

# Clase No.6: Propiedades de los fluidos

## Ley de viscosidad de Newton, tipos de fluidos y tipos de flujo

Luis Alejandro Morales  
<https://lamhydro.github.io>

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

August 19, 2022



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# Table of Contents

1 Ley de viscosidad de Newton

2 Tipos de fluidos

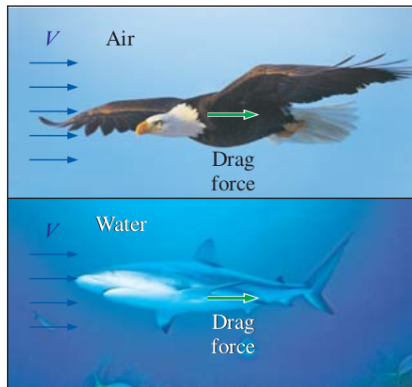
3 Tipos de flujo

# Ley de viscosidad de Newton

# Ley de viscosidad de Newton

## Viscosidad

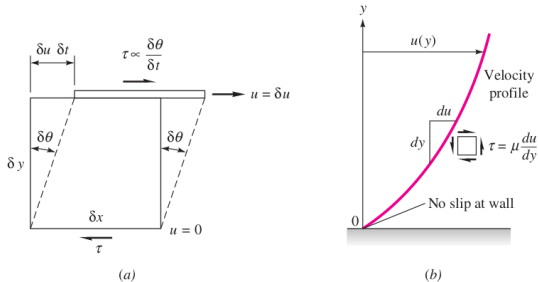
La **viscosidad** es una medida de la resistencia de un fluido a fluir (resistencia al corte). Esta determina la tasa de deformación de un fluido que es generada cuando este es sometido a un esfuerzo cortante  $\tau$ . Por ejemplo es mucho mas fácil moverse en aire que en el agua, ya que esta ultima tiene una viscosidad 50 veces mas alta (ver Figura 1). Mucho mas difícil es el movimiento en aceite que podría tener 300 veces mas viscosidad que el agua.



**Figure:** El fluido ejerce una fuerza de arrastre sobre el cuerpo en movimiento debido a la fricción causada por la viscosidad.

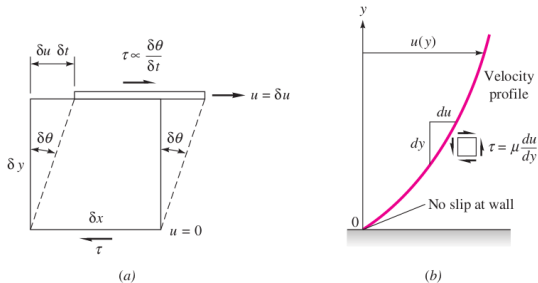
# Ley de viscosidad de Newton

Si consideramos un fluido que se mueve a una velocidad  $u$  en un plano horizontal como resultado de una fuerza horizontal la cual produce un esfuerzo cortante, tenemos que el ángulo de deformación  $\delta\theta$  crece continuamente con el tiempo si  $\tau$  se mantiene (ver Figura 2).



**Figure:** a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad  $u$  y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

# Ley de viscosidad de Newton



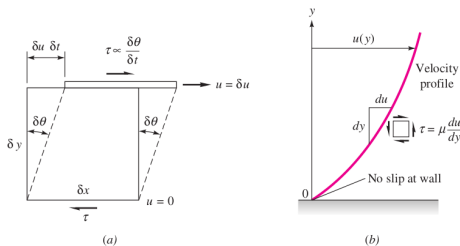
**Figure:** a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad  $u$  y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

Por lo tanto, en fluidos como el agua, el aceite o el aire, la tasa de deformación se relaciona linealmente con el esfuerzo:

$$\tau \propto \frac{\delta\theta}{\delta t}$$

(1)

# Ley de viscosidad de Newton



**Figure:** a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad  $u$  y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

De la figura 2a:

$$\tan \delta\theta = \frac{\delta u \delta t}{\delta y}$$

En el límite infinitesimal cuando  $\delta\theta$  se hace pequeño,  $\tan \delta\theta \approx \delta\theta$  y la ecuación anterior se convierte en:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy}$$

la cual expresa la equivalencia entre la tasa de deformación y el gradiente de velocidad.

# Ley de viscosidad de Newton

## Ley de viscosidad de Newton

Reemplazando en la ecuación 1 y teniendo en cuenta que la constante de proporcionalidad es el coeficiente de viscosidad  $\mu$ , conocido como viscosidad *dinámica* o *absoluta*, tenemos:

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{dt} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2)$$

La ecuación 2 es conocida como la Ley de viscosidad de Newton y es válida exclusivamente para flujos laminares.

Si analizamos el perfil de velocidades en la **capa límite** (ver Figura 2b) la cual es la capa de fluido más cercana a la placa sólida inferior, la velocidad  $u \approx 0$  y  $\tau$  es máximo en cercanías a la placa sólida. Dicho fenómeno es conocido como la **condición de no deslizamiento** en fluidos viscosos.



# Ley de viscosidad de Newton

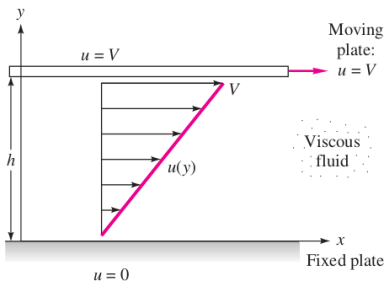
## Dimensiones de la viscosidad

$\mu$  tiene dimensiones  $FT/L^2$  o  $M/LT$ , en SI son  $kg/m.s$ , en BG son  $slugs/ft.s$  y en CGS son  $g/cm.s = 1 \text{ poise}$ .

# Placas paralelas

Un problema clásico es el flujo inducido entre una placa inferior fija y una placa superior que se mueve a una velocidad  $\mathbf{V}$  (ver Figura 5). La distancia entre las placas es  $h$  y dicho espacio está ocupado por un fluido Newtoniano. Si las placas son grandes, el movimiento permanente induce una distribución de velocidad  $u(y)$  (ver Figura 5) en donde  $v = w = 0$  y la aceleración es cero. De acuerdo con lo anterior, a un balance de fuerza sobre un elemento de fluido resulta en un esfuerzo constante en cualquier punto del fluido. Por tanto la Ecuación 2 se convierte en:

$$\frac{du}{dy} = \frac{\tau}{\mu} = \text{const}$$



# Placas paralelas

Integrando esta ecuación para  $u$ , tenemos

$$u = a + by$$

lo cual indica una distribución lineal de la velocidad tal como se muestra en la Figura 5 en donde  $a$  y  $b$  son constantes que se evalúan como:

$$u = \begin{cases} 0 = a + b(0) & \text{en } y = 0 \\ V = a + b(h) & \text{en } y = h \end{cases}$$

de donde  $a = 0$  y  $b = V/h$ . Reemplazando en la ecuación, el perfil de velocidades entre las placas esta dado por:

$$u = V \frac{y}{h} \quad (3)$$

# Variación de la viscosidad con la temperatura

La viscosidad es una propiedad termodinámica de los fluidos que depende de la presión  $p$  y de la temperatura  $T$ . Sin embargo, la variación de  $\mu$  con respecto a la presión es menor, mientras que la variación con respecto a la temperatura es significativa. La viscosidad de un gas incrementa con la temperatura. De acuerdo con esto existen dos leyes al respecto:

$$\frac{\mu}{\mu_0} \approx \begin{cases} \left(\frac{T}{T_0}\right)^n & \text{ley de potencia} \\ \frac{(T/T_0)^{3/2}(T_0+S)}{T+S} & \text{ley de Sutherland} \end{cases} \quad (4)$$

donde  $\mu_0$  es la viscosidad a una temperatura absoluta  $T_0$  (usualmente 273 K). Las constantes  $n$  y  $S$  son constantes ajustadas con base en datos. Por ejemplo para aire,  $n \approx 0.7$  y  $S \approx 110$

# Variación de la viscosidad con la temperatura

En líquidos, la viscosidad decrece con la temperatura de una forma casi exponencial  $\mu \approx ae^{-bT}$ . Con base en esta ecuación esta expresión es derivada:

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \approx a + b \left( \frac{T_0}{T} \right) + c \left( \frac{T_0}{T} \right)^2 \quad (5)$$

en donde para agua con  $T_0 = 273.16 \text{ K}$  y  $\mu = 0.001792 \text{ kg/(m.s)}$ ,  $a = -1.94$ ,  $b = -4.80$  y  $c = 6.74$  con una exactitud del  $\pm 1 \%$ .

# Tipos de fluidos

# Tipos de fluidos

## Fluidos Newtonianos

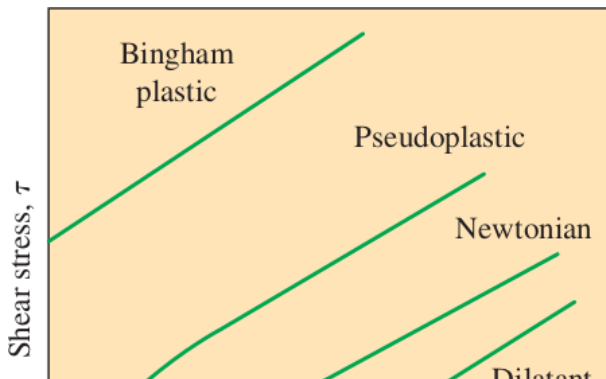
Son fluidos que se comportan de acuerdo con la Ecuación 2.

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{dt} = \mu \frac{du}{dy} \quad (6)$$

# Tipos de fluidos

## Fluidos no Newtonianos

Fluidos que no siguen la ecuación lineal 2 son llamados **no Newtonianos**. Mientras que en los flujos Newtonianos la viscosidad es constante con el aumento del esfuerzo, en los fluidos no Newtonianos la viscosidad cambia. Algunos tipos de fluidos no Newtonianos son:





# Tipos de fluidos

## Tipos fluidos no Newtonianos

- **Dilatante:** Incrementa su resistencia cuando la tasa de deformación incrementa.
- **Seudoplastico:** La resistencia disminuye a altas tasas de deformación. Por ejemplo: pintura y soluciones de polímeros. La pintura es gruesa antes de aplicarla pero se hace delgada cuando se aplica a una alta tasa de deformación.
- **Bingham plástico:** Requieren un esfuerzo inicial antes de que inicie a fluir o deformarse. Por ejemplo: mayonesa, crema de dientes, lodos, salsa de tomate. La salsa de tomate no sale del recipiente a menos que se le aplique un esfuerzo inicial (se sacuda o se exprima el recipiente).

# Tipos de flujo

# Tipos de flujo

## El Numero de Reynolds

El numero de Reynolds  $Re$  es un numero adimensional que caracteriza el movimiento de un fluido y se define como:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (7)$$

donde  $V$  es la velocidad,  $L$  es la longitud característica del flujo y  $\nu = \mu/\rho$  es la **viscosidad cinemática**. La ecuación 7 indica que  $Re$  es la relación de las fuerzas convectivas o inerciales y las fuerzas viscosas presentes en el fluido. De acuerdo con esto,  $Re$  muy bajos significan flujos muy viscosos donde las fuerzas inerciales son despreciables.  $Re$  moderados son flujos **laminares** que se mueven suavemente en capas paralelas. Un  $Re$  alto es característico de un flujo **turbulento**.