

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 18, 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 τ . Por ejemplo es mucho mas facil moverse en aire que en el agua, ya que esta ultima tiene una viscosidad 50 veces mas alta (ver Figura 1). Mucho mas dificil es el movimiento en aceite que podria tener 300 veces mas viscosidad que el agua.

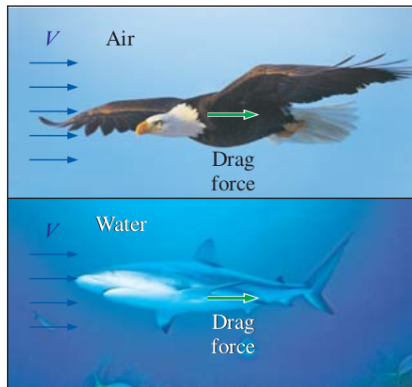


Figure: El fluido ejerce una fuerza de atrastre sobre el cuerpo en movimiento debido a la friccion causada por la viscosidad.

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 τ se mantiene (ver Figura 2).

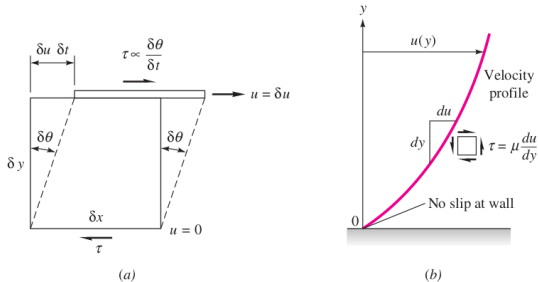


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

Ley de viscosidad de Newton

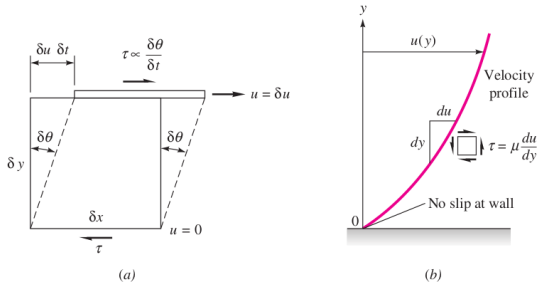


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

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

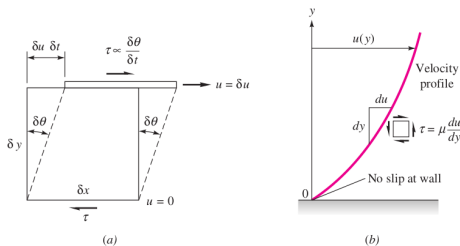


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

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

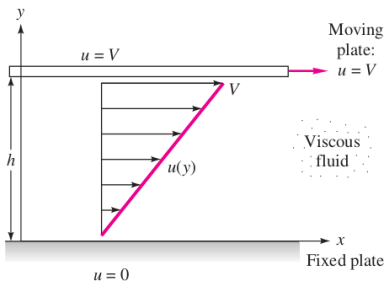
Dimensiones de la viscosidad

μ 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 clasico es el flujo inducido entre una placa inferior fija y una placa superior que se mueve a una velocidad \mathbf{V} (ver Figura ??). La distancia entre las placas es h y dicho espacio esta ocupado por un fluido newtoniano. Si las placas son grandes, el movimiento permanente induce una distribucion de velocidad $u(y)$ (ver Figura ??) en donde $v = w = 0$ y la aceleracion es zero. 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 Ecuacion 2 se convierte en:

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



Placas paralelas

Integrando esta ecuacion para u , tenemos

$$u = a + by$$

lo cual indica una distribucion lineal de la velocidad tal como se muestra en la Figura ?? en donde a y b son constantes que se evaluan 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 ecuacion, 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 μ 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 μ_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 $S \approx 110$

Variacion de la viscosidad con la temperatura

En liquidos, la viscosidad decrece con la temperatura de una forma casi exponencial $\mu \approx ae^{-bT}$. Con base en esta ecuacion esta expresion 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

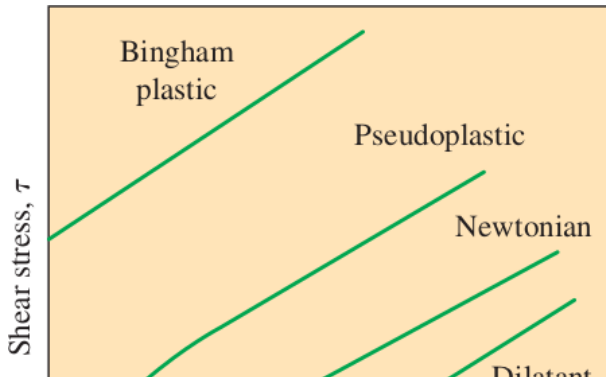
Son fluidos que se comportan de acuerdo con la ecuacion 2.

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

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:** Increase its resistencia cuando la tasa de deformacion incrementa.
- **Seudoplastico:** La resistencia disminuye a altas tasas de deformacion. Por ejemplo: pintura y soluciones de polimeros. La pintura es gruesa antes de aplicarla pero se hace delgada cuando se aplica a una alta tasa de deformacion.
- **Bingham plastico:** 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 ?? 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**.

Temporary page!

\LaTeX was unable to guess the total number of pages correctly. There was some unprocessed data that should have been added to the document, so this extra page has been added to receive it.

If you rerun the document (without altering it) this surplus page will disappear, because \LaTeX now knows how many pages to expect for the document.