

fcfm Ingeniería Civil
FACULTAD DE INGENIERÍA
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

CI3101

Mecánica de Fluidos

Profesor
Aldo Tamburrino Tavantzis

2011

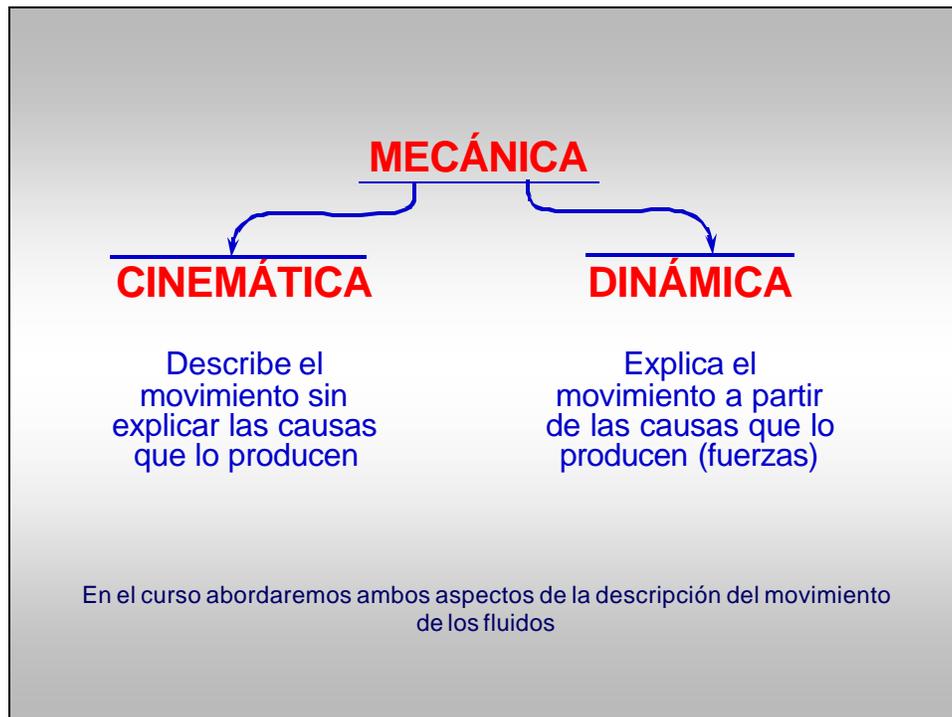
INTRODUCCIÓN

El curso está definido por su nombre:

MECÁNICA DE FLUIDOS

ÁREA DE LA FÍSICA
QUE ESTUDIA EL
MOVIMIENTO

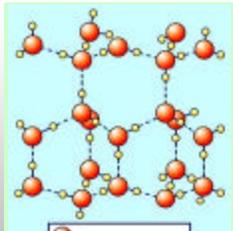
ESTADO DE
LA MATERIA



ESTRUCTURA DE LA MATERIA

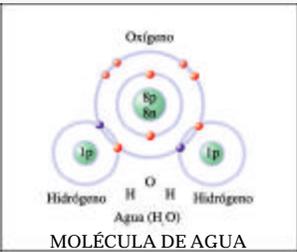
La materia está formada por átomos, los que a su vez están formados por partículas elementales. El diámetro de los átomos es del orden de 10^{-10} m.

La unión de átomos da origen a moléculas. De este modo, el agua resulta de la combinación de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno: H_2O .



● Oxígeno ● Hidrógeno

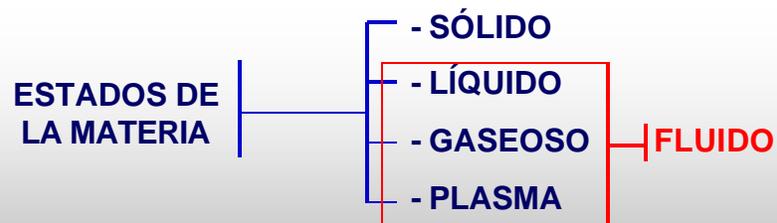
ESTRUCTURA CRISTALINA DEL AGUA CONGELADA



MOLÉCULA DE AGUA

ESTADOS DE LA MATERIA

Las fuerzas que unen a moléculas y átomos entre sí son de origen eléctrico. Dependiendo de la intensidad de estas fuerzas y las condiciones de presión y temperatura, definen el *estado* de la materia.



SÓLIDOS

En el estado sólido, las fuerzas de interacción intermolecular son importantes, restringiendo la movilidad de las moléculas, las que sólo pueden hacerlo vibrando u oscilando en torno a posiciones fijas. Esta oscilación aumenta al aumentar la temperatura.

LÍQUIDOS

La fuerza de atracción intermolecular en los líquidos es menor que en los sólidos, por lo que la movilidad de las moléculas es mucho mayor, pudiendo cambiar de posición y existiendo colisiones entre ellas.

El movimiento de las moléculas en los líquidos es desordenado y al aumentar la temperatura aumenta la movilidad.

GASES

Las fuerzas intermoleculares son muy pequeñas, por lo que las moléculas pueden moverse prácticamente sin restricción grandes distancias, de manera desordenada, colisionando entre ellas.

La débil atracción intermolecular permite que los gases puedan expandirse o comprimirse, hasta adaptarse al volumen del recipiente que los contiene.

El número de choques por unidad de tiempo y por unidad de área contra las paredes del recipiente se asocia a la presión del gas. Al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad con que se mueven las moléculas, y chocan con mayor frecuencia las paredes del recipiente, aumentando así la presión del gas.



PLASMAS

Son gases ionizados, es decir cargados eléctricamente.

A altas temperaturas los choques entre partículas son tan violentos que pueden hacer variar su estructura. Este efecto también puede lograrse al someter al gas a la acción de luz ultravioleta, rayos X o corriente eléctrica.

El gas en un tubo fluorescente encendido es un plasma.

El plasma es el estado predominante de la materia en el universo. Debido a las altas temperaturas en el Sol y las estrellas, el gas de que las forma está ionizado, o sea es un plasma.

REPASO DE MECÁNICA

SEGUNDA LEY DE NEWTON

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

La resultante de las fuerzas actuando sobre un cuerpo es igual a la variación de momentum.

La variación de momentum de un cuerpo es igual a la masa del cuerpo multiplicado por su aceleración.

\vec{F} es la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo

TIPOS DE FUERZAS

FUERZAS MÁNICAS: Dependen de la cantidad de materia del cuerpo y actúa en su centro de gravedad.

FUERZAS SUPERFICIALES: Actúan sobre las superficies del cuerpo.

FUERZAS MÁSICAS

Las fuerzas másicas son proporcionales a la masa del cuerpo. Estas fuerzas se deben a la existencia de un campo externo de fuerzas.

El peso de un cuerpo es la fuerza másica más común y se debe a la acción del campo gravitacional.

Para un cuerpo de masa m en la superficie terrestre, su peso es:

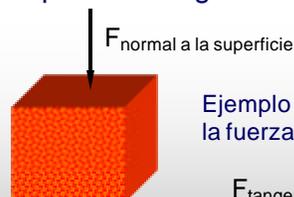


$$P = mg$$

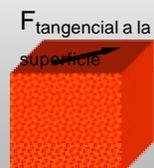
FUERZAS SUPERFICIALES

Las fuerzas superficiales actúan sobre la superficie de los cuerpos.

Elas pueden actuar perpendicular (normal) a la superficie del cuerpo o ser tangenciales a la superficie.



Ejemplo de fuerza normal a la superficie es la fuerza debida a la presión



Ejemplo de fuerza tangencial a la superficie es la fuerza debida al roce

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS DISTINTOS ESTADOS DE LA MATERIA

Los distintos estados de la materia tienen ciertos comportamientos frente a la acción de fuerzas que los caracteriza.

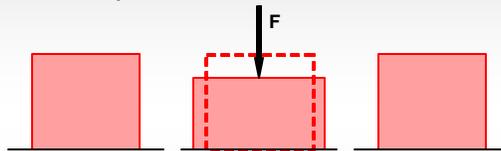
Para condiciones usuales de trabajo, podemos decir:

SÓLIDOS:

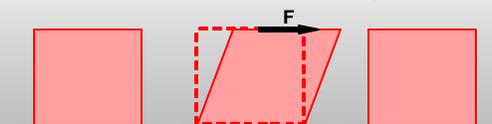
Son incompresibles, es decir no cambian su volumen.

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS DISTINTOS ESTADOS DE LA MATERIA

SÓLIDOS: Son incompresibles, es decir no cambian su volumen.

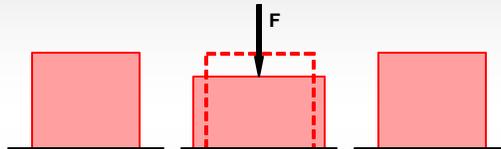


Dentro de ciertos rangos, se comportan elásticamente frente a esfuerzos normales o tangenciales. (Comportamiento elástico significa que vuelven a su condición inicial)



COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS DISTINTOS ESTADOS DE LA MATERIA

LÍQUIDOS: Son incompresibles, es decir no cambian su volumen.

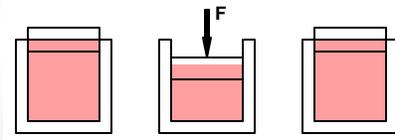


No resisten esfuerzos tangenciales sin deformarse. Se deformará continuamente mientras esté actuando una fuerza tangencial y una vez que ella deje de actuar no volverá a su condición inicial.



COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS DISTINTOS ESTADOS DE LA MATERIA

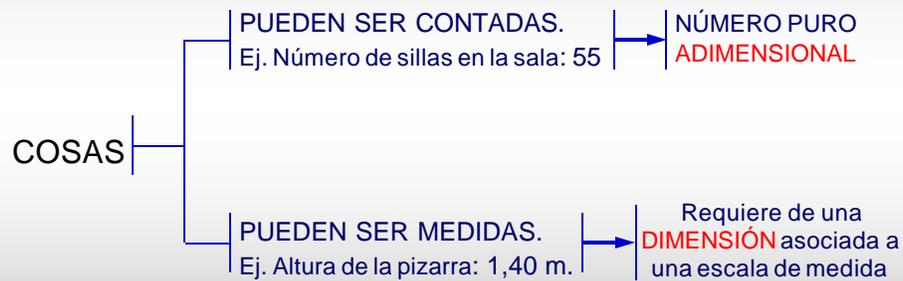
GASES: Al igual que los líquidos, al aplicárseles un esfuerzo tangencial, se deforman continuamente, hasta que la fuerza deje de actuar, sin volver a su condición inicial.



La principal característica de los gases es su compresibilidad. Bajo la acción de una fuerza normal, cambia su volumen.

Dada la gran movilidad de las moléculas, los gases ocupan completamente el recipiente que los contiene.

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES



SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

MEDICIÓN: Comparar el objeto con una escala determinada

ESCALA: Define la unidad de medición

↓
Ej. 1 metro, 1 pulgada, 1 kilómetro

↓
DIMENSIONES DE LONGITUD

Denotaremos como **L** una unidad de longitud

Medir la longitud de un cuerpo es básicamente **compararlo con** la unidad **L**

Ej. Si decimos que la distancia entre dos ciudades es 180 km, la unidad de medición es el kilómetro y 180 es el número de veces que la unidad está contenida en la distancia

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

UNIDADES FUNDAMENTALES

En Mecánica de Fluidos existen cuatro dimensiones fundamentales, a partir de las cuales se deriva el resto. Estas dimensiones son:

- Longitud, Masa, Tiempo y Temperatura : [L], [M], [T], [Θ]

o

- Longitud, Fuerza, Tiempo y Temperatura : [L], [F], [T], [Θ]

*Notación: "Dimensión de" se escribe como []
De este modo, [M] se lee "dimensión de masa".*

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

UNIDADES DERIVADAS

Resultan de la combinación de las unidades fundamentales.

Por ejemplo la velocidad está definida por: $v = \frac{dx}{dt}$ donde x es la distancia recorrida y t el tiempo que demora en recorrerla.

¿Cuál es la dimensión de la velocidad?

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

Con las dimensiones se puede operar algebraicamente como con cualquier variable física.

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$[v] = \left[\frac{x}{t} \right] = \frac{[x]}{[t]}$$

La dimensión de x es longitud, L, y la del tiempo que demora en

recorrerse esa distancia es tiempo, T, luego: $[v] = \frac{L}{T}$

$$[v] = LT^{-1}$$

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

¿Cuál es la dimensión de la aceleración?

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$[a] = \left[\frac{v}{t} \right] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{[v]}{T}$$

Ya encontramos $[v] = \frac{L}{T}$, luego $[a] = \frac{L/T}{T} = \frac{L}{T^2}$

$$[a] = LT^{-2}$$

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

¿Cuál es la dimensión de la masa, m , de un cuerpo?

Primero, debemos decidir en qué sistema de unidades queremos expresar la masa.

Si trabajamos en el sistema L,M,T, Θ : $[m] = M$

En este sistema, la dimensión de m es M , o sea es una unidad fundamental

En el sistema L,F,T, Θ , la masa es una unidad derivada.

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

En el sistema L,F,T, Θ , la masa es una unidad derivada.

De la segunda ley de Newton sabemos:

$$F = ma$$

o sea:

$$m = \frac{F}{a}$$

$$[m] = \frac{[F]}{[a]}$$

$$[m] = \frac{F}{\frac{L}{T^2}} = \frac{FT^2}{L}$$

$$[m] = FT^2L^{-1}$$

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES**RELACIÓN ENTRE PESO Y MASA**

El peso de un cuerpo (P) está ligado con la masa (m) a través de la aceleración de gravedad:

$$P = m g$$

g es la aceleración de gravedad

El peso de la unidad de masa es igual a “g” unidades de fuerza

SISTEMAS DE UNIDADES

Los sistemas de unidades que se utilizan más frecuentemente en Mecánica de Fluidos son los siguientes:

- Sistema CGS
- Sistema MKS
- Sistema Británico de Unidades
- Sistema Técnico de Unidades
- Sistema Americano de Unidades

SISTEMA CGS

En el sistema CGS las unidades fundamentales son

- centímetro (cm)
- gramo-masa (gr_m)
- segundo (s)

La unidad de fuerza es una unidad derivada ($gr_m cm/s^2$) y se denomina **dina**.

Es la fuerza necesaria para imprimir a 1 gr_m una aceleración de 1 cm/s^2 .

En este sistema: $g = 980 \text{ cm/s}^2$

El peso de 1 gr_m se denomina gramo-peso (gr) y su valor podemos calcularlo a partir de: $P = mg$

$$1 \text{ gr} = 1 \text{ gr}_m \cdot 980 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ gr}_m \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ dinas} \quad \underline{1 \text{ gr} = 980 \text{ dinas}}$$

SISTEMA MKS

En el sistema MKS las unidades fundamentales son

- metro (m)
- kilogramo-masa (kg_r)
- segundo (s)

La unidad de fuerza es una unidad derivada y se denomina **newton (N)**.
Es la fuerza necesaria para imprimir a 1 kg_r una aceleración de 1 m/s^2 .

En este sistema: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

El peso de 1 kg_r se denomina kilo-peso (kg) y su valor es:

$$1 \text{ kg} = 1 \text{ kg}_m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ kg}_m \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N} \quad \underline{1 \text{ kg} = 9,8 \text{ N}}$$

SISTEMA TÉCNICO DE UNIDADES

En el sistema técnico de unidades, las unidades fundamentales son

- metro (m)
- kilogramo-peso (kg)
- segundo (s)

En este sistema la unidad fundamental de fuerza es el kilogramo, el que se define como la fuerza con que la Tierra atrae al kilogramo-masa.

La unidad de masa es una unidad derivada y se denomina **unidad técnica de masa** (utm)

La equivalencia entre el kg_m y la utm es:

$$1 \text{ utm} = 9,8 \text{ kg}_m$$

SISTEMA BRITÁNICO DE UNIDADES

En el sistema británico de unidades, las unidades fundamentales son

- pie
- libra-masa (lb_m)
- segundo (s)

En este sistema:

$$g = 32,15 \text{ pie/s}^2$$

La unidad de fuerza es una unidad derivada y se llama **poundal** (pound)

$$1 \text{ pound} = 1 \text{ lb}_m \text{ pie/s}^2$$

Equivalencias con el sistema métrico:

- 1 pie = 0,30479 m
- 1 lb_m = 0,4536 kg_m
- 1 pound = 0,1375 N

SISTEMA (norte)AMERICANO DE UNIDADES

En el sistema americano de unidades, las unidades fundamentales son

- pie
- libra-peso (lb)
- segundo (s)

En este sistema:

$$g = 32,15 \text{ pie/s}^2$$

La unidad de masa es una unidad derivada y se llama **slug**
(1 slug es la masa que al aplicarle la fuerza de 1 lb se acelera con 1 pie/s^2)

Equivalencias con el sistema métrico: $1 \text{ lb} = 0,4536 \text{ kg}$

SISTEMAS DE UNIDADES

Es frecuente encontrar en la práctica una mezcla de sistemas de unidades o, incluso, expresar las variables en términos de otras unidades que no son las convencionales.

Por ejemplo, el caudal podemos verlo expresado como:

- m^3/s (Sistema MKS)
- cm^3/s (Sistema CGS)
- lt/min
- galones/hora

Especial cuidado debe tenerse al trabajar con el kilogramo, ya que no siempre se indica si es kilogramo-masa o kilogramo-peso.

SISTEMAS DE UNIDADES Y GENERALIDADES SOBRE TEORÍA DE DIMENSIONES

HOMOGENEIDAD DIMENSIONAL

Las relaciones que describen fenómenos físicos deben ser dimensionalmente homogéneas. Esto significa:

- No deben depender del sistema de unidades que se utilice
 Por ejemplo, la relación $F = ma$ es válida ya sea estemos trabajando en el sistema CGS, MKS o británico de unidades.

- Todos los términos de la ecuación deben tener las mismas dimensiones.

Por ejemplo, la ecuación que da la distancia recorrida por un móvil que se mueve con velocidad v es $x_f = x_i + vt$. En esta ecuación $[x_f] = [x_i] = [vt] = L$, o sea los tres términos tienen dimensión de longitud.

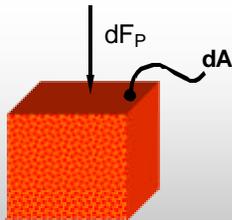
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Antes de presentar las propiedades de los fluidos conviene definir los conceptos de **presión** y **esfuerzo tangencial**.

Ya vimos que sobre las superficies de un volumen actúan las fuerzas superficiales y que éstas pueden ser perpendiculares o tangenciales a la superficie.



PRESIÓN : Es la fuerza perpendicular a la superficie, por unidad de área de la superficie.



$$p = \frac{dF_P}{dA}$$

La dimensión de la presión es fuerza por unidad de área:

$$[p] = FL^{-2}$$

PRESIÓN :

La presión se mide en forma absoluta (p_{abs}) o en forma relativa a la presión atmosférica (p_{atm}).

$$p_{rel} = p_{abs} - p_{atm}$$

Es frecuente no indicar explícitamente que se trata de presión relativa y escribir simplemente p .

La presión atmosférica es $p_{atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$

Se define la unidad de presión atmósfera estándar (atm):

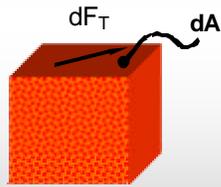
$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 2116 \text{ lb/pie}^2$$

En el sistema MKS la unidad de presión es N/m^2 y se denomina **pascal** (Pa)

$$\text{Se cumple : } 1 \text{ lb/pie}^2 = 47,88 \text{ Pa}$$

ESFUERZO TANGENCIAL: Es la fuerza tangencial a la superficie, por unidad de área de la superficie.

(Usualmente se denota con la letra griega tau : τ)



$$\tau = \frac{dF_T}{dA}$$

La dimensión del esfuerzo tangencial es fuerza por unidad de área:

$$[\tau] = FL^{-2}$$

Al esfuerzo tangencial también se le denomina **esfuerzo de corte**.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

- Propiedades de transporte
- Propiedades termodinámicas
 - Propiedades intensivas
 - Propiedades extensivas
- Otras propiedades

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Propiedades de transporte:

- Viscosidad
- Conductividad térmica
- Difusividad de masa

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Propiedades termodinámicas:

- **Propiedades intensivas: No dependen de la cantidad de la sustancia .**
 - Densidad
 - Peso específico
 - Calor específico
 - Energía interna
- **Propiedades extensivas: Dependen de la cantidad de la sustancia.**
 - Volumen
 - Peso

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Otras propiedades:

- Presión de vapor
- Tensión Superficial

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

DENSIDAD

Masa por unidad de volumen.

Usualmente se denota con la letra griega rho: ρ

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

La densidad de los líquidos es casi constante, por lo que se consideran **incompresibles** para las condiciones usuales de trabajo.

La densidad varía mucho en los gases, y es función de la presión y temperatura.

A 20°C y 1 atm :

$$\rho_{\text{hidrógeno}} = 0,0838 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{agua}} = 996,66 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{mercurio}} = 13580 \text{ kg/m}^3$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

PESO ESPECÍFICO Peso por unidad de volumen

Usualmente se denota con la letra griega gamma: γ

$$g = \frac{dP}{dV}$$

Pero sabemos que $dP = dm g$ y $dm = \rho dV$, por lo tanto $dP = \rho g dV$, o sea:

$$g = \rho g$$

A 20°C y 1 atm:

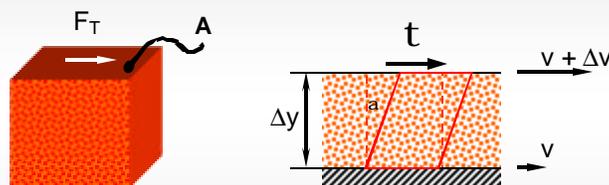
$$\gamma_{\text{aire}} = 11,8 \text{ N/m}^3 = 1,2041 \text{ kg/m}^3 = 0,0752 \text{ lb/pie}^3$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 9790 \text{ N/m}^3 = 998,98 \text{ kg/m}^3 = 62,4 \text{ lb/pie}^3$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VISCOSIDAD DINÁMICA

Al aplicar una fuerza tangencial a un volumen de fluido, éste se deforma.



Newton propuso que el esfuerzo tangencial es proporcional a la tasa de deformación angular α , la que está dada por $\frac{\alpha}{Dt} = \frac{Dv}{Dy}$

O sea, $t = \text{Const.} \frac{Dv}{Dy}$

donde Const. es la constante de proporcionalidad

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VISCOSIDAD DINÁMICA (cont.)

La constante de proporcionalidad en la ecuación $\tau = \text{Const.} \frac{dv}{dy}$ corresponde a la **viscosidad dinámica** del fluido y se denota con la letra griega μ , de tal manera que se escribe:

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

La expresión anterior es la ecuación de Newton-Navier.

Básicamente, la viscosidad dinámica es una medida de la resistencia del fluido a fluir. De la ecuación de Newton-Navier se ve que si una placa se mueve con velocidad Δv respecto a la otra, mientras más viscoso sea el fluido (mayor μ), mayor es la fuerza tangencial que hay que aplicar (mayor τ).

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VISCOSIDAD DINÁMICA (cont.)

Los fluidos que siguen la ley $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$ **fluidos newtonianos**.

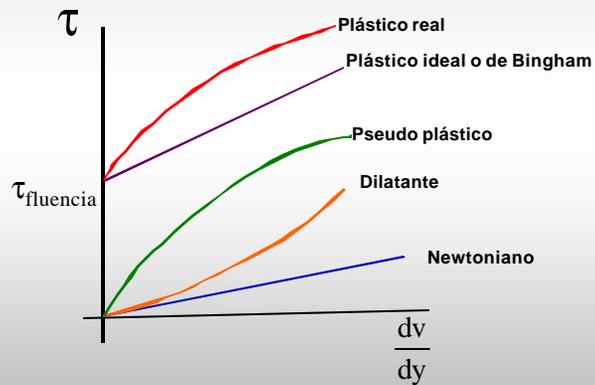
El aire y el agua son fluidos newtonianos.

Es posible encontrar en la naturaleza fluidos que no son newtonianos. Ejemplo de ellos son las mezclas de agua con material particulado muy fino, por ejemplo el barro y lodos industriales.

La relación entre tasa de deformación y esfuerzo de corte aplicado se presenta en el **diagrama reológico**

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

DIAGRAMA REOLÓGICO



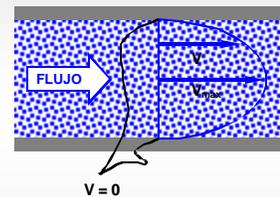
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VISCOSIDAD DINÁMICA (cont.)

Una consecuencia de la viscosidad es la **adherencia** a las paredes, reflejado en el **principio de no deslizamiento**.

Esto significa el fluido en contacto con una pared, debe tener la velocidad de la pared.

Si consideramos el flujo de agua a través de una tubería, las partículas de agua en contacto con la pared de la tubería tienen velocidad nula.



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

FLUIDOS IDEALES

Muchas veces se considera que el fluido no tiene viscosidad ($\mu = 0$). Un fluido invíscido se denomina **fluido ideal**.

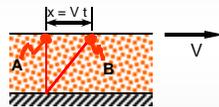
De la ecuación de Newton-Navier se ve que si $\mu = 0$, entonces $\tau = 0$. Esto significa que **un fluido ideal no transmite esfuerzo de corte**.

Si no hay viscosidad no hay adherencia. Por ejemplo, si una placa desliza sobre un fluido ideal, el fluido en contacto con la placa no se mueve con la velocidad de la placa. Del mismo modo, si un fluido ideal escurre por una tubería, el fluido en contacto con la pared de la tubería no tiene velocidad nula.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

FLUIDOS IDEALES: Si no hay viscosidad no hay adherencia.

Si una placa desliza sobre un fluido ideal, el fluido en contacto con la placa no se mueve con la velocidad de la placa.



FLUIDO NEWTONIANO: Una partícula de fluido en contacto con la placa que se mueve con velocidad V , después de un tiempo t , se ha desplazado una distancia $x = V t$.



FLUIDO IDEAL: Al no existir adherencia, una partícula de fluido en contacto con la placa que se mueve con velocidad V , no se desplaza con la placa.

Del mismo modo, si un fluido ideal escurre por una tubería, el fluido en contacto con la pared de la tubería no tiene velocidad nula.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

UNIDADES DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

Las unidades de la viscosidad dinámica podemos determinarlas a partir de la ecuación de Newton-Navier:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad \rightarrow \quad \mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}}$$

Si consideramos la fuerza como unidad fundamental:

$$[\mu] = \left[\frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \right] = \left[\frac{[\tau]}{\frac{[v]}{[L]}} \right] = \frac{\frac{[F_f]}{[A]}}{\frac{[L T^{-1}]}{[L]}} = \frac{FL^{-2}}{\frac{LT^{-1}}{L}} \quad \rightarrow \quad [\mu] = FL^{-2}T$$

Si consideramos la masa como unidad fundamental:

$$[\mu] = \left[\frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \right] = \left[\frac{[\tau]}{\frac{[v]}{[L]}} \right] = \frac{\frac{[F_f]}{[A]}}{\frac{[v]}{[L]}} = \frac{\frac{[ma]}{[A]}}{\frac{[L T^{-1}]}{[L]}} = \frac{\frac{MLT^{-2}}{L^2}}{\frac{LT^{-1}}{L}} = \frac{ML^{-1}T^{-2}}{T^{-1}} \quad \rightarrow \quad [\mu] = ML^{-1}T^{-1}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

UNIDADES DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

En el sistema CGS la unidad de la viscosidad dinámica es $gr_m cm^{-1} s^{-1}$ se denomina **poise**

$$1 \text{ poise} = 1 \text{ gr}_m \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ centipoise} = 10^{-2} \text{ poise}$$

En el sistema MKS la unidad es $kg_m m^{-1} s^{-1}$, la que no tiene un nombre especial.

En el sistema técnico, la unidad es $kgm^{-2}s$, la que no tiene un nombre especial.

Es fácil demostrar que **1 kgm⁻²s = 98 poises**

A 20°C y 1 atm:

$$\mu_{\text{aire}} = 0,018 \text{ centipoise}$$

$$\mu_{\text{agua}} = 1 \text{ centipoise}$$

$$\mu_{\text{mercurio}} = 1,5 \text{ centipoise}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Es frecuente que en las ecuaciones de la Mecánica de fluidos aparezca el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad, al que se le denomina viscosidad cinemática.

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

Las dimensiones son: $[\nu] = L^2T^{-1}$

En el sistema CGS la unidad de ν es cm^2/s y se denomina **stokes**

En el sistema técnico la unidad de ν es m^2/s y no tiene un nombre especial. La equivalencia es $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ stokes}$

A 20°C y 1 atm:

$\nu_{\text{aire}} = 0,15 \text{ stokes}$

$\nu_{\text{agua}} = 0,01 \text{ stokes}$

$\nu_{\text{mercurio}} = 0,0012 \text{ stokes}$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

PRESIÓN DE VAPOR

Es la presión a la cual un líquido pasa a estado gaseoso, para una temperatura dada. La denotamos p_v .

La presión de vapor del agua a distintas temperaturas es:

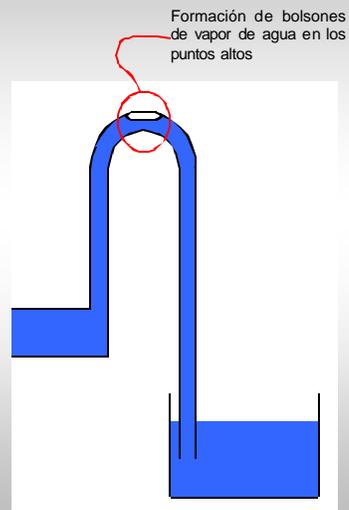
T (°C)	p_v (kg/cm ²)
0	0,0062
20	0,0238
60	0,2026
100	1,0330 (1 atm)
160	6,296

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

PRESIÓN DE VAPOR

Al final del curso veremos que la presión de vapor puede tener efectos adversos y es importante evitarla.

Uno de los efectos es que, si el flujo alcanza localmente la presión de vapor, comenzará a formarse vapor de agua, concentrándose en lugares altos de la tubería y pudiendo cortar la columna de agua.

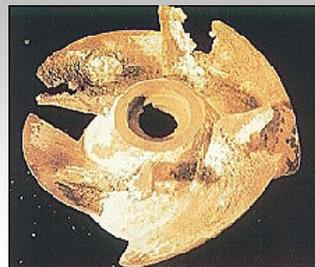


PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

CAVITACIÓN

Otro fenómeno negativo que resulta de la presión de vapor es la cavitación.

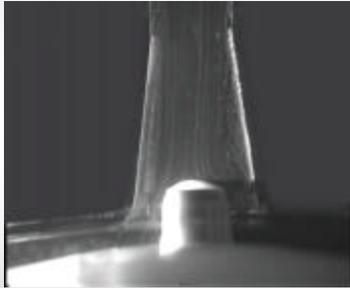
Cuando el flujo alcanza la presión de vapor, se forman microburbujas de vapor de agua, las que son arrastradas por el flujo y, una vez que alcanzan zonas de mayor presión, implosionan, pudiendo generar gran daño en los mecanismos hidráulicos y tuberías.



Generación de burbujas de vapor de agua en el extremo de los álabes. Debido a la gran velocidad, la presión disminuye y alcanza el valor de p_v .

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

CAVITACIÓN



Entrada a una tubería de burbujas de vapor de agua generadas en el rodete de la bomba



Silbido de las burbujas de vapor de agua.
El sonido depende de la frecuencia de generación de las burbujas, la que depende de la velocidad.



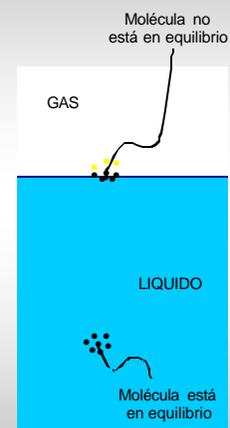
Curso de Capacitación en Mecánica de Fluidos Básica

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

TENSIÓN SUPERFICIAL

En la interfaz líquido-líquido, líquido-gas o líquido-sólido-gas, las fuerzas de atracción molecular hacen que la interfaz se comporte como una membrana tensa.

La tensión superficial se denota con la letra griega sigma : σ



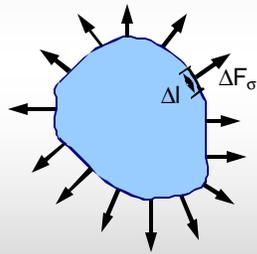


Curso de Capacitación en Mecánica de Fluidos Básica

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

TENSIÓN SUPERFICIAL

Si hacemos la analogía con una membrana tensa:



$$dF_s = \sigma dl$$

Dimensiones de σ :

$$[s] = \frac{[dF_s]}{[dl]} = \frac{F}{L} \quad \text{®} \quad [s] = FL^{-1}$$

$$\text{O: } [s] = \frac{[dF_s]}{[dl]} = \frac{MLT^{-2}}{L} \quad \text{®} \quad [s] = MT^{-2}$$

A 20°C:

$\sigma_{\text{alcohol}} = 22,3 \text{ dinas/cm}$

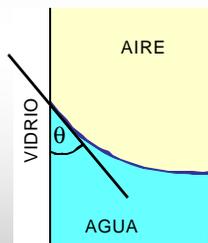
$\sigma_{\text{agua}} = 72,8 \text{ dinas/cm}$

$\sigma_{\text{mercurio}} = 465 \text{ dinas/cm}$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

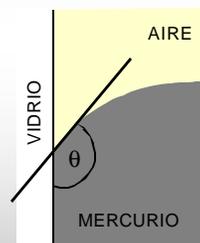
ÁNGULO DE CONTACTO

Si hay una pared sólida:



SUPERFICIE HIDROFÍLICA

El agua "moja" el vidrio



SUPERFICIE HIDROFÓBICA

El mercurio "no moja" el vidrio

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

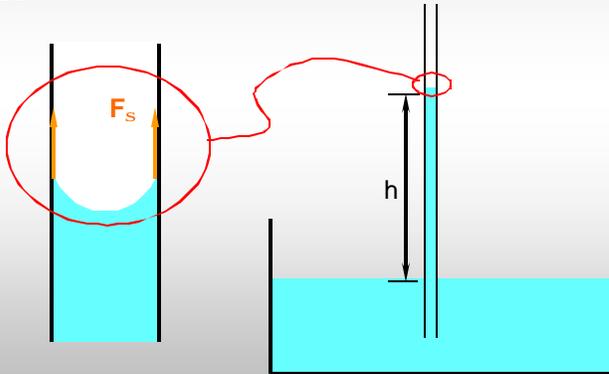
TENSIÓN SUPERFICIAL

ASCENSO CAPILAR

El peso de la columna de líquido de altura h es equilibrado por la fuerza generada por la tensión superficial en la superficie.

F_s actúa en todo el perímetro del tubo definido por la intersección con la superficie del líquido.

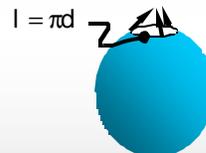
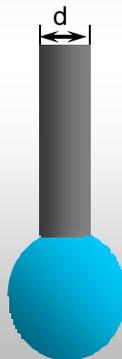
$l = \pi d$, donde d es el diámetro



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

TENSIÓN SUPERFICIAL

¿Porqué se sostiene una gota de un tubo?



La fuerza debida a la tensión superficial es tangente a la superficie del líquido y actúa en todo el perímetro πd .

Esta fuerza se equilibra con el peso del líquido (en el tubo y la gota).

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

CALOR ESPECÍFICO, c :

Cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de la unidad de masa.

En el sistema MKS: kcal/kg_m

Equivalencia mecánica del calor: 1 kcal = 422 kg_f m

En gases y vapores c depende de cómo se efectúa el cambio de estado:

a volumen constante: c_v

a presión constante: c_p

El calor específico es función de la temperatura.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

ENERGÍA INTERNA, u :

Energía molecular y cinética de la sustancia. Es una energía por unidad de masa. Depende de la temperatura..

Para gas ideal: $du = c_v dT$

Si c_v es constante $\Delta u = c_v \Delta T$ válida para cualquier proceso de cambio de estado.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

ENTALPÍA, h :

Se define: $h = u + \frac{p}{\rho}$

Gas ideal en reposo : $dh = c_p dT$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

MÓDULO DE ELASTICIDAD (o DE COMPRESIBILIDAD), E:

$$E = -\frac{dp}{dV/V}$$

$$E = \frac{dp}{dr/r}$$

En el caso de líquidos, puede considerarse que E es constante.

Para el agua: $E = 22000 \text{ kg/cm}^2$

Para gases, E es variable y depende del proceso.

Gas ideal en proceso isotérmico: $E = p$

Gas ideal en proceso adiabático: $E = kp$,
donde $k=c_p/c_v$ y p es la presión absoluta

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

VELOCIDAD DEL SONIDO, a :

$$a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Para gases, considerando un proceso de compresión adiabático:

$$a = \sqrt{k \frac{p}{\rho}}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

ECUACIÓN DE ESTADO DE LOS GASES

GASES IDEALES

$$pV = R_0 T$$

$$R_0 = 0,08207 \text{ lt atm}/(\text{mol } ^\circ\text{K})$$

CAMBIOS DE ESTADO

Proceso isotérmico: $pV = \text{Const.}$ o $\frac{p}{\rho} = \text{Const.}$

Proceso isobárico: $\rho T = \text{Const.}$ o $\frac{p}{V} = \text{Const.}$

Proceso adiabático: $\frac{p}{\rho^k} = \text{Const.}$