×10^{-19}
Metano	Agua	293	1.5×10^{-9}	Zinc	Cobre	773	4.0×10^{-18}
Metano	Agua	333	3.6×10^{-9}	Zinc	Cobre	1 273	5.0×10^{-13}
Metanol	Agua	288	1.3×10^{-9}	Antimonio	Plata	293	3.5×10^{-25}
Nitrógeno	Agua	298	2.6×10^{-9}	Bismuto	Plomo	293	1.1×10^{-20}
Oxígeno	Agua	298	2.4×10^{-9}	Mercurio	Plomo	293	2.5×10^{-19}
Agua	Etanol	298	1.2×10^{-9}	Cobre	Aluminio	773	4.0×10^{-14}
Agua	Etilenglicol	298	0.18×10^{-9}	Cobre	Aluminio	1 273	1.0×10^{-10}
Agua	Metanol	298	1.8×10^{-9}	Carbono	Hierro (fcc)*	773	5.0×10^{-15}
Cloroformo	Metanol	288	2.1×10^{-9}	Carbono	Hierro (fcc)	1 273	3.0×10^{-11}

*(fcc = abreviatura del tipo de celda de estructura cristalina: cúbica centrada en las caras, *face-centered cubic*).

Difusión del vapor de agua en el aire

En una mezcla binaria de gases ideales, de las especies *A* y *B*, el coeficiente de difusión de *A* en *B* es igual al coeficiente de difusión de *B* en *A*, y ambos se incrementan con la temperatura

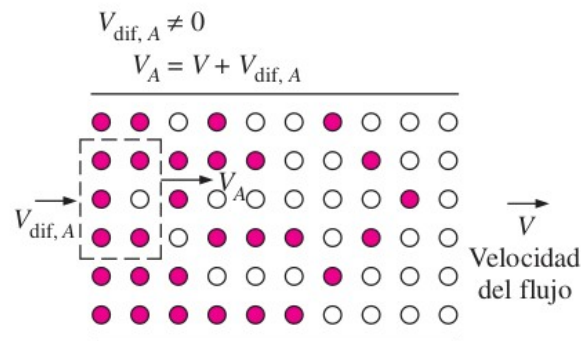
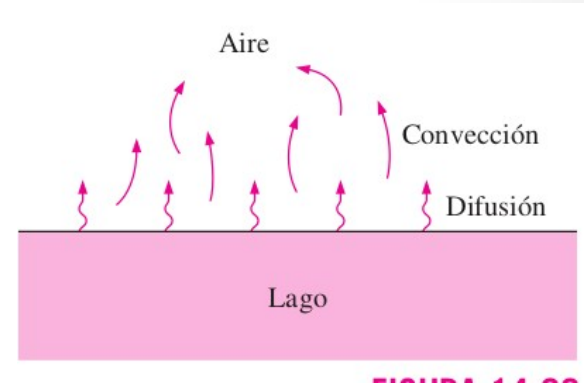
DH₂O-aire. Marrero y Mason (1972)

<i>T</i> , °C	$D_{\text{H}_2\text{O-Aire}} \text{ o } D_{\text{Aire-H}_2\text{O}}$ a 1 atm, en m ² /s (de la ecuación 14-15)
0	2.09×10^{-5}
5	2.17×10^{-5}
10	2.25×10^{-5}
15	2.33×10^{-5}
20	2.42×10^{-5}
25	2.50×10^{-5}
30	2.59×10^{-5}
35	2.68×10^{-5}
40	2.77×10^{-5}
50	2.96×10^{-5}
100	3.99×10^{-5}
150	5.18×10^{-5}

$$D_{\text{H}_2\text{O-Aire}} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \quad (\text{m}^2/\text{s}), \quad 280 \text{ K} < T < 450 \text{ K}$$

Difusión en un medio en movimiento

Velocidad de difusión: es la velocidad promedio de un grupo de moléculas, moviéndose por la influencia del gradiente de concentración.



$$V_A = V + V_{\text{dif}, A}$$

$$V_B = V + V_{\text{dif}, B}$$

Flujo de masa de la especie A en relación con la velocidad de masa promedio de la mezcla (Flujo difusivo).

Flujo molar A en relación con la velocidad molar de la mezcla (Flujo difusivo).

$$\mathbf{j}_A \equiv \rho_A(\mathbf{v}_A - \mathbf{v})$$

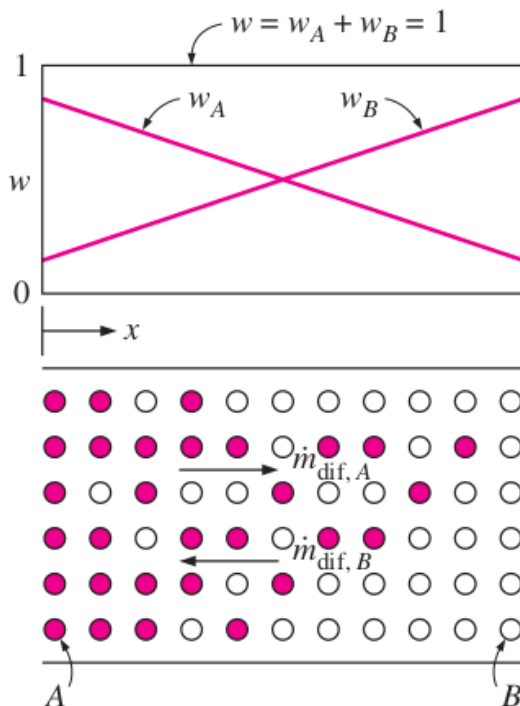
$$\mathbf{J}_A^* \equiv C_A(\mathbf{v}_A - \mathbf{v}^*)$$

DIFUSIÓN EN UN MEDIO EN MOVIMIENTO

$$\dot{m}_{\text{dif}, A} = \rho_A V_{\text{dif}, A} A = \rho_A (V_A - V) A$$

$$\dot{m}_{\text{dif}, B} = \rho_B V_{\text{dif}, B} A = \rho_B (V_B - V) A$$

$$\dot{m}_{\text{dif}, A} + \dot{m}_{\text{dif}, B} = 0 \rightarrow \dot{m}_{\text{dif}, A} = -\dot{m}_{\text{dif}, B} \rightarrow -\rho A D_{AB} \frac{dw_A}{dx} = \rho A D_{BA} \frac{dw_B}{dx}$$



$$w_A = -w_B$$

$$\frac{dw_A}{dx} = -\frac{dw_B}{dx}$$

$$\dot{m}_{\text{dif}, A} = -\dot{m}_{\text{dif}, B}$$

$$D_{AB} = D_{BA}$$

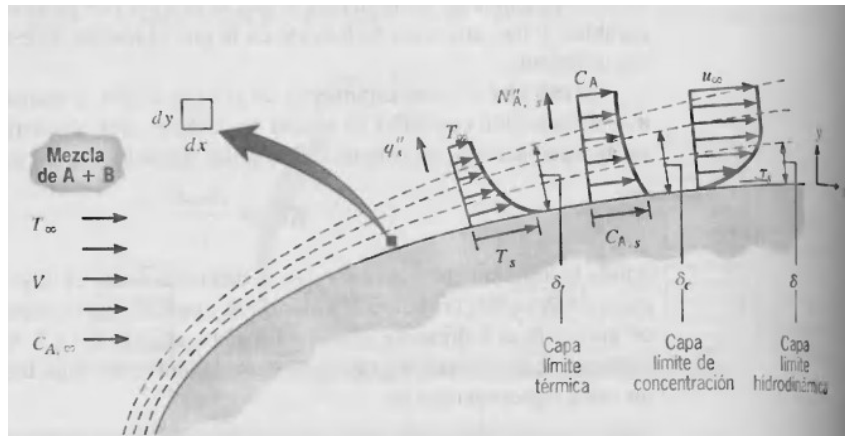
DIFUSIÓN EN UN MEDIO EN MOVIMIENTO

● A ○ B

		Especie	Densidad	Velocidad	Gasto de masa
a) Mezcla homogénea sin movimiento de la masa correspondiente a convección (ningún gradiente de concentración y, por lo tanto, difusión)		Especie A Especie B Mezcla de A y B	$\rho_A = \text{constante}$ $\rho_B = \text{constante}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constante}$	$V_A = 0$ $V_B = 0$ $V = 0$	$\dot{m}_A = 0$ $\dot{m}_B = 0$ $\dot{m} = 0$
b) Mezcla homogénea con movimiento de la masa correspondiente a convección (ningún gradiente de concentración y, por lo tanto, difusión)		Especie A Especie B Mezcla de A y B	$\rho_A = \text{constante}$ $\rho_B = \text{constante}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constante}$	$V_A = V$ $V_B = V$ $V = V$	$\dot{m}_A = \rho_A V_A A$ $\dot{m}_B = \rho_B V_B A$ $\dot{m} = \rho V A = \dot{m}_A + \dot{m}_B$
c) Mezcla no homogénea sin movimiento de la masa correspondiente a convección (medio en reposo con gradientes de concentración)		Especie A Especie B Mezcla de A y B	$\rho_A \neq \text{constante}$ $\rho_B \neq \text{constante}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constante}$	$V_A = V_{\text{dif},A}$ $V_B = V_{\text{dif},B}$ $V = 0$	$\dot{m}_A = \rho_A V_{\text{dif},A} A$ $\dot{m}_B = \rho_B V_{\text{dif},B} A$ $\dot{m} = \rho V A = 0$ (por lo tanto $\dot{m}_A = -\dot{m}_B$)
d) Mezcla no homogénea con movimiento de la masa correspondiente a convección (medio en movimiento con gradientes de concentración)		Especie A Especie B Mezcla de A y B	$\rho_A \neq \text{constante}$ $\rho_B \neq \text{constante}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constante}$	$V_A = V + V_{\text{dif},A}$ $V_B = V + V_{\text{dif},B}$ $V = V$	$\dot{m}_A = \rho_A V_{\text{dif},A} A$ $\dot{m}_B = \rho_B V_{\text{dif},B} A$ $\dot{m} = \rho V A = \dot{m}_A + \dot{m}_B$

Convección de masa

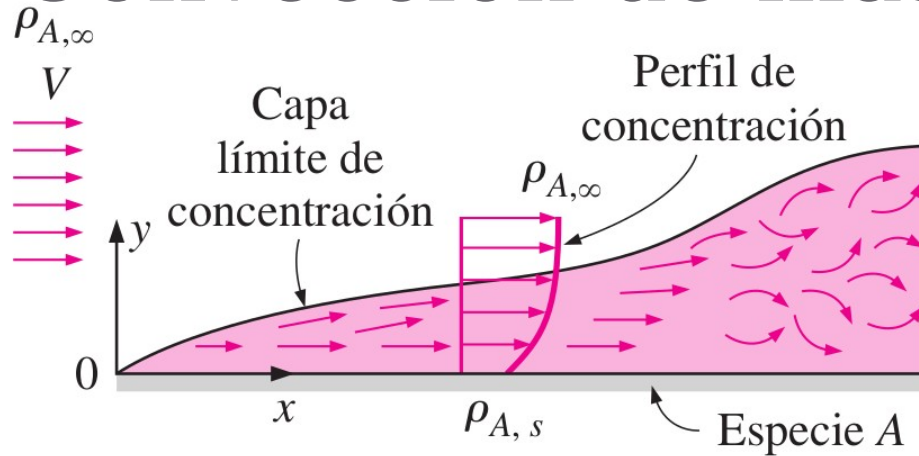
Transferencia de masa entre una superficie y un fluido en movimiento, debido tanto a la difusión de masa como al movimiento de toda la masa de fluido.



Coeficiente de transferencia de masa \rightarrow h_{masa}
 Diferencia de concentración \rightarrow $(C_s - C_\infty)$
 Convección de masa: $\dot{m}_{conv} = h_{masa} A_s (C_s - C_\infty)$
 Convección de calor: $\dot{Q}_{conv} = h_{conv} A_s (T_s - T_\infty)$
 Coeficiente de transferencia de calor \rightarrow h_{conv}
 Diferencia de temperatura \rightarrow $(T_s - T_\infty)$

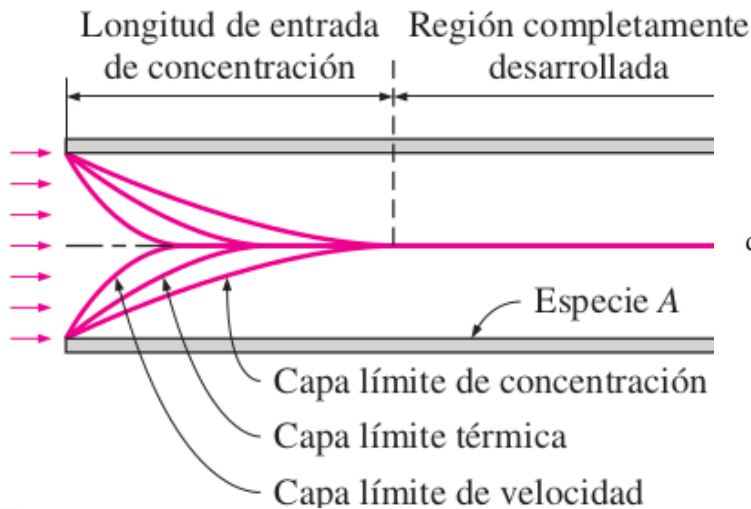
La analogía entre la convección de calor y la de masa se cumple tanto para convección forzada como para la natural, para el flujo laminar como para el turbulento, así como para los flujos interno y externo.

Convección de masa



$$\frac{\rho_{A,s} - \rho_A}{\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}} = 0.99$$

Flujo externo sobre una superficie plana



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_{A,s} - \rho_A}{\rho_{A,s} - \rho_{A,b}} \right) = 0 \quad (14-66)$$

donde $\rho_{A,b}$ es la densidad media de la masa de la especie A, definida como

$$\rho_{A,b} = \frac{1}{A_c V_{\text{prom}}} \int_{A_c} \rho_A u dA_c \quad (14-67)$$

Flujo interno

Número de Schmidt: representa las magnitudes relativas de la cantidad de movimiento molecular y la difusión de masa en las capas límite de velocidad y de concentración.

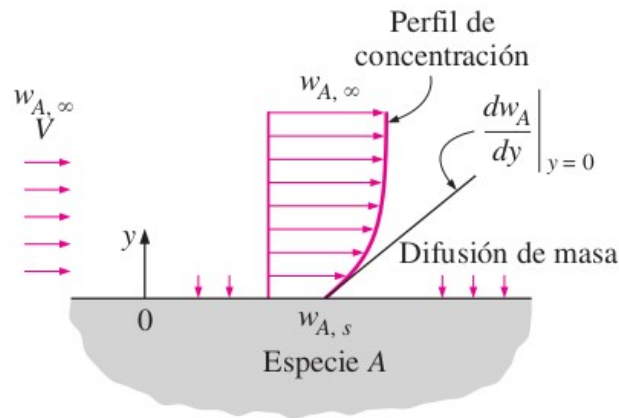
$$\text{Número de Schmidt: } Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{\text{Difusividad de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad de masa}}$$

Transferencia de calor:	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
Transferencia de masa:	$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$

Número de Lewis: representa las magnitudes relativas de la difusión de calor y de la de masa en las capas límite térmica y de concentración.

$$\text{Número de Lewis: } Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{\alpha}{D_{AB}} = \frac{\text{Difusividad térmica}}{\text{Difusividad de masa}}$$

Transferencia de especies en la superficie ($y = 0$) sólo es por difusión, debido a la condición de no deslizamiento, y el flujo de masa de la especie A en la superficie puede expresarse por la ley de Fick como.



$$j_A = \dot{m}_A / A_s = -\rho D_{AB} \left. \frac{\partial w_A}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (\text{kg/s} \cdot \text{m}^2)$$

$$-D_{AB} \left. \frac{\partial C_A}{\partial y} \right|_{y=0} = h_{\text{masa}} (w_{A, s} - w_{A, \infty})$$

Ley de Newton del enfriamiento

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} A_s (T_s - T_{\infty})$$

Transferencia de masa por convección

$$\dot{m}_{\text{conv}} = h_{\text{masa}} A_s (\rho_{A, s} - \rho_{A, \infty}) = h_{\text{masa}} \rho A_s (w_{A, s} - w_{A, \infty}) \quad (\text{kg/s})$$

Flujo interno

$$\dot{m}_{\text{conv}} = h_{\text{masa}} A_s \frac{\Delta\rho_{A,e} - \Delta\rho_{A,i}}{\ln(\Delta\rho_{A,e}/\Delta\rho_{A,i})} \quad (14-74)$$

donde $\Delta\rho_{A,e} = \rho_{A,s} - \rho_{A,e}$ y $\Delta\rho_{A,i} = \rho_{A,s} - \rho_{A,i}$. Si el coeficiente local de transferencia de masa varía en la dirección del flujo, el *coeficiente promedio de transferencia de masa* puede determinarse a partir de

$$h_{\text{masa, prom}} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h_{\text{masa}} dA_s$$

Los números de Nusselt y de **Sherwood** representan la efectividad de la convección de calor y de masa en la superficie, respectivamente.

Transferencia:
de calor

$$\text{Nu} = \frac{h_{\text{conv}} L_c}{k}$$

Transferencia
de masa:

$$\text{Sh} = \frac{h_{\text{masa}} L_c}{D_{AB}}$$

Analogía entre las cantidades que aparecen en la formulación y solución de la convección de calor y las de la convección de masa

Convección de calor	Convección de masa
T	$C, y, \rho, o w$
h_{conv}	h_{masa}
$\delta_{\text{térmica}}$	$\delta_{\text{concentración}}$
$Re = \frac{VL_c}{\nu}$	$Re = \frac{VL_c}{\nu}$
$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2}$	$Gr = \frac{g(\rho_\infty - \rho_s) L_c^3}{\rho\nu^2}$
$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$
$St = \frac{h_{\text{conv}}}{\rho V c_p}$	$St_{\text{masa}} = \frac{h_{\text{masa}}}{V}$
$Nu = \frac{h_{\text{conv}} L_c}{k}$	$Sh = \frac{h_{\text{masa}} L_c}{D_{AB}}$
$Nu = f(Re, Pr)$	$Sh = f(Re, Sc)$
$Nu = f(Gr, Pr)$	$Sh = f(Gr, Sc)$