

MECÁNICA DE FLUIDOS: VISCOSIDAD Y TURBULENCIA

Fís. Carlos Adrián Jiménez Carballo
Escuela de Física
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Objetivos

Al finalizar esta sección el estudiante deberá ser capaz de

- Identificar el concepto de viscosidad
- Interpretar el concepto de fluidos laminares
- Interpretar la ecuación de los fluidos viscosos en una tubería cilíndrica
- Interpretar la Ley de Poiseuille
- Aplicar la ley de Stokes
- Interpretar el concepto de velocidad terminal de una esfera en un fluido viscoso.
- Interpretar el número de Reynolds

Conocimientos previos

Para esta sección los estudiantes deben tener conocimientos previos en

- Matemática básica.
- Cálculo diferencial, principalmente los conceptos de derivada e integral
- Física general, principalmente los conceptos de mecánica clásica, como por ejemplo las leyes de newton, los conceptos de posición, distancia, velocidad y aceleración, las definiciones de energía cinética, energía potencial y energía mecánica.

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

Viscosidad

La **viscosidad** se refiere a la fricción interna, o resistencia al flujo, de un fluido. Todos los fluidos reales tienen una resistencia interna al flujo la cual puede verse como fricción entre las moléculas del fluido. En el caso de los líquidos, la viscosidad se debe a fuerzas de cohesión de corto alcance y en los gases, se debe a los choques entre las moléculas. La resistencia a la viscosidad tanto de líquidos como de gases depende de su velocidad y podría ser directamente proporcional a ella en algunos casos. Sin embargo, la relación varía dependiendo de las condiciones; por ejemplo, la resistencia es aproximadamente proporcional a v^2 o a v^3 en flujo turbulento. La unidad en el *SI* de la viscosidad es el Poiseuille ($1 \text{ Pl} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Coeficiente de viscosidad η de distintas sustancias

Fluido	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Viscosidad η (Pa·s)
Agua	0	$1,79 \times 10^{-3}$
Agua	20	$1,00 \times 10^{-3}$
Agua	10	$0,28 \times 10^{-3}$
Aire	-31,6	$1,54 \times 10^{-5}$
Aire	20	$1,83 \times 10^{-5}$
Aire	230	$2,64 \times 10^{-5}$
Alcohol etílico	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Glicerina	0	12.11
Glicerina	20	1,49
Helio	20	$1,94 \times 10^{-5}$

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

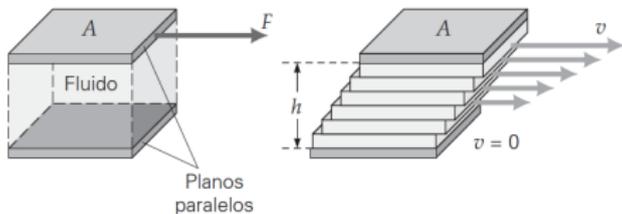
Flujos laminares

Existen dos tipos de flujos permanentes en el caso de fluidos reales, que es necesario conocer y entender: flujo laminar y el flujo turbulento. Ambos flujos son gobernados por distintas leyes.

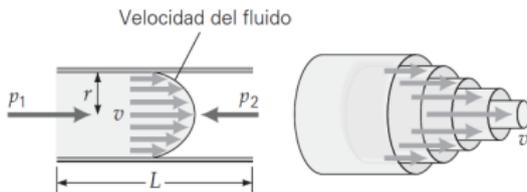
La viscosidad hace que las distintas capas de un fluido se muevan con diferente rapidez en respuesta a un esfuerzo cortante. Este movimiento relativo de capas es conocido como **flujo laminar** y es característico del flujo estable de líquidos viscosos a baja velocidad. A velocidades más altas, el flujo se vuelve turbulento.

Capas en flujos laminares

Un esfuerzo cortante hace que las capas de un fluido se muevan unas sobre otras en un flujo laminar. La fuerza de corte y la tasa de flujo dependen de la viscosidad del fluido.

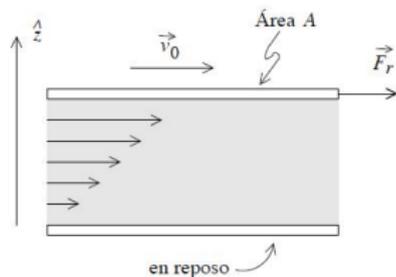


En un flujo laminar por un tubo, la rapidez del fluido es menor cerca de las paredes del tubo que cerca del centro, debido a la fricción entre las paredes y el fluido.



Fluidos newtonianos

Si se consideran dos placas paralelas de área A , separadas por una distancia D por un fluido con viscosidad η entre ellas. Una de las placas la se mantiene fija y la otra se mueve (paralelamente) con velocidad v_0 .



Newton experimentalmente encontró que para muchos fluidos la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para mantener la placa en movimiento es:

$$F_r = \eta A \frac{v_0}{D}$$

Los fluidos que cumplen con esta relación se llaman **fluidos newtonianos**.

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

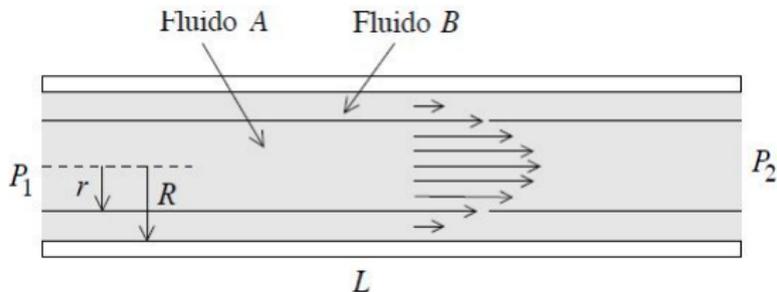
Flujos turbulentos y número de Reynolds

Velocidad de un fluido en un tubo cilíndrico

Cuando un fluido viscoso se mueve en un tubo, su velocidad de flujo es diferente en distintos puntos de una misma sección transversal. La capa más externa del fluido se adhiere a las paredes del tubo, y su velocidad es cero. Para el caso de un flujo laminar la velocidad es máxima en el tubo y disminuye hasta anularse en las paredes.

Analizando las fuerzas que actúan sobre un elemento del fluido se puede mostrar que la velocidad del tubo en función de una distancia radial r es

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4\eta L} (R^2 - r^2).$$



Ley de Pouseuille

A partir de la ecuación de la velocidad de un fluido con viscosidad η en un tubo cilíndrico de radio R y longitud L se puede encontrar una expresión que permite determinar el volumen total por unidad de tiempo, en otras palabras el caudal Q , dicha expresión se conoce como **ley de Pouseuille**

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(p_1 - p_2) \pi R^4}{8\eta L} = \frac{1}{2} \pi R^2 v_m,$$

donde $(p_1 - p_2)$ es la diferencia de presiones en los dos extremos del tubo.

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

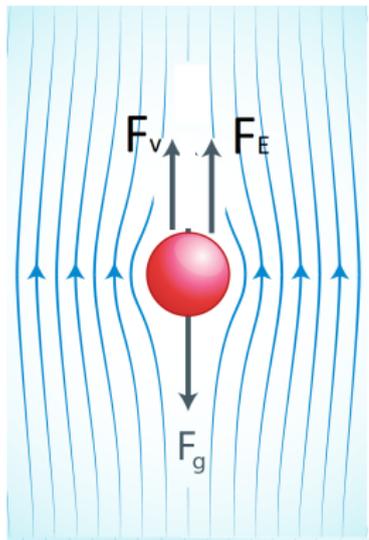
Flujos turbulentos y número de Reynolds

Ley de Stokes

Cuando un fluido laminar se mueve alrededor de una esfera de radio R , o cuando una esfera se mueve por un fluido estacionario con viscosidad η , el fluido ejerce una fuerza viscosa (una fuerza de resistencia) sobre la esfera. La magnitud de dicha fuerza es

$$F_v = 6\pi R\eta v,$$

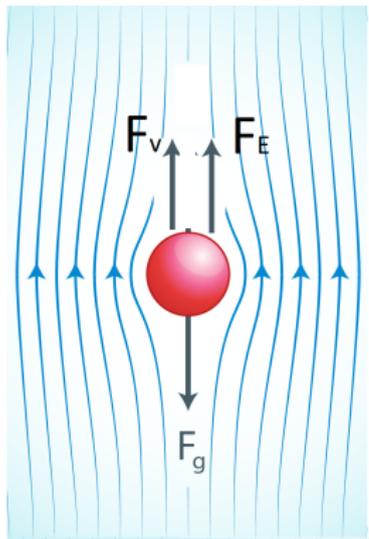
dicha relación se conoce como **Ley de Stokes**.



Velocidad terminal

Una esfera que cae en un fluido con viscosidad η alcanza una velocidad terminal o límite v_T para la cual la fuerza viscosa más el empuje es igual al peso de la esfera. Sean ρ_f la densidad del fluido, ρ y R la densidad y el radio de la esfera de tal manera que la masa del fluido es $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ a partir del análisis de fuerzas que actúan sobre la esfera se obtiene la velocidad terminal v_T de la esfera

$$v_T = \frac{2}{9} \frac{R^2 g}{\eta} (\rho - \rho_f)$$



Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

Flujo turbulento

Se conoce como **flujo turbulento o corriente turbulenta** al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, o sea aquel flujo el que las partículas del fluido se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

Número de Reynolds

El **número de Reynolds** N_R relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión *adimensional*, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicha cantidad sirve para identificar si un flujo es la laminar o turbulento.

Para un fluido de viscosidad η que circula por el interior de una tubería circular recta de diámetro D , el número de Reynolds N_R viene dado por:

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}.$$

Diversos experimentos han demostrado que cuando el número de Reynolds es menor o igual a 2000, el régimen es laminar, mientras que por encima de 3000 el régimen es turbulento. En la zona de transición, entre 2000 y 3000 el régimen es inestable y puede pasar de un tipo a otro.

Fórmulas hidrostática segundo examen parcial

$$v = \frac{\Delta p}{4\eta L} (R^2 - r^2)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{8} \frac{\Delta p}{\eta L} R^4$$

$$\frac{dV}{dt} = Q = AV = \text{const}$$

$$F_v = 6\pi R\eta v$$

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}$$

$$F = \rho Vg$$

Todas las fórmulas que no aparecen aquí deben ser demostradas en el examen

Bibliografía

- Sears, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Freedman, R.A. (2013). *Física Universitaria*. Volumen I. Décimo tercera edición. México: Pearson Education.
- Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. (2013). *Física*. Volumen I. 5ta. Edición. México: Grupo Editorial Patria.
- Potter, M. C., & Wiggert, D. C. (2007). *Mecánica de fluidos*, 3ra. Edición, Thomson Learning, México.
- Wilson, J.D., Buffa, A.J. y Lou, B. (2007). *Física*. 6ta Edición. México: Pearson educación.
- SCHAUM, R. V. G., Evett, J. B., & Liu, C. (2005). *Mecánica de los fluidos e Hidráulica*. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid.

Créditos

- Vicerrectoría de Docencia
- CEDA - TEC Digital
- Proyecto de Virtualización 2016-2017
- Física General III
- Fís. Carlos Adrián Jiménez Carballo (profesor)
- Ing. Paula Morales Rodríguez (coordinadora de diseño)
- Andrés Salazar Trejos (Asistente)