

Clase No.2: Propiedades de los fluidos

Historia de los fluidos, sistemas de unidades y cifras significativas

Luis Alejandro Morales
<https://lamhydro.github.io>

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

August 11, 2022



Table of Contents

1 Introducción

2 Historia de la mecánica de fluidos

3 Sistemas de unidades

Introducción

Que es la mecánica de fluidos

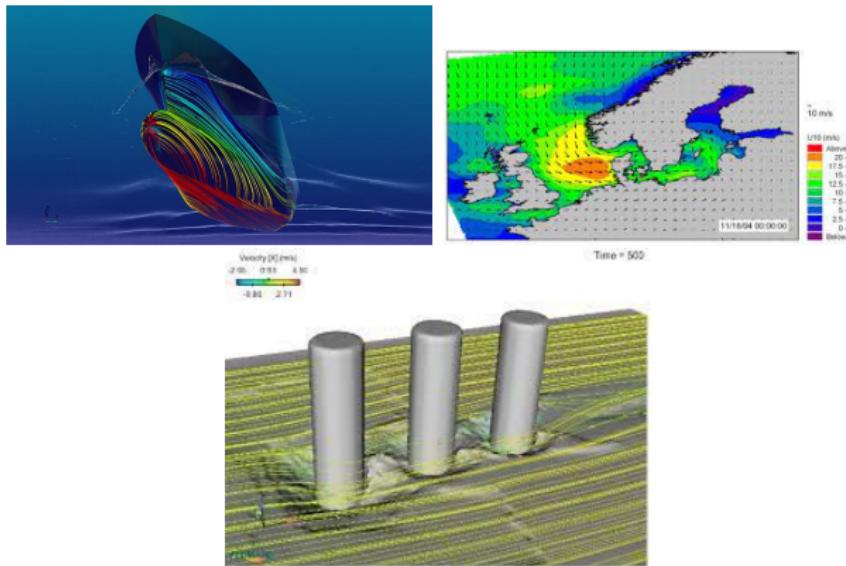
La mecánica de fluidos es la ciencia que hace parte de la mecánica clásica la cual estudia los fluidos estáticos o en movimiento y su interacción con otros objetos o fluidos.



Ramas de la mecánica de fluidos

Hidrodinámica

Estudia fluidos en movimiento que pueden ser considerados incompresibles
e.g. agua y gases a bajas velocidades.



Ramas de la mecánica de fluidos

Hidráulica

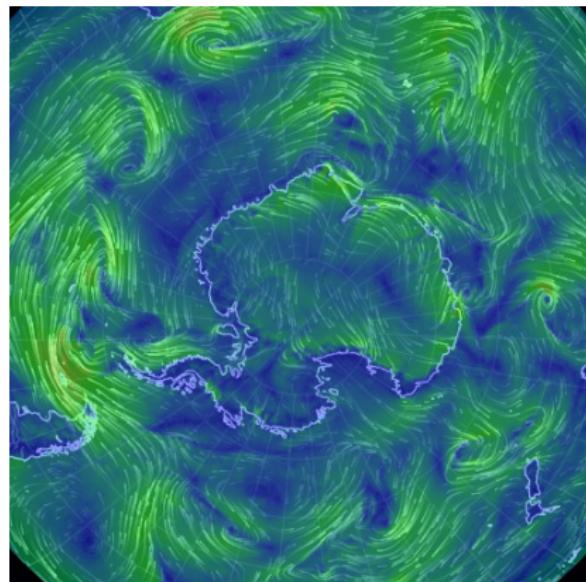
Estudia el movimiento de líquidos en tuberías y canales abiertos (e.g. Ríos).



Ramas de la mecánica de fluidos

Dinámica de gases

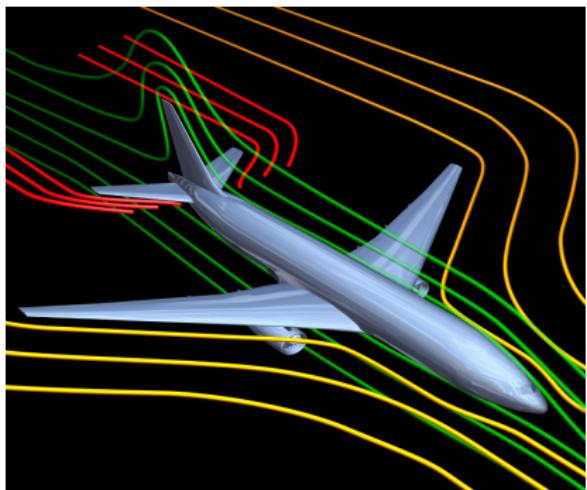
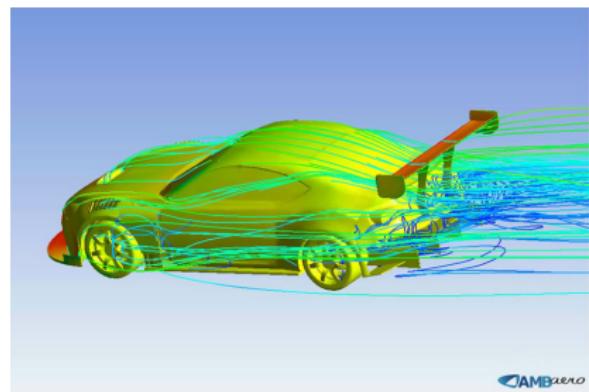
Estudia el flujo de fluidos sometidos a cambios importantes de la densidad, e.g. flujo de gases a alta velocidad.



Ramas de la mecánica de fluidos

Aerodinámica

Estudio del movimiento de gases, principalmente aire, alrededor de objetos e.g. cabina de un avión, cohetes y automóviles.



Estado de los fluidos

De la física, los fluidos existen en tres diferentes estados:

- Solido
- Liquido
- Gas
- Plasma (fluido a altas temperaturas)

Liquido vs solido

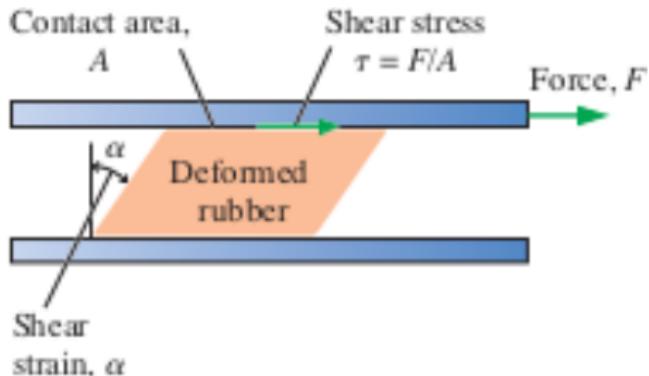
La diferencia entre un liquido y un solido es en la habilidad de resistir esfuerzos que tienden a cambiar su forma. Por lo tanto, mientras un solido es capaz de resistir esfuerzos cuando se deforma, **un fluido se deforma continuamente y sin parar cuando se aplica un esfuerzo** sin importar su magnitud.



¿Que es un fluido?

▶ Link

Deformaciones en un fluido

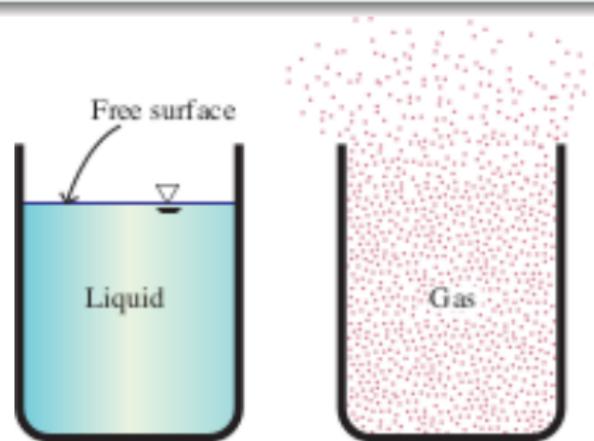


- F : Fuerza paralela a la base
- α : **resistencia al esfuerzo o desplazamiento angular.** $\alpha \propto F$
- $F_f = \tau A$. Fuerza de fricción, donde τ es el esfuerzo cortante y A es el área de contacto

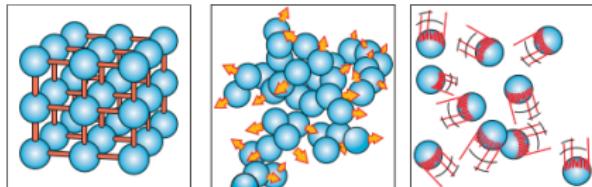
Si en lugar de la goma tuviéramos un líquido, las capas más cercanas a la placa superior se moverían continuamente, sin importar la magnitud de la fuerza, y la velocidad decrecería con la profundidad.

Líquidos vs gases

Líquidos y gases (o vapores) se diferencian en que al tener un líquido en un contenedor, el volumen del líquido permanece constante formando una superficie libre porque la fuerza de cohesión entre las moléculas es alta y las moléculas están cerca. En contraste, en un gas las moléculas se mueven aleatoriamente y están más alejadas y tienden a ocupar todo el volumen del contenedor debido a la débil fuerza cohesiva de sus moléculas. Fluidos como el asfalto o lodos se comportan como sólidos y líquidos dependiente de la magnitud de los esfuerzos aplicados.



Fluido como un continuo



- El diámetro de las moléculas es pequeño comparado con el espaciamiento entre ellas
- Las moléculas se mueven libremente
- A nivel microscópico, la densidad cambia constantemente. Estos cambios son despreciables para volúmenes relativamente grandes
- Sin embargo, la densidad *rho* cambia suavemente con el espacio y con el tiempo en aplicaciones reales: a esto se le llama *continuo*. Lo contrario sería un análisis molecular
- Calculo diferencial es utilizado para analizar estas substancias

Historia de la mecánica de fluidos

Historia de la mecánica de fluidos

- Uno de los grandes problemas de la humanidad ha sido el suministro de agua para uso doméstico e irrigación.
- Las sociedades prehistóricas que perduraron fueron también aquellas que invirtieron en la construcción de sistemas de distribución de agua.

Prehistoria

Los acueductos del Imperio Romano (312 B.C.)



45 km de tubería en arcilla que transportaban agua a presión >1.5 Mpa (180 m cabeza de agua) ciudad Helenica de Pergamo, Turkey (283-133 B.C.)

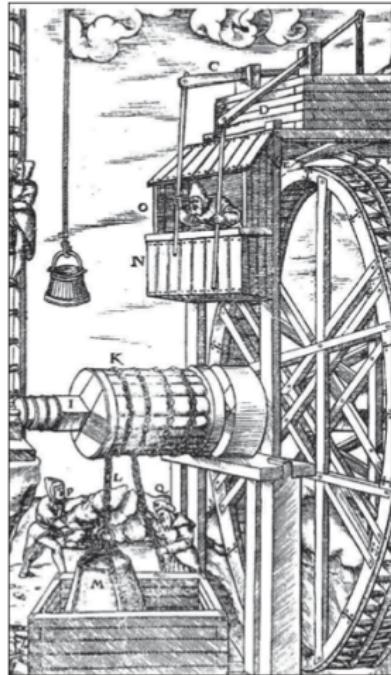


Arquímedes

El matemático Griego Arquímedes (285-212 B.C.) formuló y aplicó el principio de flotación para saber la cantidad de oro en la corona del Rey Hieron de Siracusa.

Edad media

Bombas de pistón fueron construidas para extraer el agua de las minas



Molinos de agua y de viento fueron desarrollados para moler granos y trabajar el hierro reemplazando la fuerza humana. Dio luego origen a la Revolución Industrial.



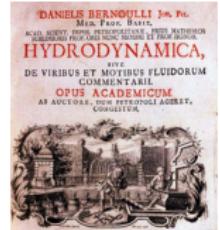
Renacimiento

- Importantes avances en la mecánica de fluidos gracias al desarrollo del Método Científico
- Simon Stevin (1548–1617), Galileo Galilei (1564–1642), Edme Mariotte (1620–1684), y Evangelista Torricelli (1608–1647) fueron los primero en aplicar el método al estudio de los fluidos para entender la distribución de presiones hidroestática. El matemático y filosofo Blaise Pascal (1623–1662) mejoró e integró estos trabajos sobre hidroestática.
- Benedetto Castelli (1577–1644) fue el primero en publicar el principio de continuidad en fluidos.
- Sir Isaac Newton (1643–1727) aplicó las leyes de la mecánica a fluidos para explorar la inercia, la resistencia y la viscosidad en fluidos.



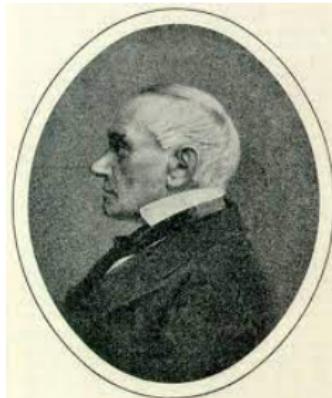
Renacimiento

- *Daniel Bernoulli (1700–1782)* y *Leonard Euler (1707–1783)*, basados en los desarrollos de Newton, definieron las ecuaciones de conservación de la energía y de momentum.
- *Hydrodynamica*, escrito por Bernoulli en 1738, es considerado el primer libro de mecánica de fluidos.
- Jean d'Alembert (1717–1789) desarrollo una expresión diferencial de la continuidad basado en la idea de las componentes de la velocidad y la aceleración.
- Debido a la dificultad de cuantificar propiedades de los fluidos, poco impacto tuvieron estos desarrollos en la ingeniería.



Siglo XIX (Europa)

- Se introduce Cálculo en el pensum de las escuelas de ingeniería y esto genera grandes desarrollos durante este siglo:
- *Jean Poiseuille (1799–1869)* midió flujo en flujos capilares para diferentes fluidos
- En Alemania, *Gotthilf Hagen (1797–1884)* hizo experimentos para diferenciar flujo laminar y flujo turbulento en tuberías.



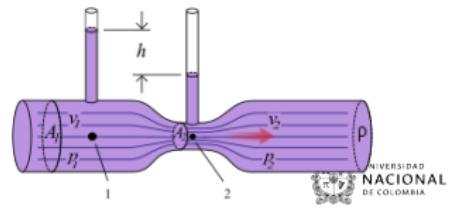
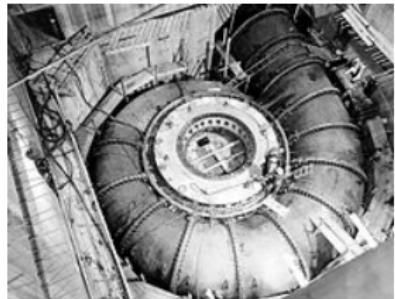
Siglo XIX (Europa)

- En Inglaterra, *Lord Osborne Reynolds* (1842–1912) continuo el trabajo de Hagen y desarrollo el numero adimensional que lleva su nombre.
- En paralelo, *Louis Navier* (1785–1836) y *George Stokes* (1819–1903) establecieron las ecuaciones del movimiento de los fluidos. Este ultimo incluyo la fricción.
- *William Froude* (1810–1879) demostró la importancia de la modelación física.



Finales del XIX (Estados Unidos)

- James Francis (1815–1892) y Lester Pelton (1829–1908), aplicando la teoría hasta ahora desarrollada, construyeron y comercializaron turbinas.
- Clemens Herschel (1842–1930) inventó el *tubo Venturi* para medir caudales de flujo.



Finales del XIX (Inglaterra)

William Thomson, Lord Kelvin (1824–1907), William Strutt, Lord Rayleigh (1842–1919), and Sir Horace Lamb (1849–1934) fueron pioneros en investigar: análisis dimensional, flujo irrotacional, vórtices, cavitación y olas. Exploraron las relaciones entre la mecánica de fluidos, la termodinámica y la transferencia de calor.

Primera mitad del siglo XX

Los autodidactas *hermanos Wright* (1903) inventaron el avión usando conceptos de la mecánica de fluidos y haciendo experimentos.



- El alemán *Ludwig Prandtl* (1875–1953), demostró que los fluidos pueden dividirse en dos partes: una capa delgada cerca a la pared en donde la fricción es importante llamada capa límite, y otra capa en donde la fricción es despreciable y las ecuaciones simplificadas de Euler y Bernoulli pueden aplicarse.
- Con base en las teorías de Prandtl, *Theodor von Kármán* (1881–1963), *Paul Blasius* (1883–1970), *Johann Nikuradse* (1894–1979) y otros avanzaron en aplicaciones de la hidráulica y la aerodinámica.

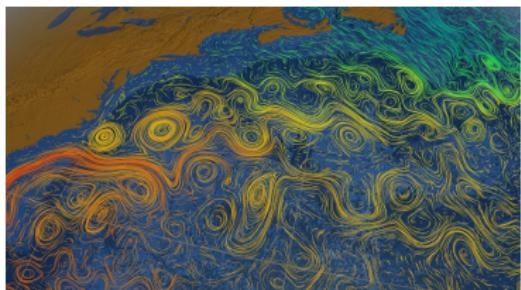
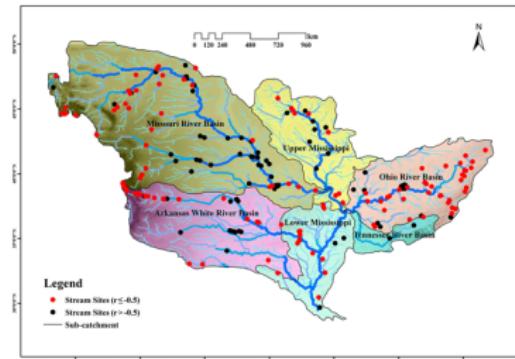
Segunda mitad del siglo XX

- Los años dorados de las aplicaciones de la mecánica de fluidos: grandes desarrollos en sectores de la aeronáutica, la industria química y los recursos hidráulicos.
- Importantes investigaciones avanzaron con el invento del computador digital. Gracias a esto, fue posible trabajar en problemas complejos como la circulación global de la atmósfera y de los océanos, y la optimización en el diseño de turbinas.



En la actualidad

- Modelos de predicción hidrológica y calidad de agua
- Modelos de circulación global y oceánica a alta resolución
- Optimización en el diseño de estructuras y sistemas de regadío y distribución



Sistemas de unidades

Unidades primarias

| Primary dimension | SI unit | BG unit | Conversion factor |
|-------------------|---------------|--------------|---------------------|
| Mass {M} | Kilogram (kg) | Slug | 1 slug = 14.5939 kg |
| Length {L} | Meter (m) | Foot (ft) | 1 ft = 0.3048 m |
| Time {T} | Second (s) | Second (s) | 1 s = 1 s |
| Temperature {Θ} | Kelvin (K) | Rankine (°R) | 1 K = 1.8°R |

Unidades secundarias

| Secondary dimension | SI unit | BG unit | Conversion factor |
|--|---------------------|-----------------------------|--|
| Area $\{L^2\}$ | m^2 | ft^2 | $1 \text{ m}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$ |
| Volume $\{L^3\}$ | m^3 | ft^3 | $1 \text{ m}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ |
| Velocity $\{LT^{-1}\}$ | m/s | ft/s | $1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$ |
| Acceleration $\{LT^{-2}\}$ | m/s^2 | ft/s^2 | $1 \text{ ft/s}^2 = 0.3048 \text{ m/s}^2$ |
| Pressure or stress $\{ML^{-1}T^{-2}\}$ | $Pa = N/m^2$ | lbf/ft^2 | $1 \text{ lbf/ft}^2 = 47.88 \text{ Pa}$ |
| Angular velocity $\{T^{-1}\}$ | s^{-1} | s^{-1} | $1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ s}^{-1}$ |
| Energy, heat, work $\{ML^2T^{-2}\}$ | $J = N \cdot m$ | $ft \cdot lbf$ | $1 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 1.3558 \text{ J}$ |
| Power $\{ML^2T^{-3}\}$ | $W = J/s$ | $ft \cdot lbf/s$ | $1 \text{ ft} \cdot \text{lbf/s} = 1.3558 \text{ W}$ |
| Density $\{ML^{-3}\}$ | kg/m^3 | $slugs/ft^3$ | $1 \text{ slug/ft}^3 = 515.4 \text{ kg/m}^3$ |
| Viscosity $\{ML^{-1}T^{-1}\}$ | $kg/(m \cdot s)$ | $slugs/(ft \cdot s)$ | $1 \text{ slug/(ft} \cdot \text{s)} = 47.88 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ |
| Specific heat $\{L^2T^{-2}\Theta^{-1}\}$ | $m^2/(s^2 \cdot K)$ | $ft^2/(s^2 \cdot ^\circ R)$ | $1 \text{ m}^2/(s^2 \cdot K) = 5.980 \text{ ft}^2/(s^2 \cdot ^\circ R)$ |