

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 22, 2023



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Table of Contents

1 Ley de viscosidad de Newton

2 Tipos de fluidos

3 Tipos de flujo

4 Resumen

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 fácil moverse en aire que en el agua, ya que esta ultima tiene una viscosidad 50 veces mas alta. Mucho mas difícil es el movimiento en aceite que podría tener 300 veces mas viscosidad que el agua.

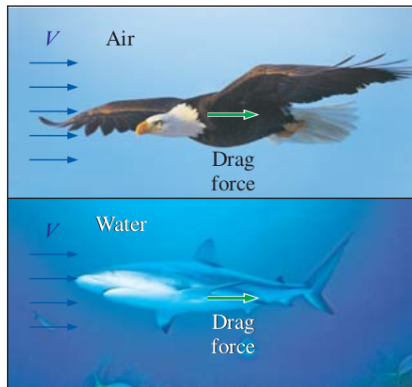


Figure: El fluido ejerce una fuerza de arrastre sobre el cuerpo en movimiento debido a la fricción causada por la viscosidad.

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 τ se mantiene.

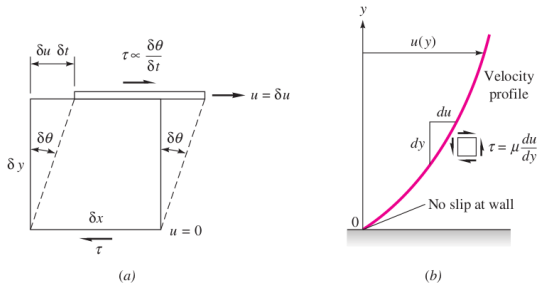


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

Ley de viscosidad de Newton

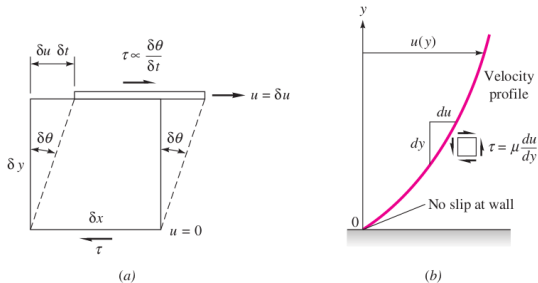


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

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

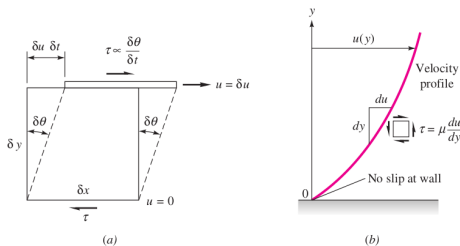


Figure: a) Deformación de un fluido que fluye sobre una superficie horizontal a velocidad u y b) perfil de velocidades de fluido en la capa límite.

De la figura ??a):

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

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 la 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 μ , 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** la cual es la capa de fluido más cercana a la placa sólida inferior, la velocidad $u \approx 0$ y τ 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

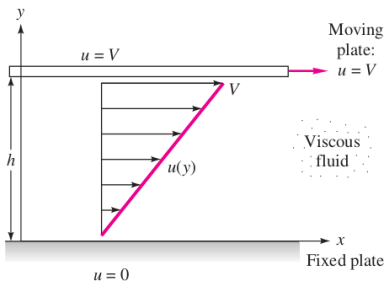
Dimensiones de la viscosidad

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 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

Efecto en gases

Como la actividad molecular, la cual es la causa principal para la generación de esfuerzos de corte, se incrementa con el aumento de T , μ aumenta. Sin embargo, μ es independiente de la presión.

Efecto en líquidos

Como la *cohesión* es la causa predominante de la viscosidad, cuando la T incrementa, la cohesión decrece y por tanto también μ

Tipos de fluidos

Tipos de fluidos

Tipos de fluidos

- Fluidos Newtonianos
- Fluidos no Newtonianos
 - Fluido plástico
 - Fluido pseudoplástico
 - Fluido dilatable

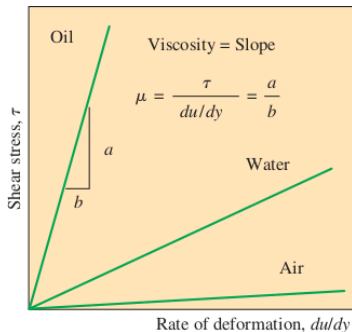
Tipos de fluidos

Fluidos Newtonianos

Son fluidos que se comportan de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

en donde la pendiente de la recta determina la viscosidad μ .



Tipos de fluidos

$$\mu = 0.01 \text{ P}$$

Obtenido de: <https://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/dieta-equilibrada/macronutrientes/el-agua-1011>



$$\mu = 0.006 \text{ P}$$

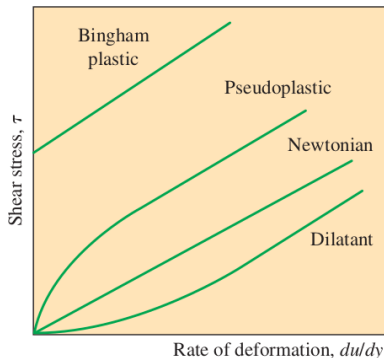
Obtenido de: <https://www.revistaautocrash.com/5-tips-para-reducir-el-perdicio-de-gasolina/>



Tipos de fluidos

Fluidos no Newtonianos

Se deforman de manera que la tensión de corte no es proporcional al gradiente de velocidades por lo que μ es variable. La deformación de estos fluidos puede clasificarse como plástica.

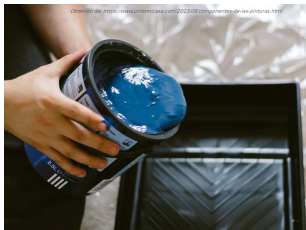


Tipos de fluidos

Fluidos no Newtonianos

- **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).
- **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.
- **Dilatante:** Incrementa su resistencia cuando la tasa de deformación incrementa. Fluyen fácilmente con viscosidad baja para razones de deformación pequeñas. Ejemplo: arena movediza.

Tipos de fluidos



Tipos de flujo

Tipos de flujo

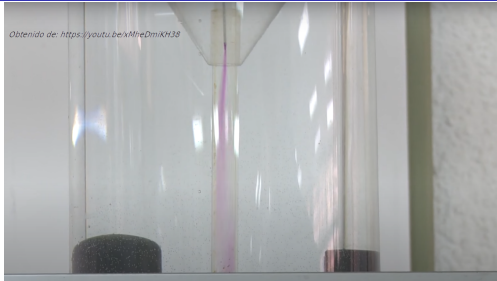
Flujo laminar



Es un fluido que fluye puramente en láminas o capas en donde las partículas se mueven paralelamente gracias a la viscosidad del fluido. Este flujo está gobernado por la *Ley de viscosidad de Newton*.



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:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (4)$$

donde V es la velocidad, L es la longitud característica del flujo y $\nu = \mu/\rho$ es la **viscosidad cinemática**. La ecuación 4 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**.

Resumen

Ley de viscosidad de Newton

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

donde μ es la viscosidad dinámica o absoluta y u es la velocidad del fluido.

Tipos de fluido

- **Newtoniados:**

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} = \text{Cte}$$

- **No Newtoniados:**

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \neq \text{Cte}$$

Tipos de flujo

- **Laminar:** Fluye en laminas o capas y sigue la ley de viscosidad de Newton. *NR* bajos.
- **Turbulento:** Fluye en forma caótica. *NR* altos.