

Tema 1.

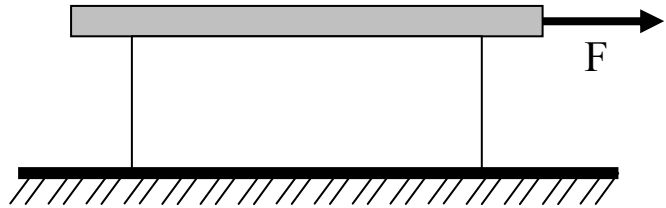
CONSIDERACIONES BÁSICAS

Definición de Fluido

- Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a un esfuerzo cortante (esfuerzo tangencial), no importa cuán pequeño sea éste.
- Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

De hecho según estas dos definiciones los fluidos comprenden los estados líquido y gaseoso de la materia.

La diferencia fundamental entre un fluido y un sólido se puede explicar con la siguiente figura, en donde se ha representado una sustancia colocada sobre una base fija y sobre la cual se coloca un elemento adherido. Si el elemento entre la base y el elemento superior es un sólido entonces si se aplica una fuerza F se producirá una deformación en el elemento que será proporcional al esfuerzo aplicado.



En cambio si el elemento es un fluido entonces se producirá un desplazamiento cuya velocidad es proporcional a la fuerza aplicada. Mientras no cese la fuerza continuara a existir el desplazamiento.

Campo de la Mecánica de Fluidos

- Maquinas de fluido, turbomáquinas (bombas, turbinas).
- Redes de distribución de fluido (agua, gas, petróleo).
- Transporte en general, navegación principalmente.
- Regulación de máquinas.
- Sistemas de ventilación y climatización en general.
- Aerodinámica (diseño de carrocerías, etc).
- Transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos.
- Lubricación.
- Medicina (flujo sanguíneo).
- Deporte (efectos en el movimiento de pelotas, flujo alrededor del cuerpo en natación, etc)

Leyes Básicas de la Mecánica de Fluidos

- Conservación de la masa o continuidad
- Segunda ley de Newton del movimiento
- Momento de la cantidad de movimiento o impulso
- Primera ley de termodinámica
- Segunda ley de termodinámica

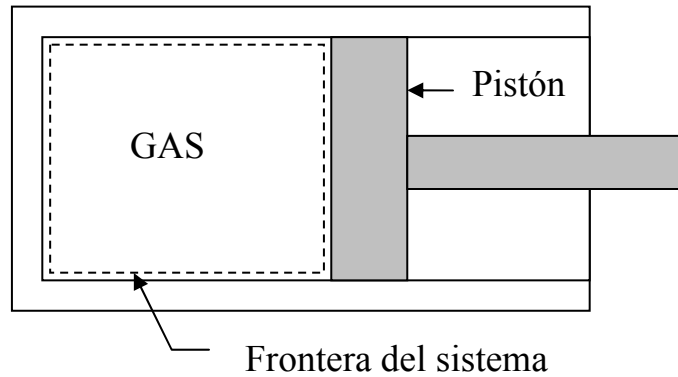
Métodos de Análisis

En la mecánica básica se usa generalmente el método del diagrama de cuerpo libre para describir el comportamiento de los cuerpos sólidos. En los fluidos este método no es aplicable, se pueden entonces utilizar dos métodos que son el análisis de un sistema o el análisis de un volumen de control. A su vez estos dos métodos tienen diversos enfoques y métodos de descripción aplicables

Sistema y volumen de control

Sistema

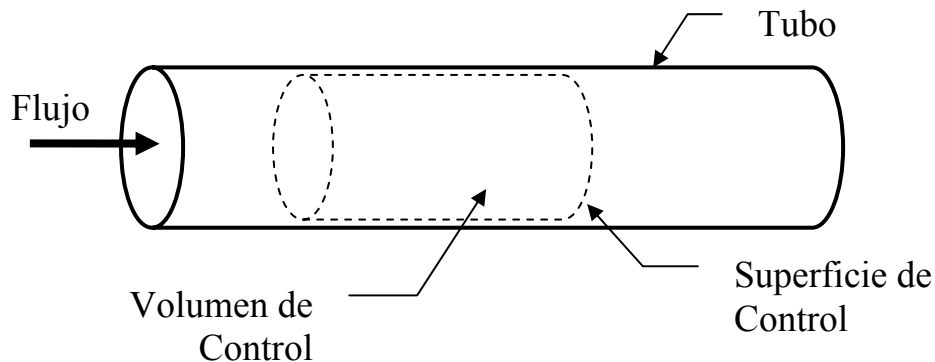
Un sistema se define como una cantidad de masa fija e identificable; las fronteras del sistema lo separan de sus alrededores. Dichas fronteras pueden ser fijas o móviles (deformables), pero no puede haber flujo a través de ellas. Por ejemplo un conjunto cilindro pistón puede ser considerado como un sistema.



Volumen de control

También denominado sistema abierto. Es un volumen arbitrario a través del cual se mueve un fluido. La frontera geométrica del volumen de control se denomina superficie de control.

La superficie de control puede ser real o imaginaria, puede estar en reposo o en movimiento. Por ejemplo el flujo en un tubo.



Enfoque diferencial y enfoque integral

Enfoque diferencial

Si se usan sistemas o volúmenes de control infinitesimales las ecuaciones resultantes son ecuaciones diferenciales que describen el movimiento de un fluido en detalle infinitesimal.

Este enfoque sirve para determinar el comportamiento detallado del flujo, es decir punto a punto. Se usa en los métodos de cálculo numérico tales como diferencias finitas, elementos finitos, etc.

Enfoque integral

Si se usan sistemas o volúmenes de control finitos las ecuaciones resultantes serán del tipo global, se trata de ecuaciones que describen el comportamiento integral del flujo.

Este enfoque se utiliza para el cálculo de flujos y sus efectos de forma analítica.

Métodos de descripción

Descripción Lagrangiana

Método descriptivo que sigue las partículas de fluido en particular.

Este se usa cuando es fácil rastrear los elementos identificables en masa. Por ejemplo en el caso del estudio del desplazamiento de una pelota.

Descripción de campo o Euleriana

Método que fija la atención en las propiedades de un flujo en un volumen de control.

Se usa este tipo de descripción en los fluidos ya que si se considera al fluido como un conjunto de múltiples partículas sería imposible rastrear cada partícula por separado.

Su uso se basa en la hipótesis de que los fluidos se pueden tratar como medios continuos.

Dimensiones y Unidades

Dimensión

Es cualquier cantidad susceptible de medición.

Estas se pueden clasificar en dimensiones primarias y secundarias.

Las primarias son aquellas en que se establece un sistema arbitrario de escalas de medición y las secundarias las que se pueden expresar en términos de las primarias.

Por ejemplo la velocidad es una dimensión secundaria que proviene de dos dimensiones primarias longitud y tiempo.

Sistemas de Dimensiones

Los sistemas de dimensiones se diferencian por las dimensiones consideradas como primarias.

Existen principalmente 3 sistemas de dimensiones a saber:

1. Masa (M), Longitud (L), tiempo (t), Temperatura (T)
2. Fuerza (F), Longitud (L), tiempo (t), Temperatura (T)
3. Fuerza (F), Masa (M), Longitud (L), tiempo (t), Temperatura (T)

El uso de uno u otro sistema de dimensiones puede cambiar el enfoque de algunas ecuaciones.

Por ejemplo para la segunda ley de Newton: $F \propto ma$ que relaciona 4 dimensiones: F, M, L, t.

En los enfoques:

1. (MLtT): $F = Ma$
2. (FLtT): $F = ma$
3. (FMLtT): $F = \frac{ma}{g_c}$ donde $g_c = \frac{ML}{Ft^2}$ para que la ecuación sea adimensional.

Unidad

Se refiere al número con que se expresa la dimensión.

Por ejemplo, metro y pie son unidades de una misma dimensión: la longitud.

Sistemas de unidades

Existen diversos sistemas de unidades que varía principalmente en función de su lugar de origen y de las escalas utilizadas. Los más utilizados son:

Sistema Internacional (SI)

Utiliza el sistema de dimensiones MLtT.

Dimensiones y unidades fundamentales		
DIMENSION	UNIDAD	
	Nombre	Símbolo
Masa	Kilogramo	Kg
Longitud	Metro	M
Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Grado Kelvin	°K
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio	A
Intensidad luminosa	Candela	Cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

En este caso la fuerza es una unidad secundaria: el Newton (N), $1N = \frac{1Kg\ m}{s^2}$

Sistema métrico absoluto

Utiliza el sistema de dimensiones MLtT.

Dimensiones y unidades fundamentales		
DIMENSION	UNIDAD	
	Nombre	Símbolo
Masa	gramo	g
Longitud	centímetro	cm
Tiempo	Segundo	s

En este caso la fuerza es una unidad secundaria: la dina (d), $1d = \frac{1g\ cm}{s^2}$

Sistema británico gravitacional

Utiliza el sistema de dimensiones FLtT.

Dimensiones y unidades fundamentales		
DIMENSION	UNIDAD	
	Nombre	Símbolo
Fuerza	libra	lbf
Longitud	pie	ft
Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Grado Rankine	°R

En este caso la masa es una unidad secundaria: el slug, $1slug = \frac{1lbf\ s^2}{ft}$

Sistema Ingles de unidades de ingeniería

Utiliza el sistema de dimensiones FMLtT.

Dimensiones y unidades fundamentales		
DIMENSION	UNIDAD	
	Nombre	Símbolo
Fuerza	Libra fuerza	lbf
Masa	Libra masa	lbm
Longitud	pie	ft
Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Grado Rankine	°R

En este caso la fuerza y la masa son unidades fundamentales, y con la segunda ley de Newton resulta que:

$$1\text{ lbf} = \frac{1\text{ lbm } 32.2 \text{ ft} / \text{s}^2}{gc} \Leftrightarrow gc = \frac{32.2 \text{ ft lbm}}{\text{lbf s}^2}$$

Propiedades de Los Fluidos

Densidad específica o absoluta

La densidad es la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \begin{array}{l} \rho : \text{densidad} \\ m : \text{masa} \\ V : \text{volumen} \end{array} \quad \text{Unidades: } \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Esta es por lo general función de la presión y la temperatura a la cual se encuentra el fluido.

Peso específico

El peso específico es el peso por unidad de volumen

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \begin{array}{l} \gamma : \text{peso específico} \\ V : \text{volumen} \end{array} \quad \text{Unidades: } \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Densidad relativa

La densidad relativa (Gravedad Específica) es la relación entre la masa del cuerpo a la masa de un mismo volumen de agua destilada a presión atmosférica (nivel del mar) y a 4 °C.

Esta relación es igual si se hace con las densidades o con los pesos específicos respectivos.

$$D_R = \frac{m}{m_{H_2O}} = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}}$$

La densidad del agua a presión atmosférica y 4 °C es: $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

Volumen específico

El volumen específico es el inverso de la densidad.

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \quad \begin{array}{l} v : \text{volumen específico} \end{array} \quad \text{Unidades: } \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

Compresibilidad

En los fluidos como en los sólidos se verifica la ley fundamental de la elasticidad: El esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria.

- Esfuerzo unitario ΔP
- Deformación unitaria $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta v}{v}$

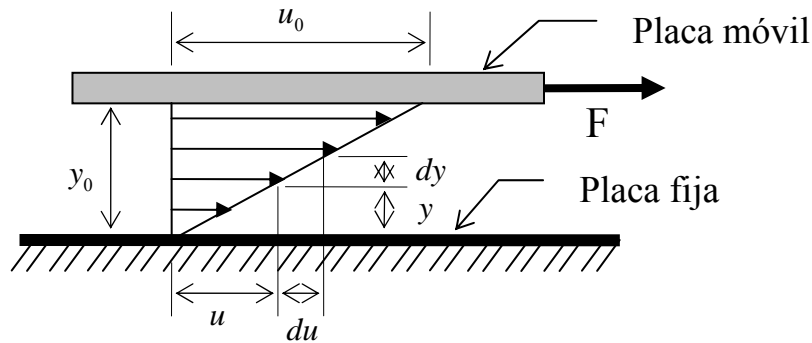
$$\Delta P = -E \frac{\Delta v}{v}; \quad E : \text{modulo de elasticidad, para el agua es } E \cong 20000 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$$

Viscosidad

La viscosidad es el coeficiente de fricción interna del fluido.

Entre las moléculas de un fluido existen fuerzas moleculares que se denominan cohesión. Al desplazarse unas moléculas con relación a las otras se produce a causa de la cohesión una fricción.

Por otra parte, entre las moléculas de un fluido en contacto con un sólido y las moléculas del sólido existen fuerzas moleculares que se denominan fuerzas de adherencia.



$$F = A\mu \frac{du}{dy}$$

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

u : velocidad

y : distancia transversal

A : área en contacto con el fluido

τ : esfuerzo cortante aplicado al fluido

μ : viscosidad

En la figura se observa que: $\frac{u_0}{y_0} = \frac{du}{dy}$

La viscosidad se puede expresar entonces como:

$$\mu = \tau \frac{y_0}{u_0}$$

Esto indica que la velocidad con que se desplaza la placa superior es proporcional a la fuerza aplicada, y fue un principio descubierto por Newton.

- En un fluido ideal la viscosidad es cero $\mu = 0$
- En un fluido real la viscosidad toma un valor finito $\mu > 0$
- En un sólido la viscosidad tiende al infinito $\mu \cong \infty$

La unidad de viscosidad en el sistema internacional es $Pa \cdot s = \frac{N \cdot s}{m^2} = \frac{Kg}{m \cdot s}$, aunque esta se suele expresar comúnmente como un submúltiplo de esta unidad denominado centipoise (cP): $1cP = 10^{-3} Pa \cdot s$.

Fluidos Newtonianos y No Newtonianos

La relación entre la fuerza y la velocidad de desplazamiento lineal expresada en el párrafo anterior es válido solo para el caso de fluidos Newtonianos.

Fluido Newtoniano

Aquellos fluidos donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la rapidez de deformación se denominan fluidos Newtonianos.

Algunos ejemplos de fluidos prácticamente newtonianos son el agua, el aire, la gasolina y el petróleo.

Fluido No Newtoniano

Los fluidos No Newtonianos son aquellos en que el esfuerzo cortante no es directamente proporcional a la deformación. Algunos ejemplos de fluidos con comportamientos marcadamente No Newtonianos son la crema dental, la grasa y el lavaplatos en gel. En estos ejemplos existe un esfuerzo de cedencia por debajo del cual se comportan como un sólido. En los fluidos Newtonianos este esfuerzo de cedencia es cero.

- En un fluido No Newtoniano la viscosidad varía en función a du/dy

Viscosidad Cinemática

La viscosidad cinemática (ν) es una medida de la viscosidad referida a la densidad:

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

Esta medida de la viscosidad se usa mucho en hidrodinámica ya que además de las fuerzas de roce intervienen las fuerzas de inercia que dependen de la densidad.

La unidad en el sistema internacional es m^2/s pero también se suele usar el Stoke (St), $1St = 10^{-4} m^2/s$.

Unidades no coherentes de viscosidad

En la práctica se usan otras unidades empíricas de viscosidad cuyo nombre y magnitud dependen de experimentos. La denominación *no coherente* utilizada aquí proviene del hecho que en general no poseen una relación directa con unidades fundamentales.

Las más conocidas son:

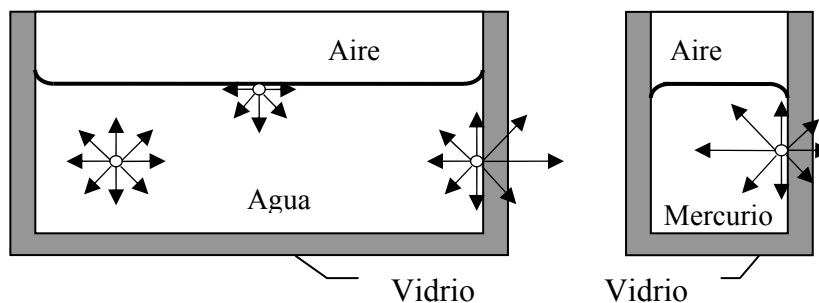
- Grados Engler, utilizados comúnmente en Alemania, Rusia, España y otros países.
- Segundos Redwood, utilizados en Gran Bretaña.
- Segundos Saybolt, utilizados en USA.
- Grado SAE (Society of Automotive Engineers), unidad muy popular para los aceites automotrices. Para esta última se puede obtener una relación aproximada con las unidades en el SI para un fluido a 50°C, y este posee además una tolerancia:

Grados SAE	10	20	30	40	50
Grados Engler	3 a 5	5 a 7	7 a 9	9 a 12	12 a 19
$10^6 \frac{m^2}{s}$	21 a 37	37 a 53	53 a 68	68 a 90	90 a ≈ 145

Tensión superficial

La tensión superficial es una fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, allí donde el fluido entra en contacto con otro fluido no miscible, particularmente un líquido con un gas o con un contorno sólido.

El origen de esta fuerza es la cohesión intermolecular y la fuerza de adhesión fluido sólido.



Esta propiedad se manifiesta con la formación de gotas y de meniscos.

La fuerza debida a la tensión superficial es: $F = \sigma L$, donde σ es el coeficiente de tensión superficial y L representa la longitud de la línea de contacto.

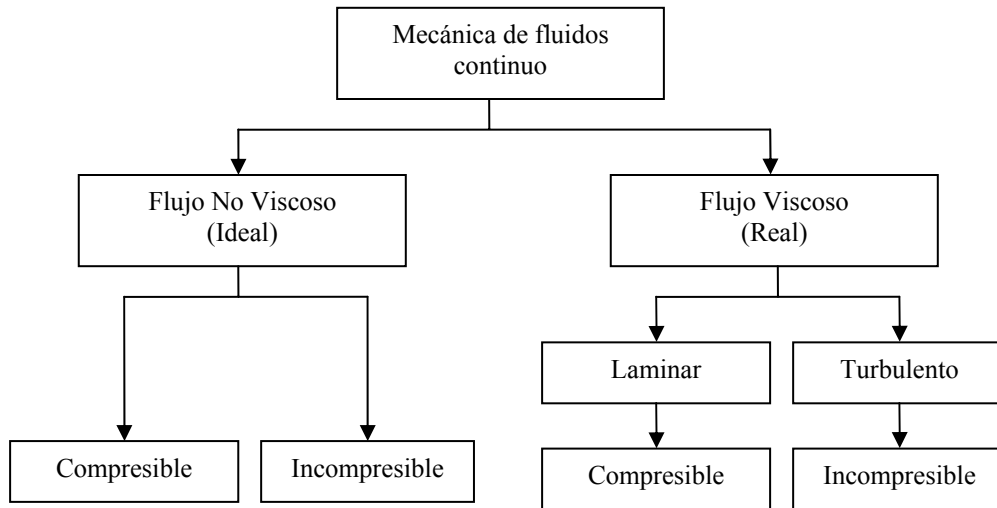
Tensión de vapor

En la superficie libre de un líquido a cualquier temperatura hay un constante movimiento de moléculas que escapan de dicha superficie, es decir, líquido que se evapora.

Si el líquido se encuentra en un recipiente cerrado y sobre el queda un espacio libre, este espacio se llega a saturar de vapor, en cuyo caso ya no se evapora más líquido.

Todo fluido tiene para cada temperatura una presión de saturación de vapor, y para cada presión una temperatura de saturación de vapor.

Descripción y clasificación de los movimientos de un fluido



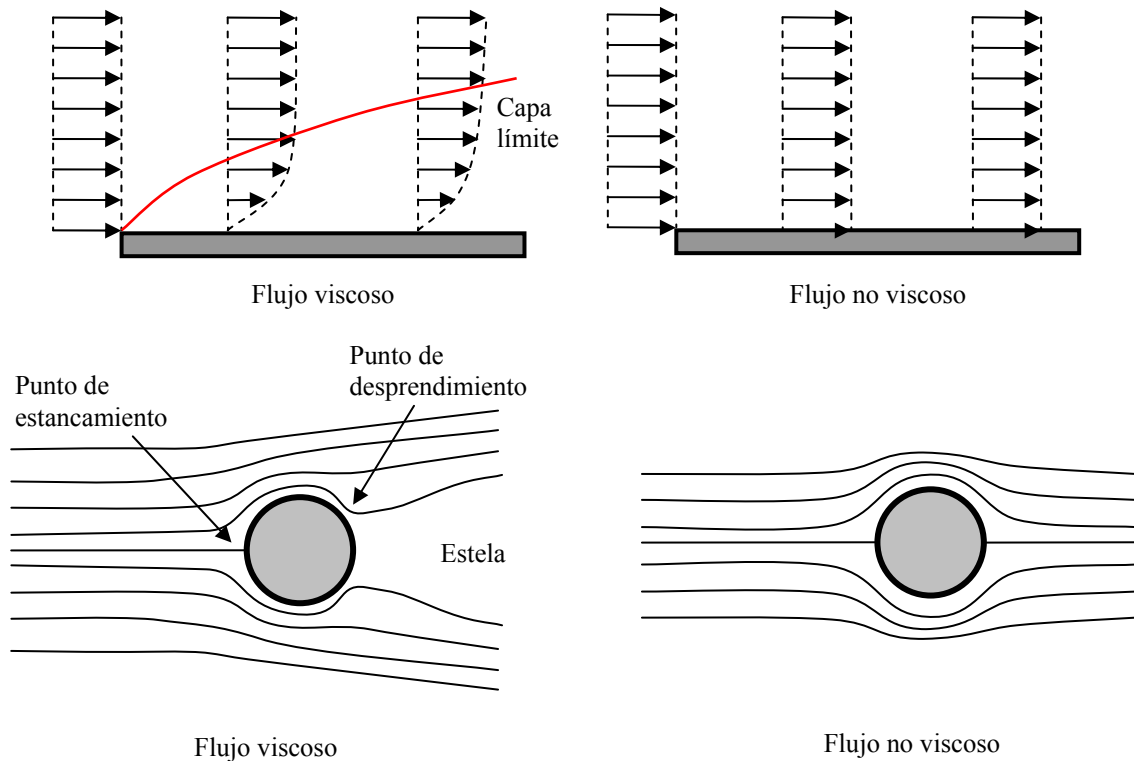
Flujo Viscoso y Flujo No Viscoso

En un flujo no viscoso (ideal) se supone que la viscosidad vale cero $\mu = 0$.

Evidentemente este tipo de flujo no existe en la realidad, pero en numerosos problemas se pueden hacer esta suposición con el objeto de simplificarlos y al mismo tiempo obtener resultados significativos.

Como todos los flujos presentan viscosidad resulta ser de mayor importancia para la mecánica de fluidos el flujo viscoso (real).

Ejemplos:



Flujo laminar y flujo turbulento

Los flujos viscosos se pueden clasificar en laminares y turbulentos, teniendo en cuenta la estructura interna de flujo.

En un flujo laminar, la estructura del flujo se caracteriza por el movimiento en láminas o capas.

En régimen turbulento la estructura del flujo se caracteriza por movimientos tridimensionales aleatorios de las partículas de fluido, superpuesto al movimiento promedio.

El que el flujo sea laminar o turbulento depende de las propiedades del fluido y de la velocidad de movimiento a la cual se somete.

Se puede predecir el tipo de flujo en un tubo usando el número de Reynolds:

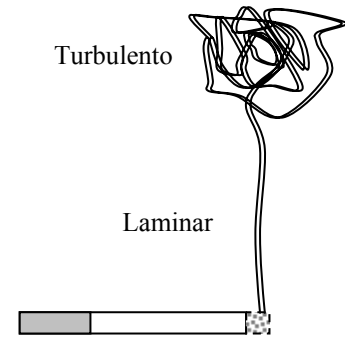
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Por lo que básicamente se puede decir que este depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido.

Si $Re > 2300$ el flujo será turbulento

Si $Re < 2300$ el flujo será laminar.

Existen pocos casos en la naturaleza de flujo laminar, un ejemplo particular es el flujo sanguíneo, y algunos sectores de flujos al inicio del movimiento (humo del cigarrillo).



Flujo compresible y flujo incompresible

Aquellos flujos donde las variaciones de densidad son insignificantes se denominan incompresibles, y cuando las variaciones de densidad no se pueden despreciar se denominan compresibles.

En general el flujo en los líquidos se puede considerar como incompresible. En cuanto al flujo en gases este se puede considerar incompresible siempre y cuando el número de Mach sea inferior a 0.3, ya que en este caso los cambios de densidad son inferiores al 2%. Este es el caso del flujo en ventiladores por ejemplo.

El número de Mach se obtiene con la expresión:

$$M = \frac{V}{c}; \quad V: \text{velocidad del fluido, } c: \text{velocidad del sonido en el gas.}$$

En el caso de flujos con números de Mach superiores al 0.3 se debe considerar el flujo como compresible, este es el caso de los sistemas de aire comprimido, gases a presión, flujo en turbinas por ejemplo.

Ejercicios

- Una placa de extensión infinita se mueve paralelamente a una pared fija, existiendo entre las dos placas una capa de líquido como se muestra en la figura. Si el espesor (d), entre las dos placas es pequeño, se puede suponer que la distribución de velocidades en el líquido es lineal.

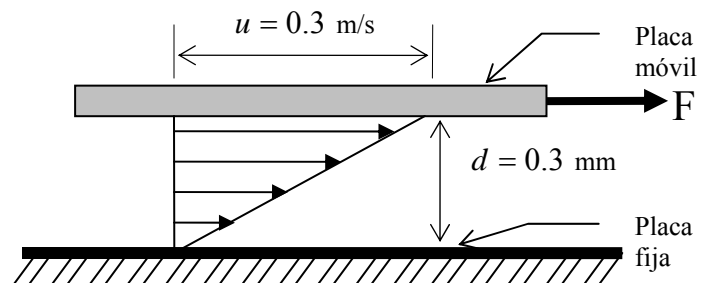
Las propiedades del fluido son:

$$\mu = 0.65 \text{ cp,}$$

$$DR = 0.88.$$

Calcule:

- La viscosidad absoluta del fluido en $\text{lbf}\cdot\text{s}/\text{ft}^2$.
- La viscosidad cinemática en m^2/s .
- El esfuerzo cortante en la placa superior en lbf/ft^2 .
- El esfuerzo cortante en la placa inferior en Pa.
- Señale la dirección de cada esfuerzo en c y d.



2. Se puede construir un viscosímetro mediante dos cilindros concéntricos muy ajustados, y haciendo girar el cilindro externo. Si la holgura entre los dos cilindros es muy pequeña se puede suponer que el perfil de velocidades del líquido entre ellos es lineal. Un viscosímetro de este tipo tiene un cilindro interior de 75 mm de diámetro, y 150 mm de altura, con un espacio entre cilindros de 0.02 mm. Se requiere un momento de torsión de 0.021 N.m para girar el cilindro externo a 100 rpm. Determine la viscosidad del líquido que se encuentra en el espacio entre los cilindros.

