

Ingeniería de Minas

MI31A

*Fenómenos de Transporte en Metalurgia
Extractiva*

Profesor: Tanai Marín

Introducción

8 Marzo 2007

Introducción

- Qué son los Fenómenos de Transporte?
 - Que tienen que ver con Metalurgia Extractiva?
 - ...y con Minería?
-
-

Fenómenos de Transporte?



?



FT en metalurgia y minería?



Fenómenos de Transporte

Fluidodinámica:
(Transporte de
Momentum)

Transferencia de Calor:
(Transporte de Energía)

Transferencia de Masa:
(Transporte de masa de
especies químicas)

Estos tres fenómenos:

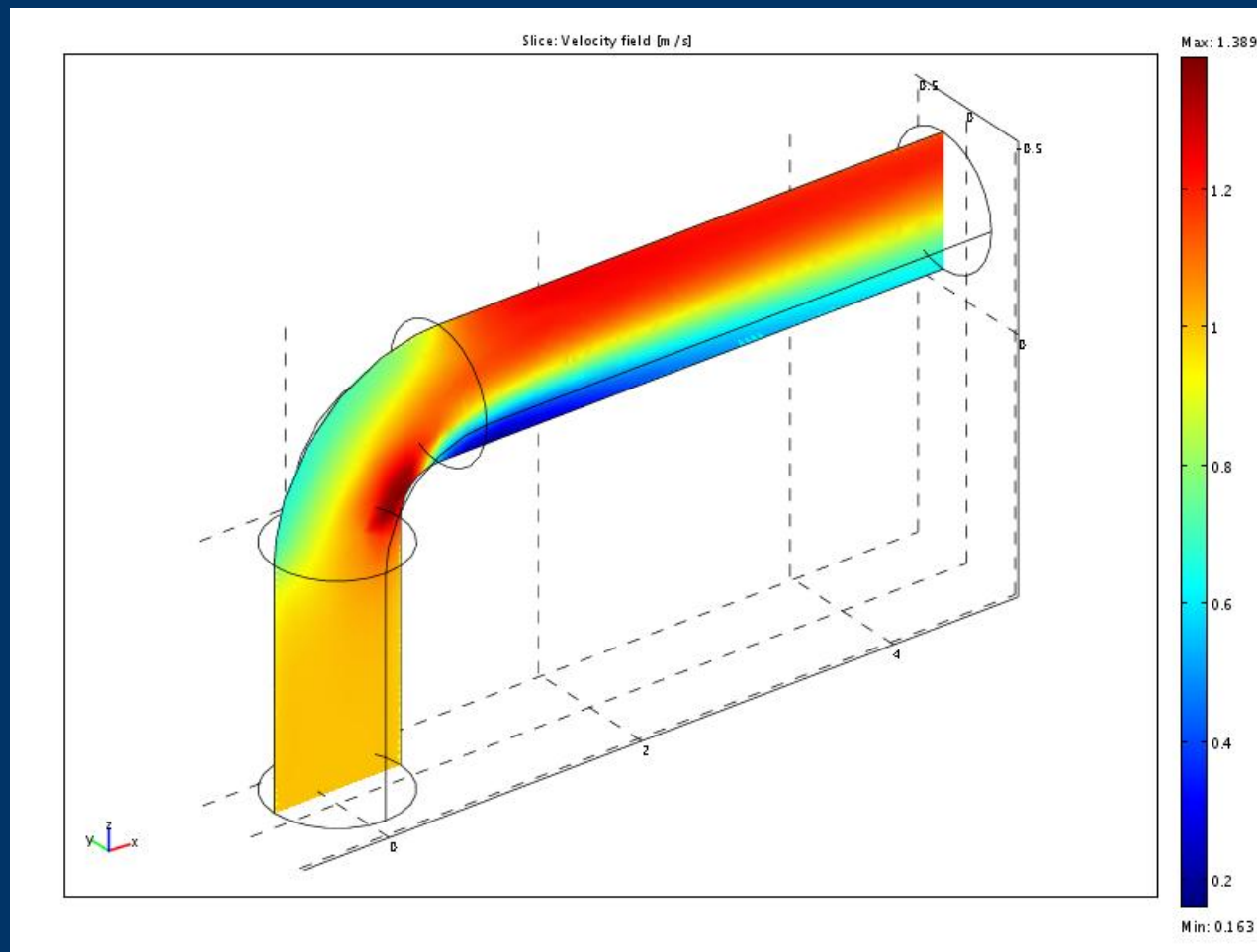
- Frecuentemente ocurren simultáneamente
- Las ecuaciones básicas que los describen son muy similares
- Las herramientas matemáticas necesarias son muy similares.
- Los mecanismos moleculares que ocurren en estos fenómenos son similares y son responsables de viscosidad, conductividad térmica y difusión.

...en Metalurgia Extractiva

- Transporte de pulpa o agua a través de cañerías.
 - Clasificación en hidrociclones
 - Extracción por solvente
 - Lixiviación en pilas
 - Electrowinning, Electrorefinación
 - Fusión, Conversión,
 - Moldeo
 - Ventilación
 - etc...
-
-

Niveles de Estudio o Abstracción

- Microscópico y molecular:



→ Interesa lo que ocurre en un área pequeña del equipo.

→ Ecuaciones de cambio para ese volumen de control

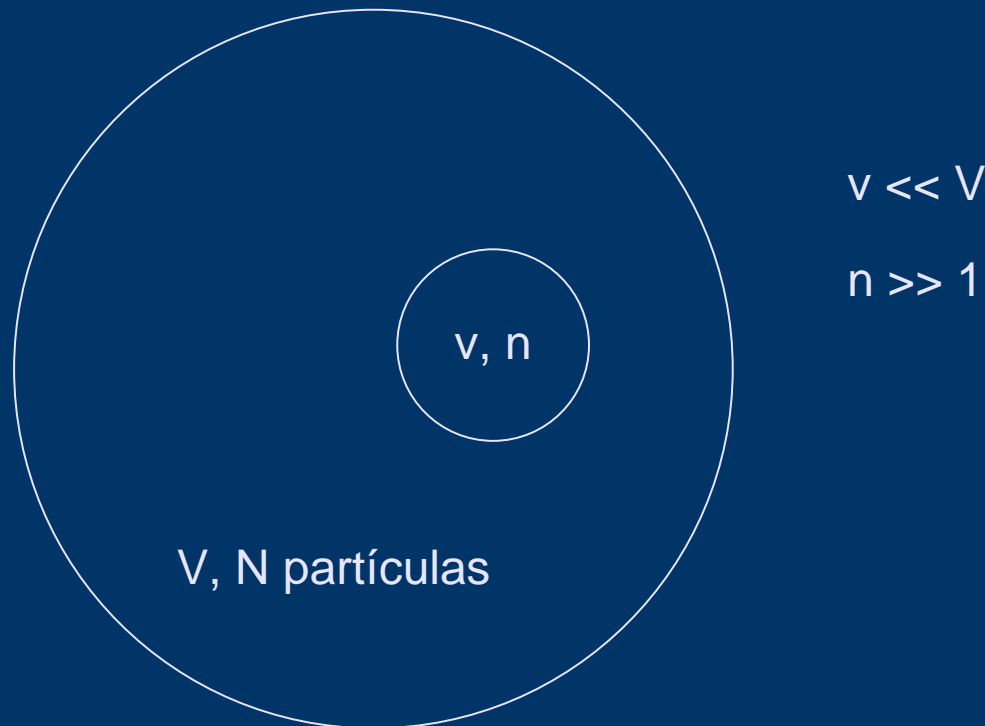
→ Interesa obtener “perfiles” de velocidad, temperatura, presión y concentración en el sistema.

Molecular:

→ Entendimiento fundamental de los mecanismos de transporte en términos de la estructura molecular y fuerzas intermoleculares.

Hipótesis de Medio Continuo

- Para el estudio de FT a una escala microscópica asumiremos que estudiamos medios continuos deformables o indeformables. Permite aplicar herramientas de calculo diferencial.



Principios de Conservación

- Nos interesa escribir ecuaciones que representen la conservación de propiedades tales como:
 - Masa
 - Energía
 - Momentum
 - Para sistemas discretos (o de pocas partículas) o desde un punto de vista macroscópico, podemos utilizar un enfoque clásico:
 - Fijándonos en cada partícula y siguiendo su trayectoria
-
-

Principios de Conservación

- Sin embargo, para un estudio a nivel microscópico y asumiendo que se trata de un medio continuo, se puede utilizar otro enfoque, basado en un volumen de control.
 - Enfoque Euleriano: el observador está “fijo” en un punto del dominio y ve cómo varían las propiedades de interés en el tiempo sólo dentro de esa posición.
 - Esto requiere estudiar variables intensivas.
-
-

Principios de Conservación

- Hay dos enfoques posibles para describir el movimiento de un fluido o la conservación de una propiedad extensiva:

Lagrangiano (Clásico)

- Masa de Control (CM)
- Propiedades extensivas (dependen de la cantidad de materia):
 - masa
 - momentum
 - energía

Euleriano

- Volumen de Control (CV)
- Propiedades intensivas (independientes de la cantidad de materia):
 - densidad
 - Velocidad
 - concentración

Principios de Conservación

- Una propiedad Extensiva puede calcularse a partir de una propiedad intensiva:

$$\Phi = \int_{\Omega_{CM}} \rho \phi d\Omega$$

donde

Φ : propiedad extensiva

ϕ : propiedad intensiva

Ω_{CM} : volumen ocupado por la masa de control

Principios de Conservación

- Ejemplo:

- Si $\phi = 1 \rightarrow \Phi = m$ (masa) $\Phi = \int_{\Omega_{CM}} \rho \phi d\Omega$

- Conservación de la masa:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{D}{Dt} \int_{\Omega_{CM}} \rho \phi d\Omega = 0$$

- D/Dt : se conoce como derivada material o sustancial (punto de vista Lagrangiano) y se utiliza “D” para hacer énfasis en esto, que el observador se mueve con la partícula o masa de control y sigue su trayectoria.
-
-

Principios de Conservación

- Para utilizar el enfoque Euleriano, se hace uso del Teorema del Transporte de Reynolds, que relaciona ambos enfoques:

$$\frac{D}{Dt} \int_{\Omega_{CM}} \rho \phi d\Omega = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_{CV}} \rho \phi d\Omega + \int_{S_{CV}} \rho \phi \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS$$

donde

Ω_{CV} : Volumen de control

S_{CV} : superficie que encierra al volumen de control

\mathbf{n} : normal unitaria apuntando fuera del CV

\mathbf{v} : velocidad con la que se mueve el medio o fluido

Principios de Conservación

- Por lo tanto, desde el punto de vista Euleriano:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{D}{Dt} \int_{\Omega_{CM}} \rho \phi d\Omega = 0$$

- Es equivalente a:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_{CV}} \rho \phi d\Omega + \int_{S_{CV}} \rho \phi v \cdot n dS = 0$$

- Con $\phi=1$, se obtiene la ecuación de conservación de la masa en forma integral:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_{CV}} \rho d\Omega + \int_{S_{CV}} \rho v \cdot n dS = 0$$

Principios de Conservación

- La ecuación anterior puede ser escrita en forma diferencial, aplicando el teorema de divergencia de Gauss al término convectivo (el que contiene la velocidad del fluido) y permitiendo que el CV sea infinitesimalmente pequeño:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \mathbf{v}) = 0$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \rho v_x + \frac{\partial}{\partial y} \rho v_y + \frac{\partial}{\partial z} \rho v_z \right) = 0$$