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 kg/(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 kg/(ms²) o N/m²

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:

$$\tau = -\mu \frac{dv_x}{dy} \qquad \qquad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}$$

En ambos casos, las constantes m 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 Líqudos	0.5 – 5
Sales Fundidas	1 – 5
Matas fundidas	1 – 4
Nitratos y	5 – 20
Carbonatos	
Aceites	100 – 5000
Escorias, Lava	300 – 10000

Viscosidad

 En el caso del aire, la viscosidad aumenta con la temperatura, de 1.72x10⁻⁵ Pa s a 0°C a 2.2x10⁻⁵ Pa s a 100°C. a presión constante, la viscosidad del aire está dada por:

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

Viscosidad

 En el caso del agua, la viscosidad disminuye con la temperatura, de 1.75x10⁻³
 Pa s a 0°C a 0.279x10⁻³ Pa s a 100°C. La viscosidad del agua está dada por:

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

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



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, v.

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

ν, tiene unidades de m²/s, al igual que la difusividad térmica α.

Viscosidad cinemática

Fluido	μ [kg/(m s)]	ρ	ν [m ² /s]
		$[kg/m^3]$	
Hidrogeno	8.9x10 ⁻⁶	0.084	1.06x10 ⁻⁴
Aire	1.8x10 ⁻⁵	1.19	1.51x10 ⁻⁵
Gasolina	2.9x10 ⁻⁴	679	4.27x10 ⁻⁷
Agua	1.0x10 ⁻³	990	1.01x10 ⁻⁶
Alcohol	1.2x10 ⁻³	795	1.51x10 ⁻⁶
Mercurio	1.5x10 ⁻³	12900	1.16x10 ⁻⁷
Lubricante	0.26	932	2.79x10 ⁻⁴
Glicerina	1.5	1260	1.19x10 ⁻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 muevo 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: $\tau = -\mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\delta} \implies u = \frac{\tau \delta}{\mu}$

• 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:

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

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: $\text{Re} < 3 \cdot 10^5$

• Flujo turbulento: $Re > 3.10^6$