

Transporte de Masa

Convección

Dr. Bernardo Hernández Morales

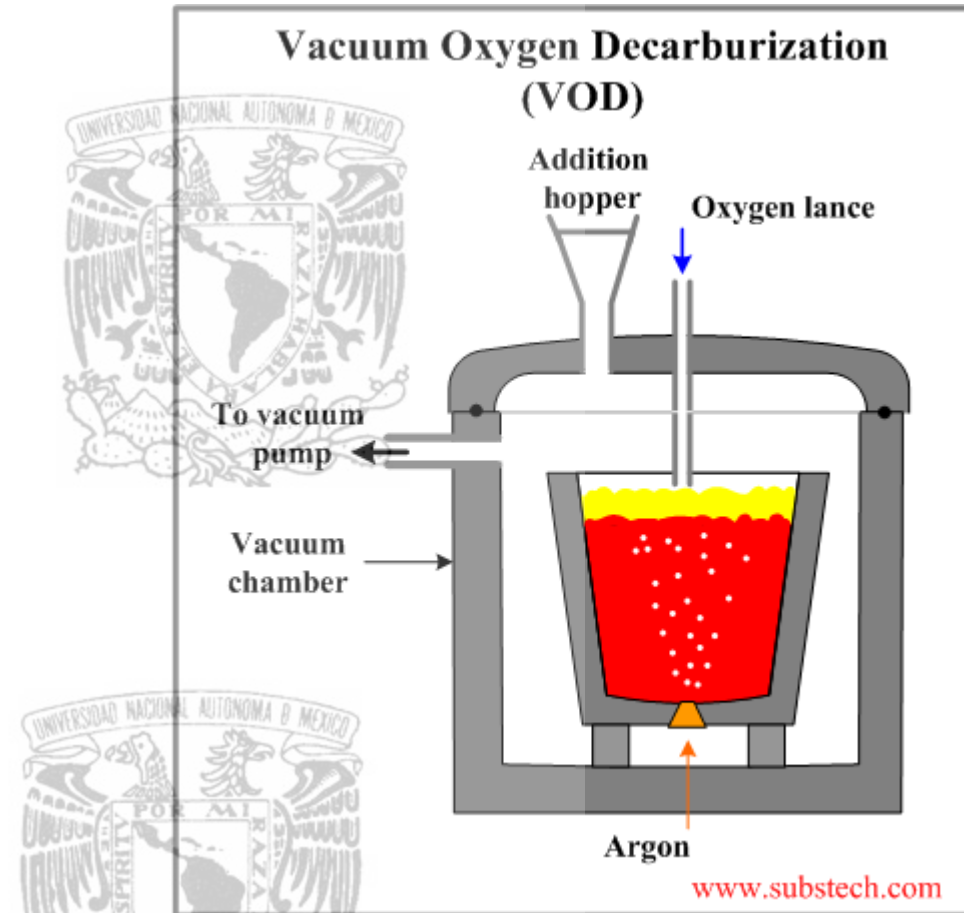
**Depto. de Ingeniería Metalúrgica
Facultad de Química, UNAM**

Semestre 2016-2



❖ *Vacuum Oxygen Degassing (VOD)*

- Proceso de refinación secundaria de acero
- Permite descarburizar al acero con poca pérdida de cromo
- El oxígeno se consume reaccionando con [C] en lugar de reaccionar con el [Cr]
- Las reacciones son exotérmicas
- El argón sirve para agitar al baño metálico



❖ Etapas de un proceso

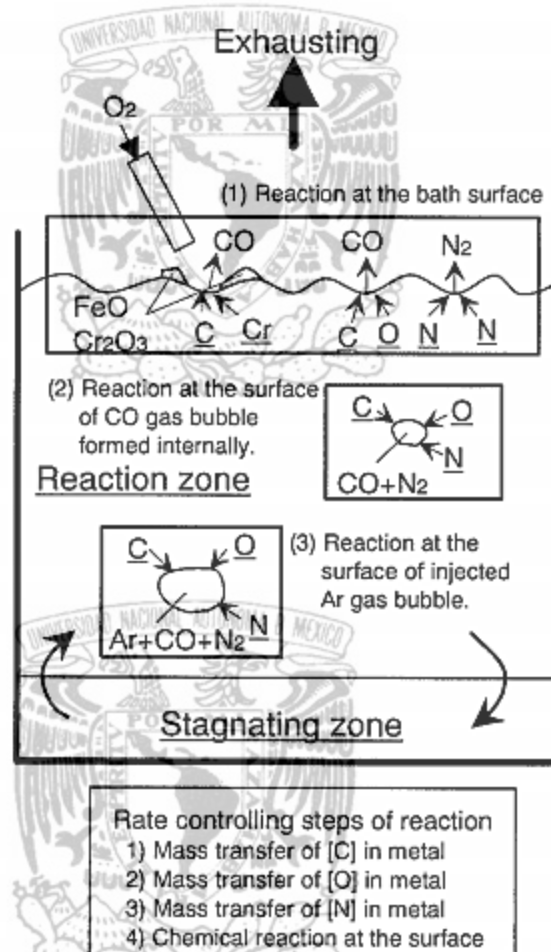
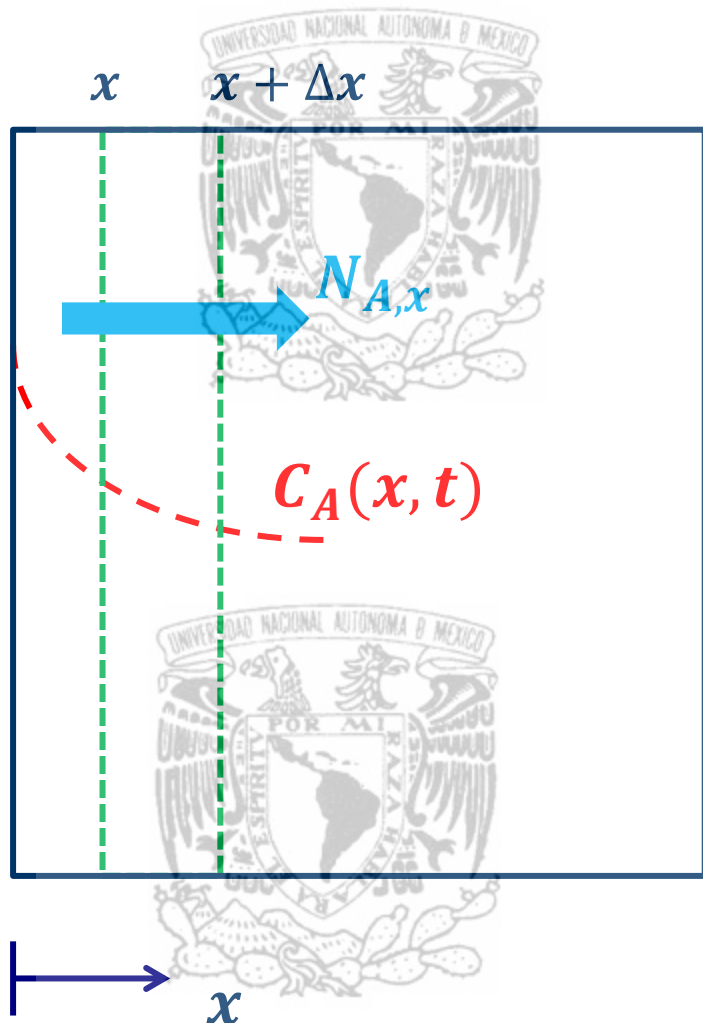


Fig. 1. Outline of decarburization and nitrogen desorption model.

Nota: \underline{C} es equivalente a $[C]$



❖ Ecuación de continuidad de la especie A (flujo 1D)



$$\begin{matrix}
 \text{[S - E]} & \text{[G]} & \text{[A]} \\
 -\frac{dN_{A,x}}{dx} + R_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} & & \text{en } \Omega
 \end{matrix}$$



$$-\nabla \cdot \vec{N}_A + R_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{en } \Omega$$

(unidades molares)

$$-\nabla \cdot \vec{n}_A + r_A = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad \text{en } \Omega$$

(unidades másicas)

❖ El modelo matemático para el *flux* molar total depende del mecanismo controlante:

- Difusión
- Molecular
- Distancias cortas

- Convección
- Flujo de un fluido
- Distancias largas



❖ Mecanismo: difusión de intersticiales

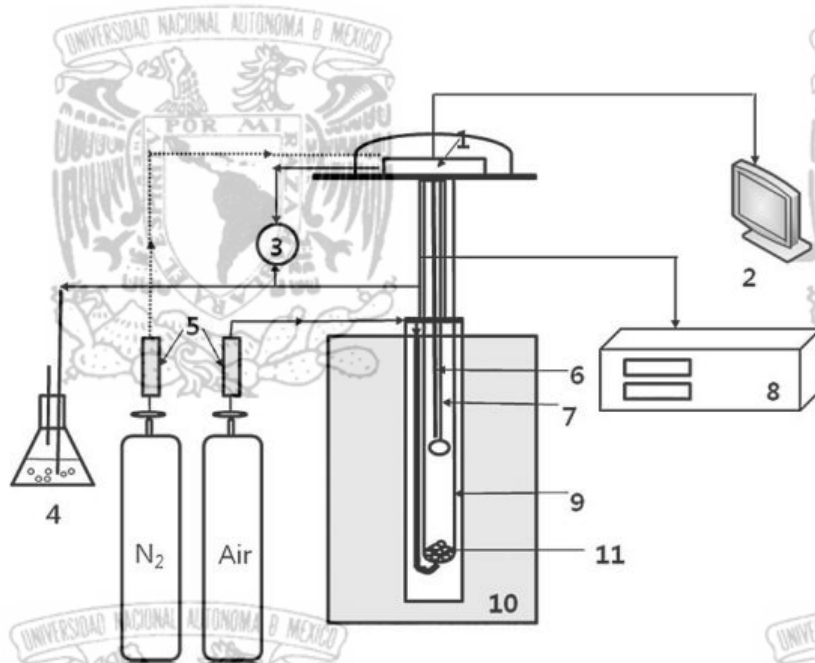
Carburización



$$N_{A,x} = J_{A,x} = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial x}$$

❖ Mecanismo: difusión en fluidos

Tostación



$$N_{A,r} = J_{A,r} + X_A(N_{A,r} + N_{B,r})$$

(mezcla binaria)

Fig. 3 Schematic diagram of the experimental apparatus for TGA thermal analysis. 1. Micro balance, 2. Data collector, 3. Pressure display, 4. Exhaust gases, 5. Mass flow controller, 6. Thermocouple, 7. Sample tray, 8. Temperature controller, 9. Reactor tube, 10. Furnace, 11. Ceramic ball.

Kinetics of Oxidative Roasting of Complex Copper Concentrate

Byung-Su Kim^{1,*}, Eun-young Kim², Chi-Kwon Kim¹, Hoo-In Lee¹ and Jeong-Soo Sohn¹



❖ El transporte (por difusión) de una especie dada se modifica por el movimiento macroscópico del fluido en el que ocurre la difusión

➤ **Forzada**

➤ El movimiento del fluido se debe a fuerza externas (gravedad, una bomba mecánica, etc.)

➤ **Natural (libre)**

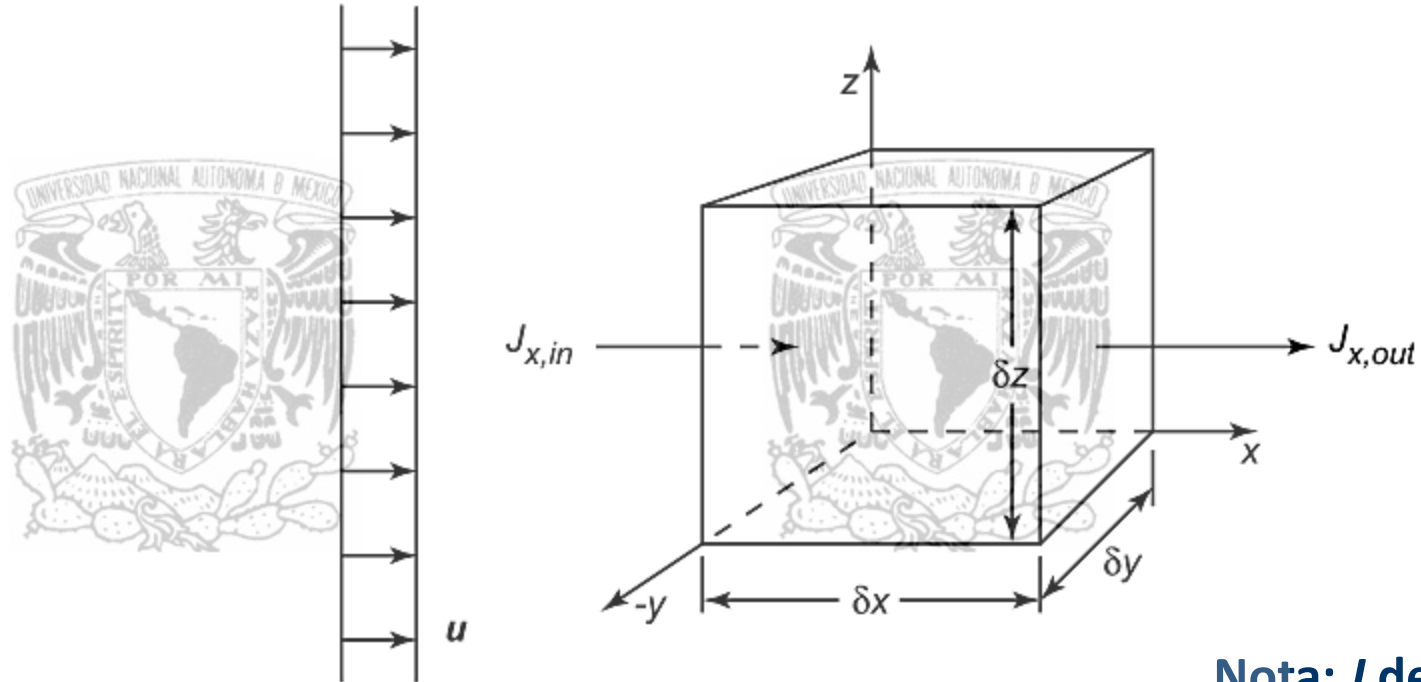
➤ El movimiento del fluido se debe a fuerzas internas causadas por diferencias de densidades

➤ La diferencia de densidad puede ocurrir por:

➤ Gradientes de temperatura

➤ Gradientes de concentración

❖ Transporte por convección (advección)



Nota: J denota flux molar total

Fig. 2.1. Schematic of a control volume with crossflow.

S.A. Socolofsky, G.H. Jirka. Environmental Fluid Mechanics.
Part I: Mass Transfer and Diffusion. 2nd. ed., 2002
Engineering – Lectures. Insitut für Hydromechanik.

❖ Transporte por convección (advección)

➤ Transporte de energía (dirección x)

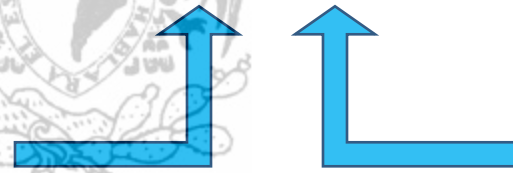
➤ Conducción (dirección x)

$$q_{k,x} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \equiv \frac{\text{Energía transportada}}{\text{Tiempo Area (perpendicular)}}$$

➤ Energía interna por convección (dirección x)

$$q_{c,x} = (\rho u_x)(\hat{U}) \equiv \frac{\text{Energía transportada}}{\text{Tiempo Area (perpendicular)}}$$

Flux másico



Energía interna específica

❖ Transporte por convección (advección)

➤ Transporte de materia (dirección x)

➤ Difusión (dirección x)

$$J_{A,x} = -D_{AC} \frac{\partial X_A}{\partial x} \equiv \frac{\text{Materia (A) transportada}}{\text{Tiempo Area (perpendicular)}}$$

➤ Convección (dirección x)

$$q_{c,x} = (cu_x)(X_A) \equiv \frac{\text{Materia (A) transportada}}{\text{Tiempo Area (perpendicular)}}$$

Flux molar

(u_x es la velocidad del centro molar)



Cantidad de materia específica

❖ Transporte por convección (advección) y difusión

➤ Flux molar total (dirección x)

$$N_{A,x} = -D_{AC} \frac{\partial X_A}{\partial x} + (cu_x)(X_A)$$

Difusión

Convección

$$-\nabla \cdot \vec{N}_A + R_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{en } \Omega$$

❖ Transporte por convección (advección) y difusión

➤ Flux molar total (dirección x)

$$N_{A,x} = -D_A c \frac{\partial X_A}{\partial x} + (c u_x)(X_A)$$

➤ Convección forzada

- El campo de velocidad es independiente del campo de concentración → ED's independientes

➤ Convección natural (libre)

- El campo de velocidad es dependiente del campo de concentración → ED's simultáneas