

TRANSFERENCIA DE MOMENTUM

MI31A-Fenómenos de Transporte en
Metalurgia Extractiva

Prof. Tanai Marín

Clase #9

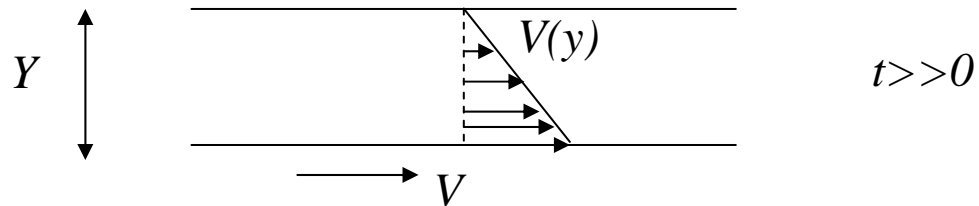
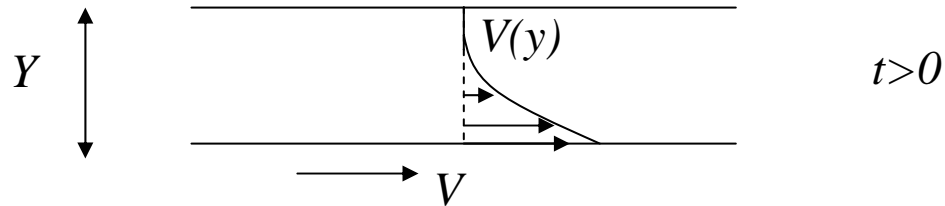
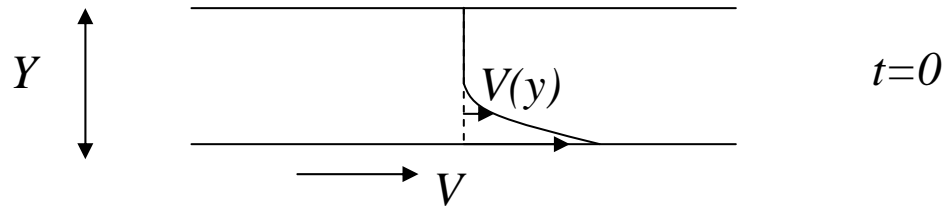
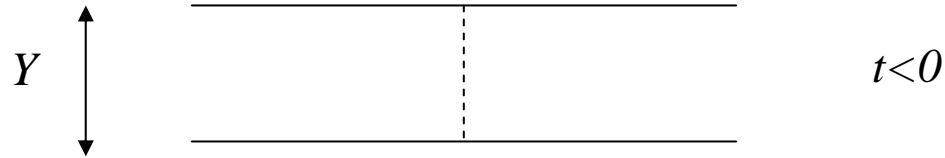
Flujo de Fluidos Viscosos

- Para fluidos con bajo peso molecular, la propiedad física que caracteriza la resistencia a fluir es la viscosidad
- Transporte molecular de momentum: transporte viscoso, relacionado con μ
- Transporte convectivo de momentum: debido al movimiento del seno del fluido, relacionado con ρ .

Ley de Newton de Viscosidad

- Supongamos dos placas paralelas de área A , separadas por una distancia Y .
- En el espacio entre ellas, hay un fluido (líquido o gas).
- Inicialmente el sistema está en reposo, pero en $t=0$, la placa inferior se pone en movimiento en la dirección x a una velocidad constante V .

Ley de Newton de Viscosidad



Ley de Viscosidad de Newton

- Una vez que se logra el estado estacionario, es necesario aplicar una fuerza constante F para mantener la velocidad V de la placa. Se cumple la siguiente relación:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y}$$

- donde μ es la viscosidad del fluido en $\text{kg}/(\text{m s})$ o (Pa s)

Ley de Viscosidad de Newton

- Del ejemplo anterior, se deriva la ley de Newton de viscosidad:

$$\tau = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

- donde τ es el esfuerzo de corte aplicado o fuerza por unidad de área.
- τ tiene unidades de $\text{kg}/(\text{ms}^2)$ o N/m^2

Ejemplo

- Dos placas paralelas, distantes a 0.25 m y con aceite lubricante entre ellas. Calcule la fuerza requerida para mover la placa superior que tiene un área de 1 m² a una velocidad de 1 m/s cuando la viscosidad del aceite es de 0.1 Ns/m².



- Es clara la similitud entre la ley de viscosidad de Newton y la ley de conductividad de Fourier:

$$\tau = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

$$q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}$$

- En ambos casos, las constantes μ o k representan la resistencia al flujo de momentum o calor por transporte molecular.

Viscosidad – rangos típicos

Fluido	Viscosidad [mPa s]
Gases	0.01 – 0.1
Agua	0.3 – 1.75
Metales Líquidos	0.5 – 5
Sales Fundidas	1 – 5
Matas fundidas	1 – 4
Nitratos y Carbonatos	5 – 20
Aceites	100 – 5000
Escorias, Lava	300 – 10000

Viscosidad

- En el caso del aire, la viscosidad aumenta con la temperatura, de $1.72 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$ a 0°C a $2.2 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$ a 100°C . a presión constante, la viscosidad del aire está dada por:

$$\mu_{\text{aire}} = (-1.0585 + 0.16803\sqrt{T(K)}) \cdot 10^{-5} [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

Viscosidad

- En el caso del agua, la viscosidad disminuye con la temperatura, de 1.75×10^{-3} Pa s a 0°C a 0.279×10^{-3} Pa s a 100°C . La viscosidad del agua está dada por:

$$\mu_{\text{agua}} = \exp(0.6885 - 0.10024 \cdot T(^{\circ}\text{C})^{0.65}) \cdot 10^{-3} [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

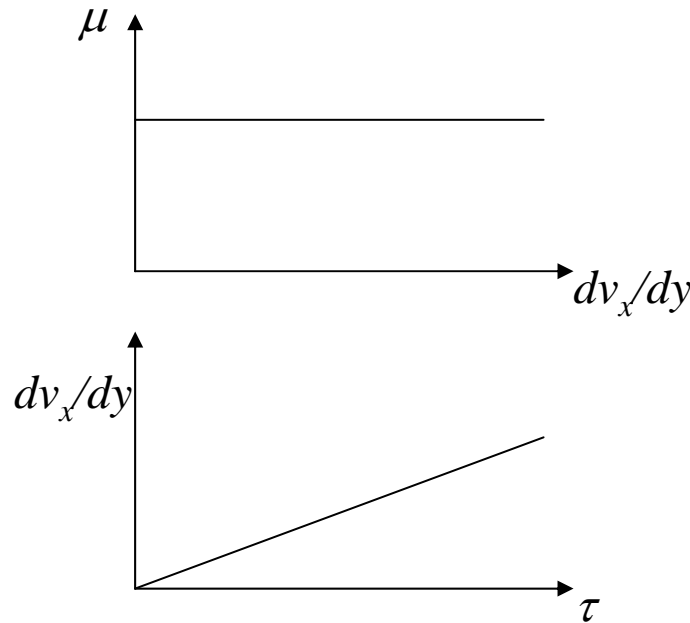
Factores de los que depende la viscosidad

- En general la viscosidad es función de la Temperatura y presión, de la misma forma que la conductividad térmica
- Además depende de la composición del fluido y
- En algunos casos, depende de la velocidad de corte (dv_x/dy)

Fluidos Newtonianos

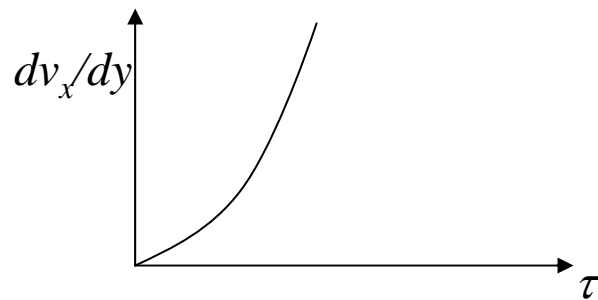
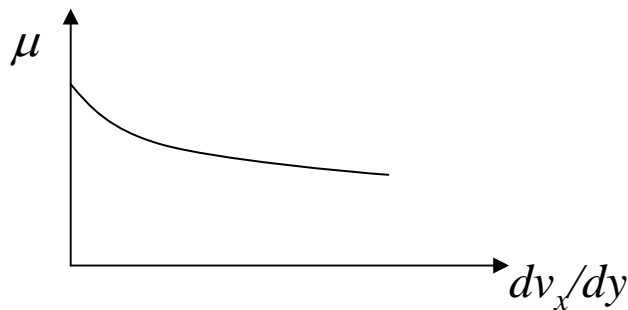
- Para una presión, temperatura y composición dadas, la viscosidad permanecerá constante, independiente de la velocidad de corte aplicada. Por lo tanto se cumple

$$\tau = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$



Fluidos No-Newtonianos

- Para estos fluidos, la razón τ/S no es constante.



- Se clasifican dependiendo de su comportamiento: pseudo elásticos, dilatantes, plásticos

Viscosidad cinemática

- En muchas situaciones es conveniente definir la viscosidad cinemática, ν :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

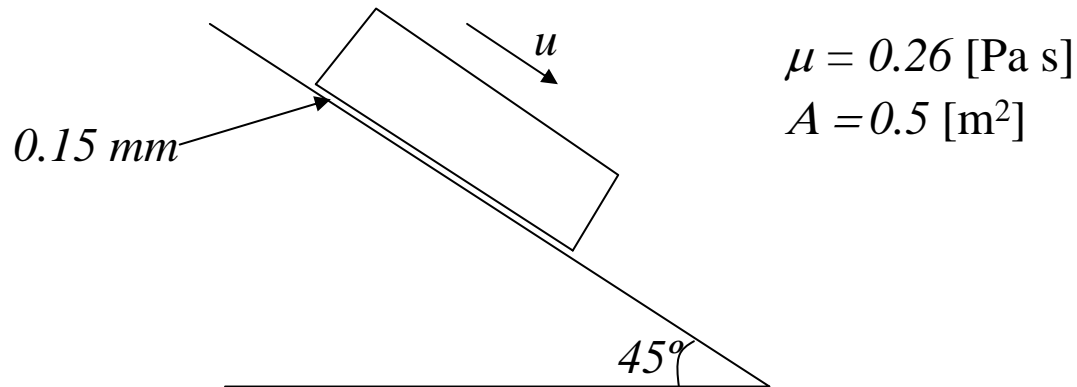
- ν , tiene unidades de m^2/s , al igual que la difusividad térmica α .

Viscosidad cinemática

Fluido	μ [kg/(m s)]	ρ [kg/m ³]	ν [m ² /s]
Hidrogeno	8.9×10^{-6}	0.084	1.06×10^{-4}
Aire	1.8×10^{-5}	1.19	1.51×10^{-5}
Gasolina	2.9×10^{-4}	679	4.27×10^{-7}
Agua	1.0×10^{-3}	990	1.01×10^{-6}
Alcohol	1.2×10^{-3}	795	1.51×10^{-6}
Mercurio	1.5×10^{-3}	12900	1.16×10^{-7}
Lubricante	0.26	932	2.79×10^{-4}
Glicerina	1.5	1260	1.19×10^{-3}

Ejemplo

- Un bloque de 30 kg se desliza a velocidad constante por un plano inclinado sobre una delgada capa de aceite. Calcule la velocidad en estado estacionario.



Ejemplo – Solución

- En estado estacionario, el bloque se mueve con velocidad constante, por lo que la fuerza de gravedad es opuesta por el esfuerzo de corte

$$F = m \cdot g \cdot \sin \theta = A \cdot \tau$$

$$\tau = \frac{m \cdot g \cdot \sin \theta}{A}$$

- El gradiente de velocidad en la capa de aceite puede asumirse como lineal, según la ley de Newton de

viscosidad: $\tau = -\mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\delta} \Rightarrow u = \frac{\tau \delta}{\mu}$

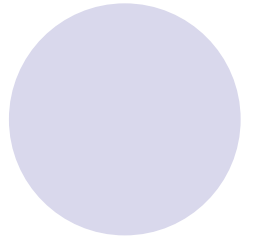
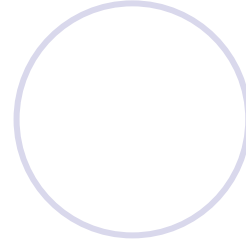
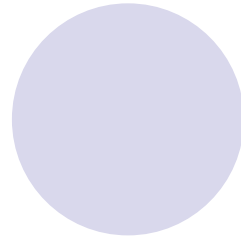
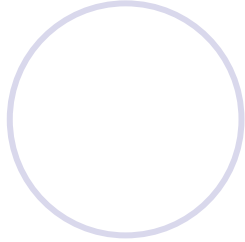
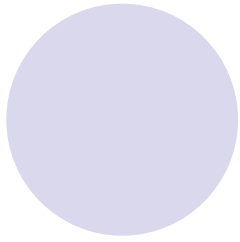
- Resolviendo: $u = \frac{m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \delta}{\mu \cdot A} = 0.24 \left[\frac{m}{s} \right]$

Flujo Laminar y Turbulento

- Número de Reynolds:

$$Re = \frac{Lu\rho}{\mu}, = \frac{Du\rho}{\mu}$$

- En flujo dentro de cañerías, se cumple que:
 - Flujo laminar: $Re < 2100$
 - Flujo turbulento: $Re > 4000$



- En flujo sobre una placa, se cumple que:
 - Flujo laminar: $Re < 3 \cdot 10^5$
 - Flujo turbulento: $Re > 3 \cdot 10^6$