

Mecánica de Fluidos

Vicente Dolz
Sergio Hoyas
Benjamín Pla
Pablo Fajardo

APUNTES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



MECÁNICA DE FLUIDOS

(Grado en Ingeniería Aeroespacial)

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

© Vicente Dolz
Sergio Hoyas
Benjamín Pla
Pablo Fajardo

© 2012, Editorial Universitat Politècnica de València
Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0335_06_01_10

Las imágenes de este documento han sido publicadas bajo licencia "*Creative Commons*".



Imprime: Byrint Percom sl.

Impreso bajo demanda

Impreso en papel Creator Silk



Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Impreso en España

Unidad Temática 1

Ecuaciones del Movimiento

Tema 1.1. Introducción a la Mecánica de Fluidos

MECÁNICA DE FLUIDOS

1

ÍNDICE

- Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- El fluido como medio continuo
- Descripción euleriana y lagrangiana
- Densidad y peso específico
- Viscosidad
 - Condición de no deslizamiento
 - Flujo viscoso: laminar - turbulento
- Tensión superficial
- Ley de los gases ideales
- Velocidad del sonido
- Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

2

Estados de la Materia

Sólido	Líquido	Gas	Plasma...
Cohesión alta	Cohesión pequeña	Cohesión casi nula	
Forma definida	Sin forma definida (forma del envase)	Sin forma definida (forma del envase)	
Volumen definido	Volumen definido	Sin volumen definido	
Incompresible	Incompresible	Compresible	
No fluye	Fluye	Fluye	

Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido
- Descripción euleriana y lagrangiana
- El fluido como medio continuo
- Densidad y peso específico

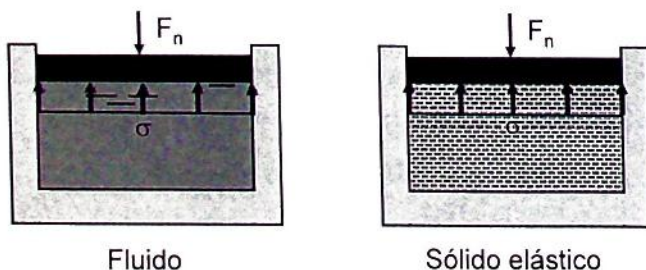
Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento
- Tensión superficial
- Ley de los gases ideales
- Velocidad del sonido
- Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

3

Esfuerzos *Normales*



Se comportan de manera similar ante esfuerzos normales en situación de equilibrio

Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido
- Descripción euleriana y lagrangiana
- El fluido como medio continuo
- Densidad y peso específico

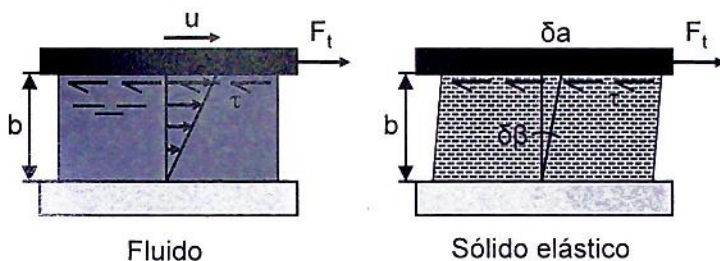
Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento
- Tensión superficial
- Ley de los gases ideales
- Velocidad del sonido
- Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

4

Esfuerzos *Tangenciales*



Se comportan de manera distinta ante esfuerzos tangenciales

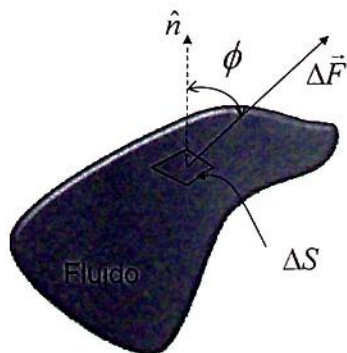
El sólido elástico se comporta de manera similar ante esfuerzos normales y tangenciales.

El fluido mantiene un desplazamiento continuo mientras esté sometido al esfuerzo tangencial. Retornara a un equilibrio estático cuando desaparece el esfuerzo.

<ul style="list-style-type: none"> > Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido > Descripción euleriana y lagrangiana > El fluido como medio continuo > Densidad y peso específico 	<ul style="list-style-type: none"> > Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento > Tensión superficial > Ley de los gases ideales > Velocidad del sonido > Conceptos básicos 	<p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>5</p>
--	---	-------------------------------------

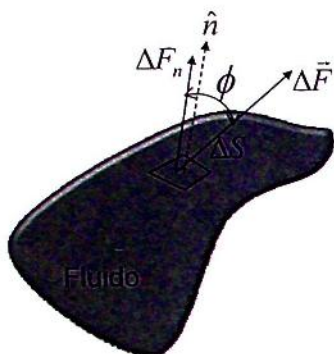
Esfuerzo en un fluido

Consideremos una región de FLUIDO EN MOVIMIENTO



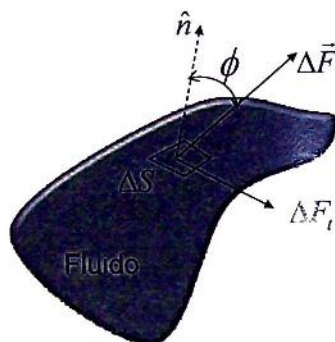
- ΔS Superficie ficticia del fluido totalmente porosa
- \hat{n} Vector normal a ΔS y unitario

<ul style="list-style-type: none"> > Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido > Descripción euleriana y lagrangiana > El fluido como medio continuo > Densidad y peso específico 	<ul style="list-style-type: none"> > Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento > Tensión superficial > Ley de los gases ideales > Velocidad del sonido > Conceptos básicos 	<p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>6</p>
--	---	-------------------------------------



Dirección normal

$$\Delta F_n = |\Delta \vec{F}| \cos \phi$$



Dirección tangencial

$$\Delta F_t = |\Delta \vec{F}| \operatorname{sen} \phi$$

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

Esfuerzo *normal*:

$$\sigma = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta S} = \frac{dF_n}{dS}$$

Esfuerzo *tangencial* o *cortante*:

$$\tau = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta S} = \frac{dF_t}{dS}$$

En mecánica de fluidos el esfuerzo normal es normalmente de naturaleza compresiva y se denomina **presión**:

$$P = -\sigma$$

Unidades de esfuerzo/presión: N/m² o Pa o bar; 1 bar=10⁵ Pa

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

- *Sustancia que cuando se encuentra en reposo no puede mantener un esfuerzo cortante.*
- *El esfuerzo cortante solo se puede mantener cuando la sustancia esta en movimiento.*
- *Un sólido siempre puede mantener un esfuerzo cortante estando en reposo.*

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido ➤ Descripción euleriana y lagrangiana ➤ El fluido como medio continuo ➤ Densidad y peso específico 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento ➤ Tensión superficial ➤ Ley de los gases ideales ➤ Velocidad del sonido ➤ Conceptos básicos 	<p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>9</p>
--	--	-------------------------------------

- Descripción *euleriana*: En el método euleriano, se calcula el campo de una variable (ejem. Presiones $p(x,y,z,t)$). Trata del campo del flujo y es el más apropiado en problemas de Mecánica de Fluidos.



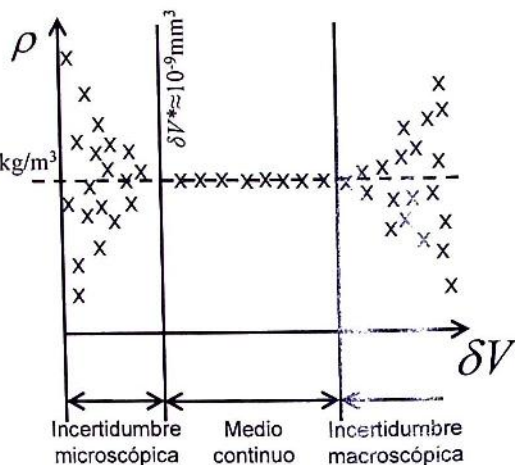
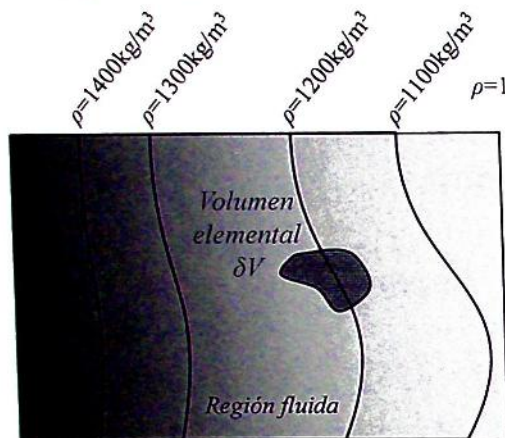
- Descripción *lagrangiana*: En el método lagrangiano, se calcula los cambios de una variable que experimenta una partícula al moverse (ejem. Presiones $p(t)$). Este método es más apropiado para Mecánica de Sólidos.



<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido ➤ Descripción euleriana y lagrangiana ➤ El fluido como medio continuo ➤ Densidad y peso específico 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento ➤ Tensión superficial ➤ Ley de los gases ideales ➤ Velocidad del sonido ➤ Conceptos básicos 	<p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>10</p>
--	--	--------------------------------------

Densidad:

$$\rho = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{m}{V} = \frac{dm}{dV} \quad \text{fuera de la escala molecular (incertidumbre microscópica)}$$



- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

Ejemplos:

En la ionosfera (100.000 metros de altura) la distancia media entre moléculas es de 0.3 metros.

En las ondas de choque, las variaciones de determinadas variables son a escala molecular, en este caso, el modelo continuo no es aplicable.

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

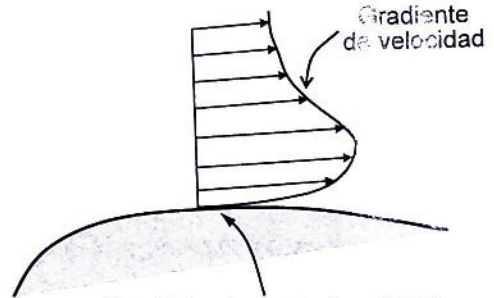
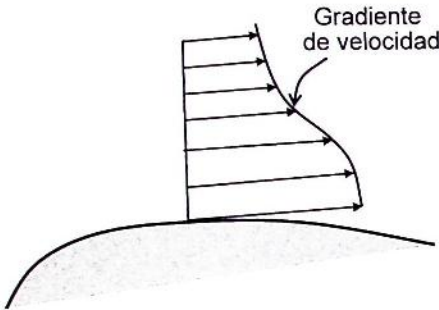
MECÁNICA DE FLUIDOS

Consideremos fluido, fluyendo sobre una superficie estacionaria.

Fluido *perfecto*
(no viscoso)



Fluido *real*
(viscoso)



Condición de no deslizamiento

➤ Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

- Descripción euleriana y lagrangiana
- El fluido como medio continuo
- Densidad y peso específico

➤ Viscosidad

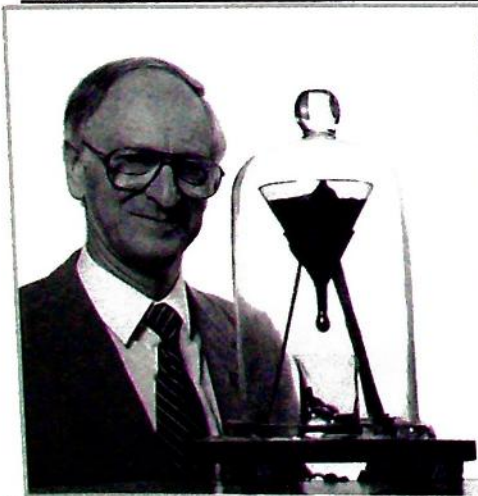
- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

- Tensión superficial
- Ley de los gases ideales
- Velocidad del sonido
- Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

15

Viscosidad

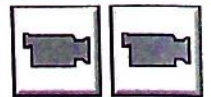


Pitch Drop Experiment

Date	Event	Duration (Months)
1927	Experiment set up	
1930	The stem was cut	
December 1938	1st drop fell	96-107
February 1947	2nd drop fell	99
April 1954	3rd drop fell	86
May 1962	4th drop fell	97
August 1970	5th drop fell	99
April 1979	6th drop fell	104
July 1988	7th drop fell	111
28 November 2000	8th drop fell	148

Pitch Drop Experiment (University of Queensland), John Mainstone (fotografía tomada en 1990), 2 años después de la 7ª gota

(*) Fotografía cortesía de la Universidad de Queensland publicada con licencia Creative Commons



➤ Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

- Descripción euleriana y lagrangiana
- El fluido como medio continuo
- Densidad y peso específico

➤ Viscosidad

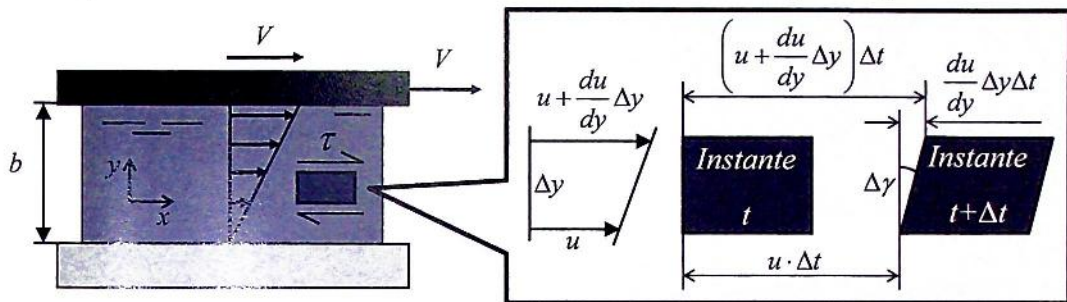
- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

- Tensión superficial
- Ley de los gases ideales
- Velocidad del sonido
- Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

16

Una placa infinita se mueve a velocidad V relativa a una placa fija:



Calculando el grado angular de deslizamiento: $\Delta\gamma = \frac{du}{dy} \Delta t$

Tomando límites cuando $\Delta t \rightarrow 0$: $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\gamma}{\Delta t} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{du}{dy}$

La **distorsión angular** por unidad de tiempo es igual al gradiente de velocidad

> Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

> Descripción euleriana y lagrangiana

> El fluido como medio continuo

> Densidad y peso específico

> Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

> Tensión superficial

> Ley de los gases ideales

> Velocidad del sonido

> Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

17

En un **fluido newtoniano** el gradiente de distorsión angular es proporcional al esfuerzo cortante:

$$\tau \propto \frac{du}{dy} = \frac{d\gamma}{dt}$$

El coeficiente de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la distorsión angular, se denomina **coeficiente de viscosidad absoluta**, en el unidades del SI se mide en $\text{kg}/(\text{ms})$:

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

Es usual utilizar el **coeficiente de viscosidad cinemática**, en el unidades del SI se mide en m^2/s , y se define como:

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

> Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

> Descripción euleriana y lagrangiana

> El fluido como medio continuo

> Densidad y peso específico

> Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

> Tensión superficial

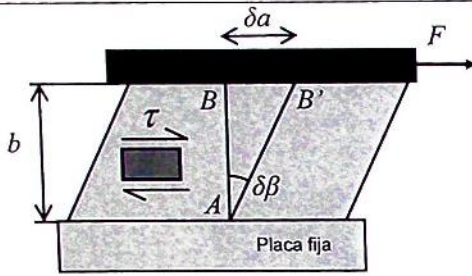
> Ley de los gases ideales

> Velocidad del sonido

> Conceptos básicos

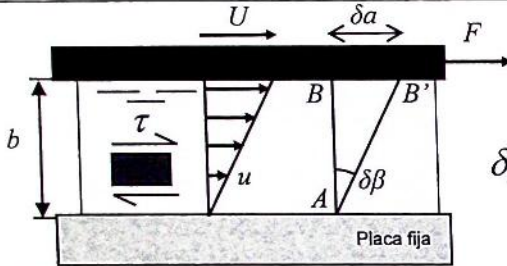
MECÁNICA DE FLUIDOS

18



Sólido elástico

$$\tau \propto \delta\beta \approx \frac{\delta a}{b}$$



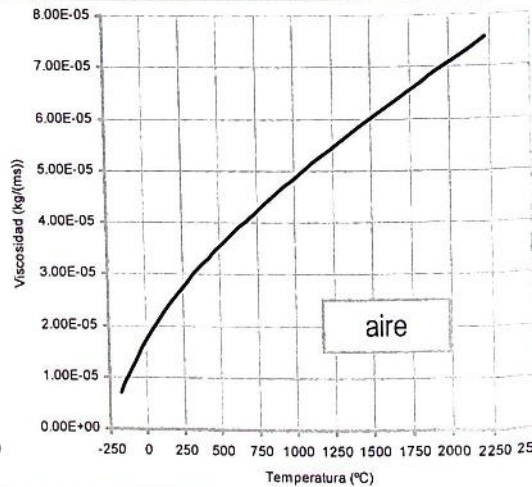
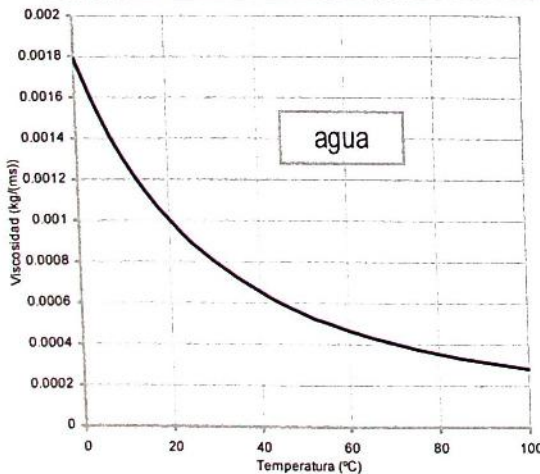
Fluido newtoniano

$$\delta\beta \approx \frac{U \cdot \delta t}{b} \rightarrow \tau \propto \frac{du}{dy} \rightarrow \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS



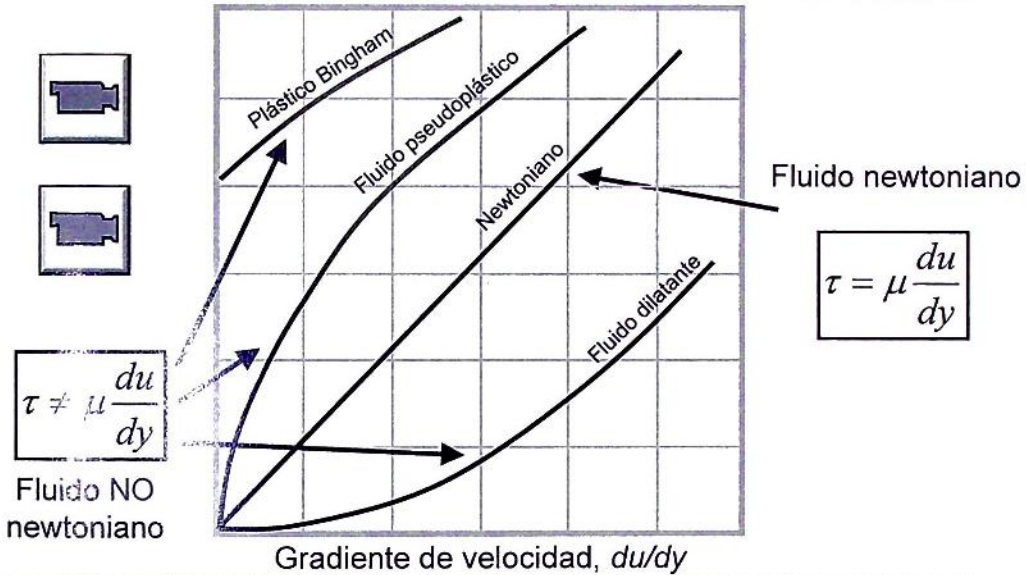
Agua a 30°C $7,98 \cdot 10^{-4} \text{ kg/(m·s)}$

Aire a 30°C $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m·s)}$

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS



- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

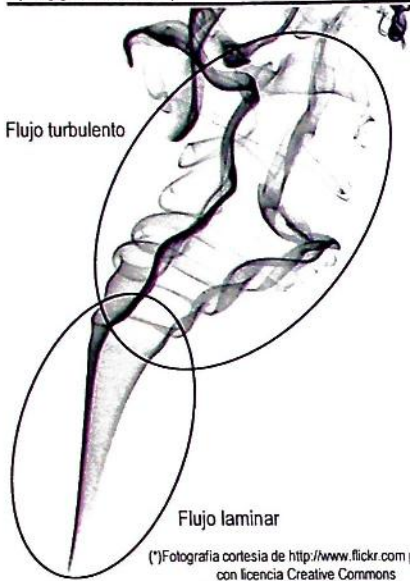
MECÁNICA DE FLUIDOS

Tipo de fluido NO NEWTONIANO	Comportamiento	Características	Ejemplos
Plásticos	Plástico perfecto	La aplicación de una deformación no conlleva un esfuerzo de resistencia en sentido contrario.	Metales dúctiles una vez superado el límite elástico.
	Plástico de Bingham	Relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de deformación una vez se ha superado un determinado valor del esfuerzo cortante.	
	Límite pseudoplástico	Fluidos que se comportan como pseudoplásticos a partir de un determinado valor del esfuerzo cortante.	Barro, algunos coloides.
Fluidos que siguen la Ley de la Potencia	Límite dilatante	Fluidos que se comportan como dilatantes a partir de un determinado valor del esfuerzo cortante.	
	Pseudoplástico	La viscosidad aparente se reduce con el gradiente del esfuerzo cortante.	Algunos coloides, arcilla, leche, gelatina, sangre.
Fluidos Viscoelásticos	Dilatante	La viscosidad aparente se incrementa con el gradiente del esfuerzo cortante.	Soluciones concentradas de azúcar en agua, suspensiones de almidón de maíz o de arroz.
	Material de Maxwell	Combinación lineal "serie" de efectos elásticos y viscosos.	Metales, Materiales compuestos.
	Fluido Oldroyd-B	Combinación lineal de comportamiento como fluido Newtoniano y como material de Maxwell.	
Fluidos cuya viscosidad depende del tiempo	Material de Kelvin	Combinación lineal "paralela" de efectos elásticos y viscosos.	Betún, masa panadera, nailon, plastilina.
	Plástico	Estos materiales siempre vuelven a un estado de reposo predefinido.	
	Reopéctico	La viscosidad aparente se incrementa con la duración del esfuerzo aplicado.	Algunos lubricantes.
	Tixotrópico	La viscosidad aparente decrece con la duración de esfuerzo aplicado.	Algunas variedades de mieles, ketchup, algunas pinturas antigoteo.

- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS



El *número de Reynolds* es un número adimensional que se define como:

$$Re = \frac{\rho u l}{\mu}$$



El fluido que se encuentra a la salida del penacho de humo, debido a su baja velocidad presenta un flujo laminar (Reynolds laminar), donde las fuerzas viscosas son más importantes que las de inercia. Cuando este fluido se acelera y aumenta su velocidad evoluciona a un flujo turbulento (Reynolds turbulento), donde las fuerzas viscosas son menos importantes que las de inercia.

(*)Fotografía cortesía de <http://www.flickr.com> publicada con licencia Creative Commons

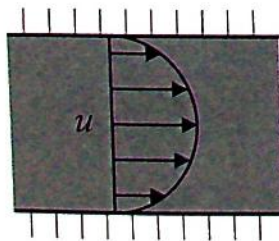
- | | | |
|--|---|--------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> > Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido > Descripción euleriana y lagrangiana > El fluido como medio continuo > Densidad y peso específico | <ul style="list-style-type: none"> > Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento > Tensión superficial > Ley de los gases ideales > Velocidad del sonido > Conceptos básicos | <p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>23</p> |
|--|---|--------------------------------------|

FLUJO VISCOSO: LAMINAR - TURBULENTO

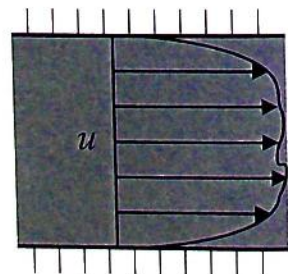
Flujo laminar
 $Re < 2000$

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

Flujo turbulento
 $Re > 4000$

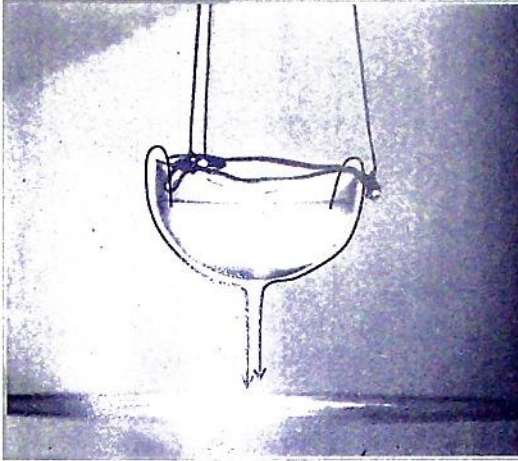


Pared fija



Pared fija

- | | | |
|--|---|--------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> > Concepto de fluido <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Que es un fluido? ▪ Esfuerzo en un fluido ▪ Definición técnica de un fluido > Descripción euleriana y lagrangiana > El fluido como medio continuo > Densidad y peso específico | <ul style="list-style-type: none"> > Viscosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cond. de no deslizamiento ▪ Flujo visc.: laminar - turbulento > Tensión superficial > Ley de los gases ideales > Velocidad del sonido > Conceptos básicos | <p>MECÁNICA DE FLUIDOS</p> <p>24</p> |
|--|---|--------------------------------------|



El *superfluido* (también llamado *Condensado de Bose-Einstein*) es un estado de la materia caracterizado por la ausencia total de viscosidad, de manera que, en un circuito cerrado, fluiría interminablemente sin fricción. Fue descubierta en 1937 por Pyotr Leonidovich Kapitsa, John F. Allen y Don Misener, y a su estudio se lo llama hidrodinámica cuántica. Es un fenómeno físico que tiene lugar a muy bajas temperaturas, cerca del cero absoluto, límite en el que cesa toda actividad. Un inconveniente es que casi todos los elementos se congelan a esas temperaturas. Pero hay una excepción: el helio. Una característica del superfluido es que pueden atravesar cualquier objeto sólido o cualquier superficie no porosa, debido a su fuerte capacidad de oscilación, característica que demuestra los argumentos de Física Cuántica de Albert Einstein.

El Helio # "fluye" a lo largo de las superficies con el fin de encontrar su propio nivel - después de un corto periodo de tiempo, los niveles en los dos contenedores se igualan.

➤ **Concepto de fluido**

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

➤ Descripción euleriana y lagrangiana

➤ El fluido como medio continuo

➤ Densidad y peso específico

➤ **Viscosidad**

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

➤ **Tensión superficial**

➤ Ley de los gases ideales

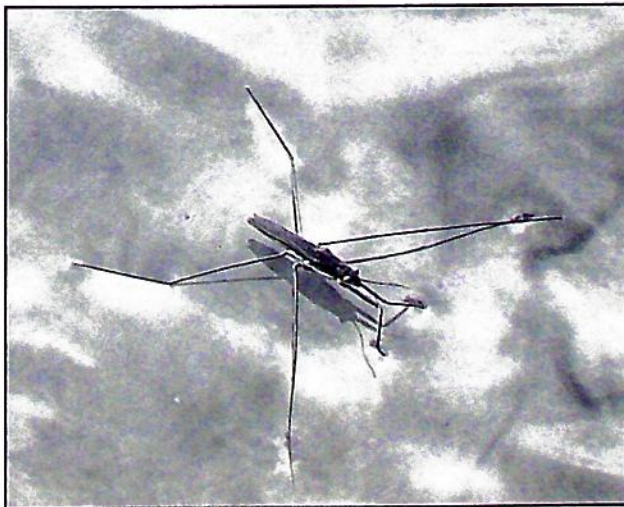
➤ Velocidad del sonido

➤ Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

25

Gerris Lacustris (zapatero de agua). Las patas poseen una almohadilla apical formada por pelos hidrorrepelentes, que consiguen formar una pequeña superficie sobre la que se sustentan.



➤ **Concepto de fluido**

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

➤ Descripción euleriana y lagrangiana

➤ El fluido como medio continuo

➤ Densidad y peso específico

➤ **Viscosidad**

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

➤ **Tensión superficial**

➤ Ley de los gases ideales

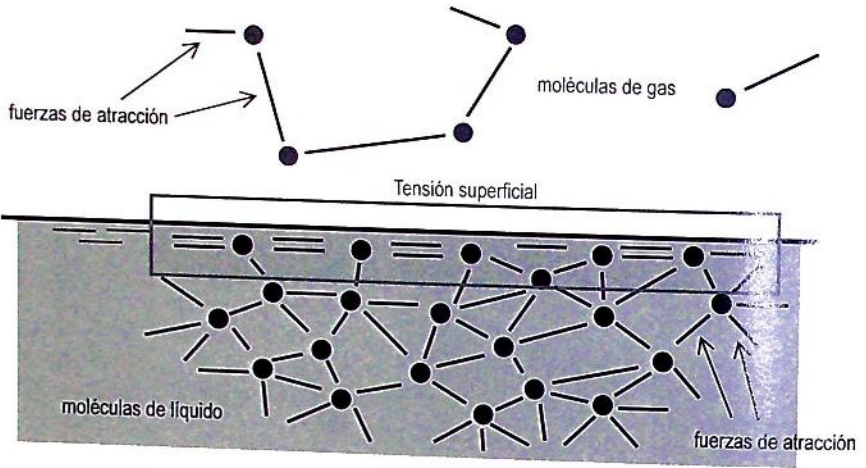
➤ Velocidad del sonido

➤ Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

26

Los esfuerzos en los interfasas de líquido-gas o líquido-sólido introducen una cohesión diferente entre las moléculas de la superficie del líquido creando en éste un efecto "piel".



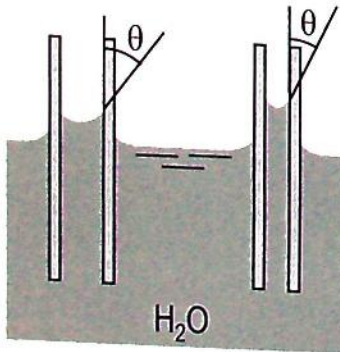
- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

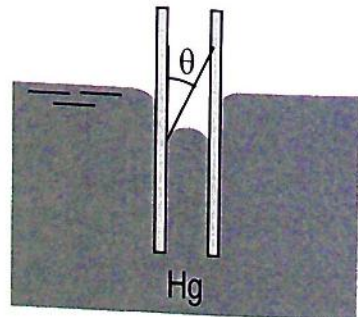
MECÁNICA DE FLUIDOS

CAPILARIDAD

Líquido que moja el tubo



Líquido que no moja el tubo



- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

La *ley de los gases ideales* es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura. El aire se puede aproximar a un gas ideal.

EN QUÍMICA...

$$PV = nRT$$

$n = n^{\circ}$ de moles

$R =$ cte. universal de los gases ideales (8,314472 J/(K·mol))

EN MECÁNICA DE FLUIDOS...

$$PV = MRT \rightarrow P = \rho RT$$

$M =$ masa del gas

$R =$ cte. del gas (286,9 J/(K·kg) para aire)

> Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

> Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

29

Constantes de un gas ideal

c_p	Calor específico a presión constante	1005 J/(kg·K) para aire
c_v	Calor específico a volumen constante	718 J/(kg·K) para aire
$R = c_p - c_v$	Constante del gas	286,9 J/(kg·K) para aire
$\gamma = c_p / c_v$	Cociente de calores específicos	1,4 para aire

En realidad c_p y c_v aumentan gradualmente con la temperatura en todos los gases, y γ se reduce gradualmente.

> Concepto de fluido

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

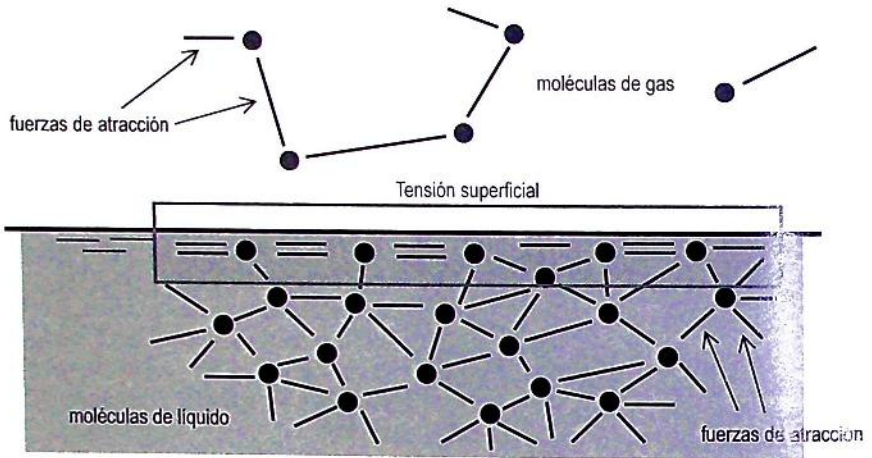
> Viscosidad

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

30

Los esfuerzos en los interfasas de líquido-gas o líquido-sólido introducen una cohesión diferente entre las moléculas de la superficie del líquido creando en éste un efecto "piel".



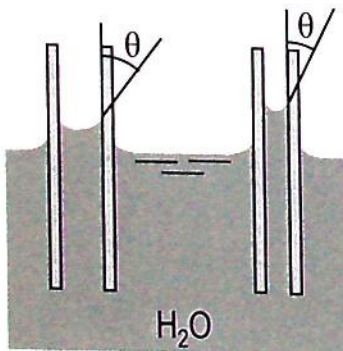
- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

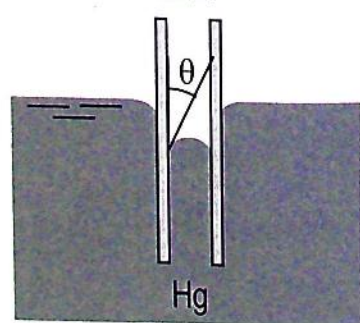
MECÁNICA DE FLUIDOS

CAPILARIDAD

Líquido que moja el tubo



Líquido que no moja el tubo



- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

La *ley de los gases ideales* es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura. El aire se puede aproximar a un gas ideal.

EN QUÍMICA...

$$PV = nRT$$

$n = n^\circ$ de moles

$R =$ cte. universal de los gases ideales (8,314472 J/(K·mol))

EN MECÁNICA DE FLUIDOS...

$$PV = MRT \rightarrow P = \rho RT$$

$M =$ masa del gas

$R =$ cte. del gas (286,9 J/(K·kg) para aire)

➤ **Concepto de fluido**

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

➤ Descripción euleriana y lagrangiana

➤ El fluido como medio continuo

➤ Densidad y peso específico

➤ **Viscosidad**

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

➤ Tensión superficial

➤ Ley de los gases ideales

➤ Velocidad del sonido

➤ Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

29

Constantes de un gas ideal

c_p	Calor específico a presión constante	1005 J/(kg·K) para aire
c_v	Calor específico a volumen constante	718 J/(kg·K) para aire
$R = c_p - c_v$	Constante del gas	286,9 J/(kg·K) para aire
$\gamma = c_p / c_v$	Cociente de calores específicos	1,4 para aire

En realidad c_p y c_v aumentan gradualmente con la temperatura en todos los gases, y γ se reduce gradualmente.

➤ **Concepto de fluido**

- ¿Que es un fluido?
- Esfuerzo en un fluido
- Definición técnica de un fluido

➤ Descripción euleriana y lagrangiana

➤ El fluido como medio continuo

➤ Densidad y peso específico

➤ **Viscosidad**

- Cond. de no deslizamiento
- Flujo visc.: laminar - turbulento

➤ Tensión superficial

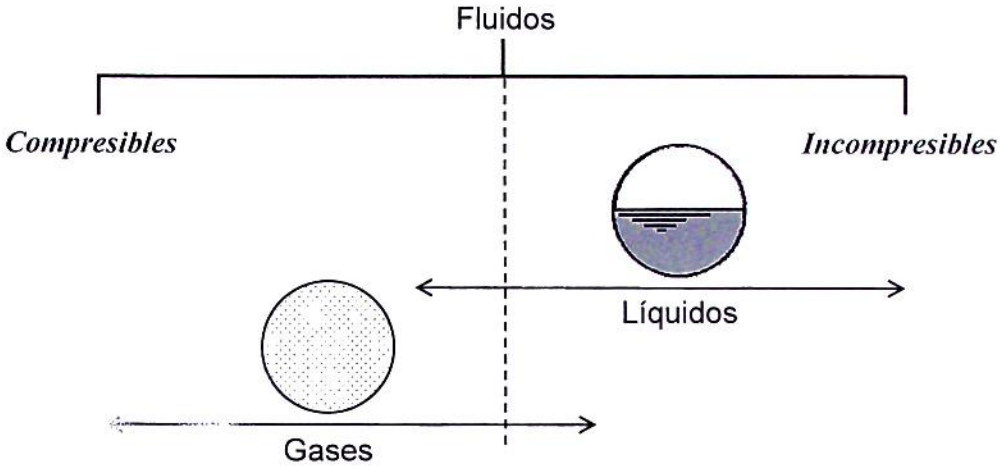
➤ Ley de los gases ideales

➤ Velocidad del sonido

➤ Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

30

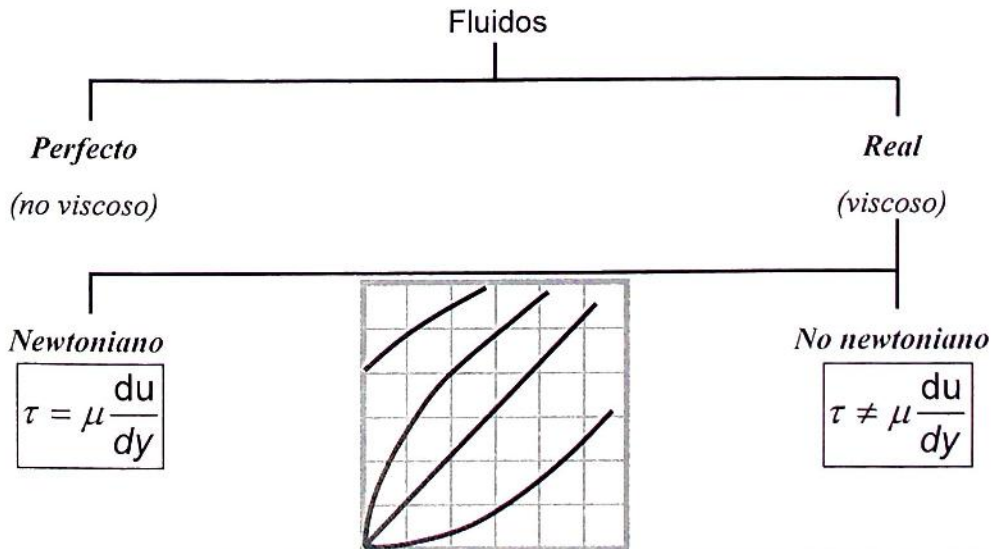


- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

33

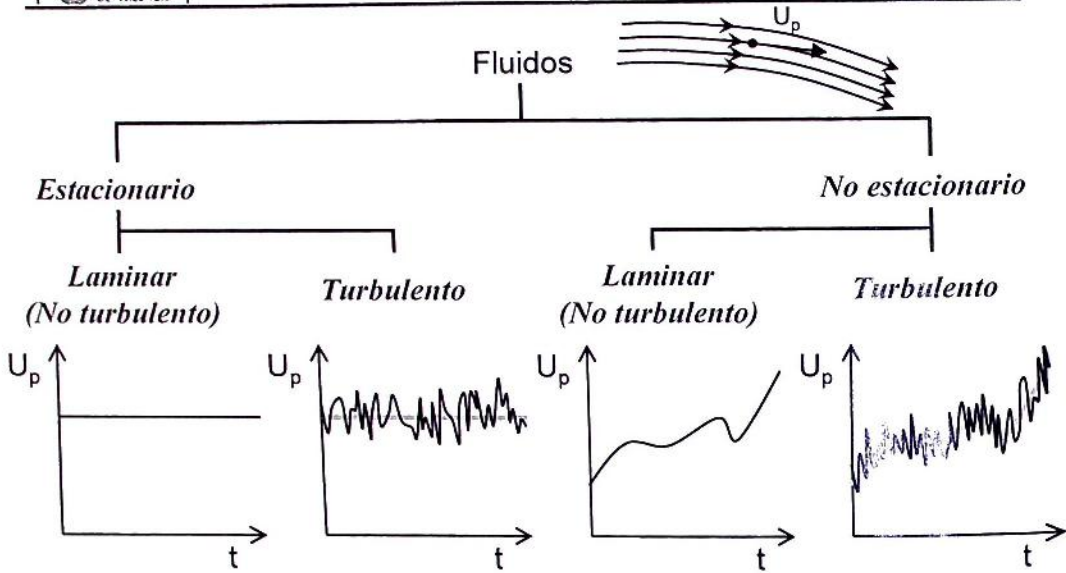


- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

34



- > Concepto de fluido
 - ¿Que es un fluido?
 - Esfuerzo en un fluido
 - Definición técnica de un fluido
- > Descripción euleriana y lagrangiana
- > El fluido como medio continuo
- > Densidad y peso específico

- > Viscosidad
 - Cond. de no deslizamiento
 - Flujo visc.: laminar - turbulento
- > Tensión superficial
- > Ley de los gases ideales
- > Velocidad del sonido
- > Conceptos básicos

MECÁNICA DE FLUIDOS

Unidad Temática 1

Ecuaciones del Movimiento

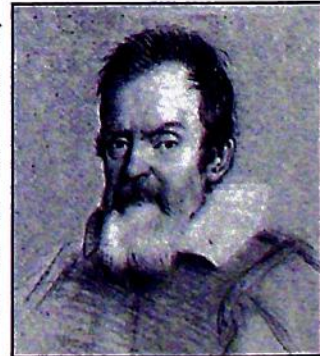
Tema 1.2. Fluidostática y capilaridad.

MECÁNICA DE FLUIDOS

1

Los filósofos de la antigüedad consideraban al aire como un cuerpo sin peso y que por su naturaleza tendía a elevarse; explicándose la ascensión de los líquidos en las bombas por el *fuga vacui*, "horror al vacío", que tiene inherente la naturaleza.

Cuando los jardineros de Florencia quisieron elevar el agua con una bomba de hélice, apreciaron que no podían superar la altura de 32 pies (casi 11 m). Consultado *Galileo Galilei* (1564-1642), determinó éste que el horror de la naturaleza al vacío se limitaba a una fuerza equivalente al peso de 32 pies de agua (lo que viene a ser 1 atm de presión), y denominó a dicha altura *altezza limitatissima*.



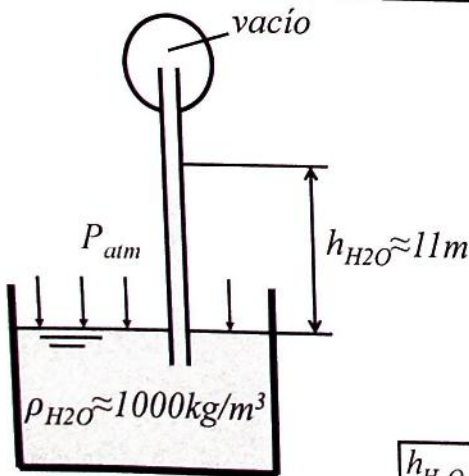
MECÁNICA DE FLUIDOS

2

Evangelista Torricelli (1608-1647) físico y matemático italiano. Discípulo de Galileo en sus últimos meses de vida. En 1643 inspirado por Galileo, tomó un tubo de vidrio de aproximadamente un metro de longitud y lo llenó de "plata viva" (mercurio). Manteniendo el tubo cerrado con un dedo, lo invirtió e introdujo en una vasija llena de mercurio. Al retirar el dedo, el metal descendía hasta formar una columna cuya altura era 13,6 veces menor que la que se obtenía al realizar el experimento con agua. Como sabía que el mercurio era 13,6 veces más pesado que el agua, dedujo que ambas columnas de líquido estaban soportadas por igual contrapeso, sospechando que sólo el aire era capaz de realizar dicha fuerza.

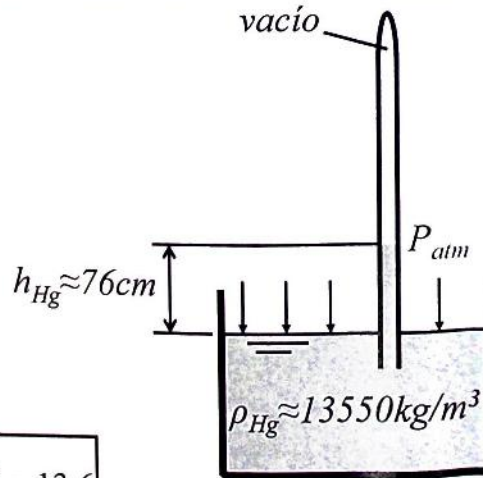


MECÁNICA DE FLUIDOS



Galileo

$$\frac{h_{H_2O}}{h_{Hg}} = \frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \approx 13,6$$



Torricelli

Blaise Pascal (1623-1662) matemático, físico y filósofo religioso francés. Inventor de la prensa hidráulica y la jeringuilla. Da nombre a las unidades de presión del SI. Conoció los experimentos de Torricelli. Aunque aceptando inicialmente la teoría del *horror al vacío*, no tardó Pascal en cambiar de idea al observar los resultados de los experimentos que realizó.

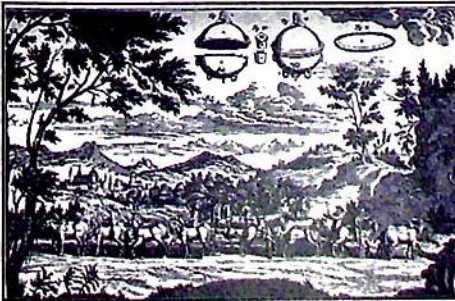
Estos experimentos le indujeron a abordar el experimento definitivo, consistente en transportar un barómetro a distintas altitudes y comprobar si era realmente el peso del aire el que determinaba la ascensión del líquido en el tubo. En 1648 con la ayuda de un pariente consiguió realizar el experimento en el monte Puy-de-Dôme, descartando la idea del horror vacui y demostrando que el aire tenía peso.



MECÁNICA DE FLUIDOS

5

Otto von Guericke (1602–1686). Jurista y matemático. Estudió los tratados de Pascal y Torricelli sobre la presión atmosférica. En 1654, hizo una espectacular demostración de la fuerza que el peso de la atmósfera podía ejercer. Dos hemisferios de 50cm de diámetro perfectamente ajustados eran unidos formando una esfera y se hacía el vacío en su interior, dos tiros de ocho caballos cada uno no podían separarlos.



MECÁNICA DE FLUIDOS

6

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática en una superficie plana
- Fuerza hidrostática en una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

Un fluido en reposo no resiste esfuerzos cortantes, solo resiste esfuerzos normales
(definición de fluido del Tema 1.1.)

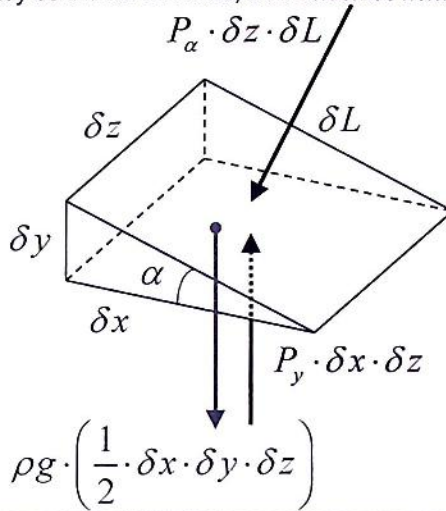
Ley de Pascal

“En un fluido en reposo la magnitud de la presión es independiente de la dirección en la que esta actúe”

- ✓ Ley de Pascal
- ✓ Presión en un fluido en reposo
- ✓ Principio de Arquímedes
- ✓ Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- ✓ Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- ✓ Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- ✓ Tensión superficial
- ✓ Manometría

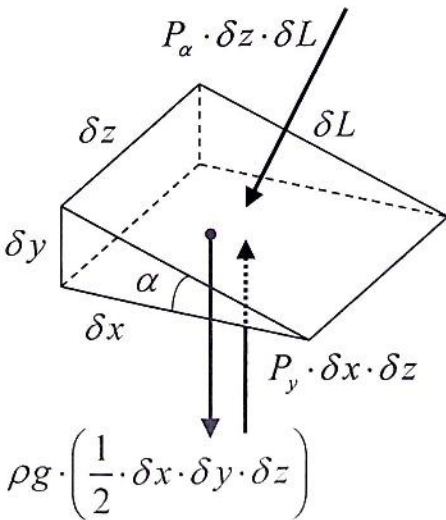
Cuña de fluido en reposo

(no hay esfuerzos cortantes, solo esfuerzos normales)



- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS



Evaluando fuerzas en dirección vertical:

$$P_y \delta x \delta z = \rho g \left(\frac{1}{2} \delta x \delta y \delta z \right) + P_\alpha \delta z \delta L \cos \alpha$$

$$P_y \delta x \delta z = \rho g \left(\frac{1}{2} \delta x \delta y \delta z \right) + P_\alpha \delta z \delta L \frac{\delta x}{\delta L}$$

Dividiendo por $\delta x \delta z$:

$$P_y = \frac{1}{2} \rho g \delta y + P_\alpha$$

En el límite $\delta y \rightarrow 0$

$$P_y = P_\alpha$$

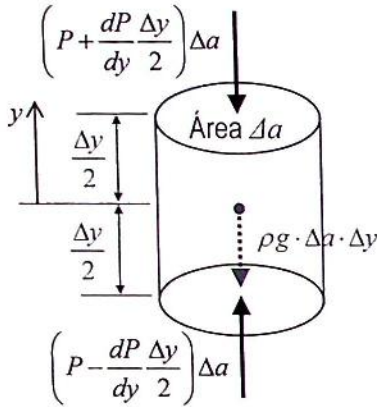
De la misma manera se podrían evaluar fuerzas en dirección horizontal:

$$P_x = P_y = P_\alpha$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

La experiencia demuestra que la presión varía con la profundidad.
(Ejem. presa de un pantano, submarino, bucear en una piscina)



Elemento cilíndrico en reposo

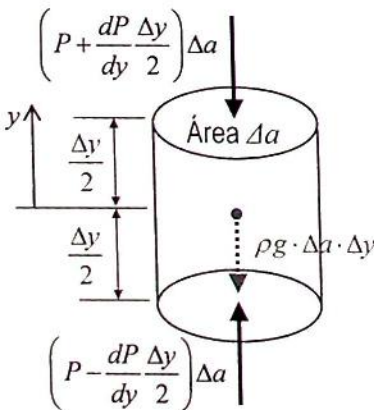
Centro de Masas situado en $y=0$

Presión en las caras de superficies superior e inferior

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

11



Evaluando fuerzas en la dirección vertical:

$$\left(P + \frac{dP}{dy} \frac{\Delta y}{2}\right) \Delta a + \rho g \Delta a \Delta y = \left(P - \frac{dP}{dy} \frac{\Delta y}{2}\right) \Delta a$$

Entonces:

$$\frac{dP}{dy} \Delta y \Delta a + \rho g \Delta a \Delta y = 0$$

Donde se obtiene:

$$\boxed{\frac{dP}{dy} = -\rho g}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

12

CASO ESPECIAL: líquido de densidad constante

Integrando al ecuación general, con constante de integración C

$$\int dP = -\rho g \int dy \rightarrow P = -\rho g y + C$$

Supongamos que en $y = Y \rightarrow P = P_a$

Entonces: $P_a = -\rho g Y + C$

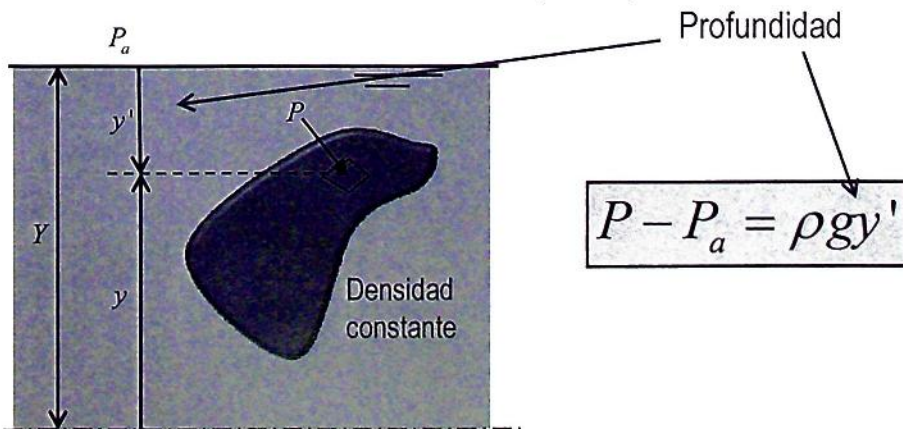
$$P - P_a = -\rho g (y - Y)$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

13

$$P - P_a = -\rho g (y - Y)$$



- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

14

$$P - P_a = \rho g y'$$

Restricciones de la ecuación: *densidad constante*

La mayoría de los líquidos pueden considerarse incompresibles, salvo excepciones, como el océano cuya densidad varía con la profundidad dada su salinidad.

En este caso, se debe utilizar:
$$\frac{dP}{dy} = -\rho g$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

15

Principio de Arquímedes

Arquímedes de Siracusa (287 aC – 212 aC) fue un matemático griego, físico, ingeniero, inventor y astrónomo. Entre sus avances en física se encuentran sus fundamentos en hidrostática, estática y la explicación del principio de la palanca. Es reconocido por haber diseñado innovadoras máquinas, incluyendo armas de asedio y el tornillo de Arquímedes, que lleva su nombre.



Principio de Arquímedes

“Un cuerpo inmerso en un fluido experimenta una fuerza vertical y hacia arriba equivalente al peso del fluido que desaloja”

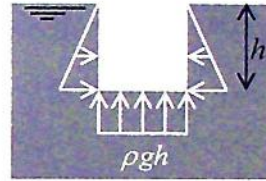
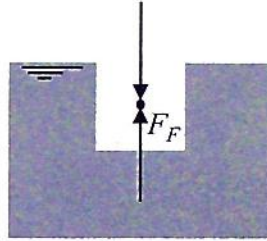
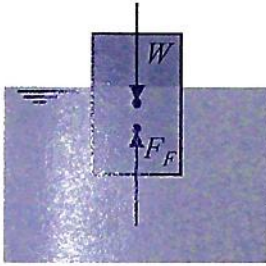
- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

16

Principio de Arquímedes

“Un cuerpo inmerso en un fluido experimenta una fuerza vertical y hacia arriba equivalente al peso del fluido que desaloja”



Arquímedes

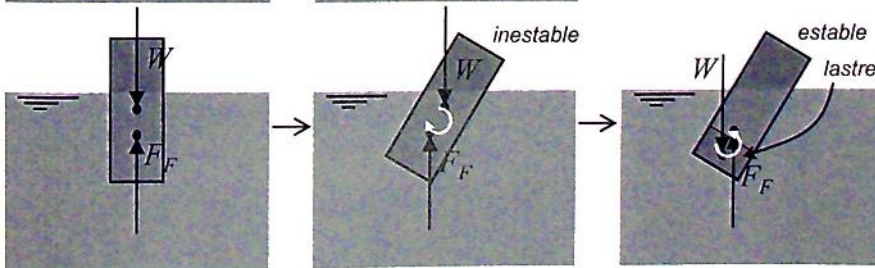
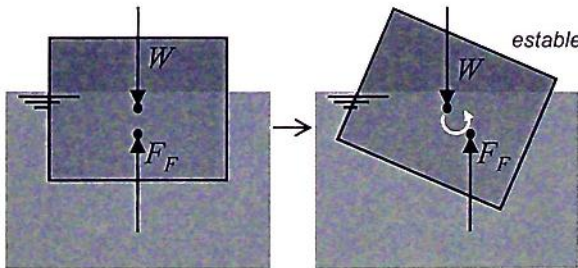
Fluidostática

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

17

Principio de Arquímedes



Flotación y estabilidad

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

18



¿Año 2024?

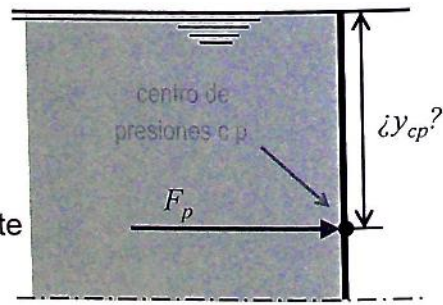
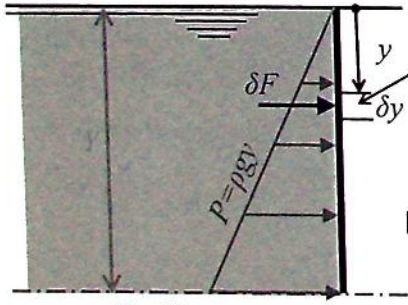


- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

Fuerza hidrostática sobre una superficie plana

Superficie libre ($P=0$)



Equivalente

Presión
Diferencial de área
Diferencial de fuerza

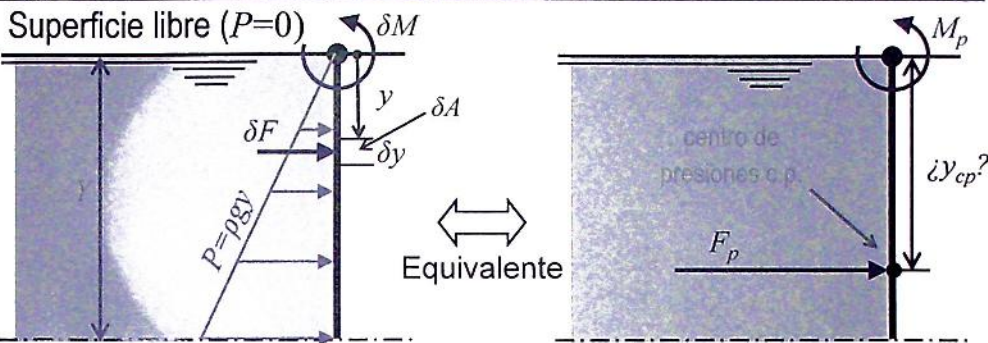
$P = \rho g y$
 $\delta A = w \cdot \delta y$ donde w es la anchura del dique.
 $\delta F = P \cdot \delta A$

$$F_p = \int_0^Y dF = \rho g w \int_0^Y y dy = \rho g w \frac{Y^2}{2}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

Fuerza hidrostática sobre una superficie plana



Presión $P = \rho g y$
 Diferencial de área $\delta A = w \cdot \delta y$ donde w es la anchura del dique.
 Diferencial de momento $\delta M = \delta F \cdot y = y \cdot P \cdot \delta A$

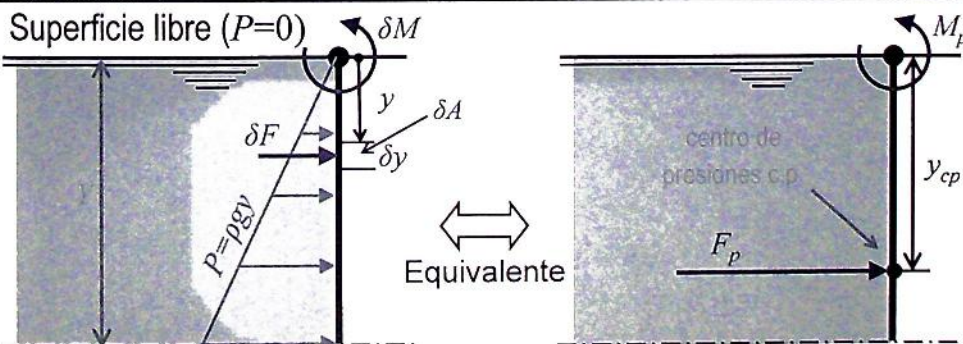
$$M_p = \int_0^Y dM = \rho g w \int_0^Y y^2 dy = \rho g w \frac{Y^3}{3}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

21

Fuerza hidrostática sobre una superficie plana



$$M_p = F_p y_{cp} \rightarrow \rho g w \frac{Y^3}{3} = \rho g w \frac{Y^2}{2} \cdot y_{cp}$$

$$y_{cp} = \frac{2}{3} Y$$

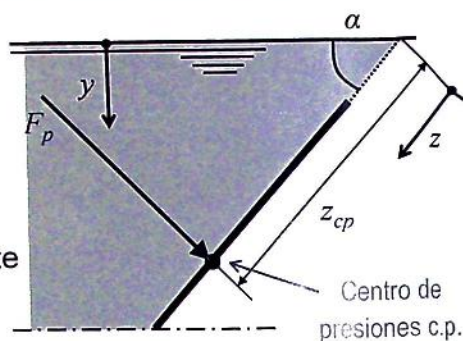
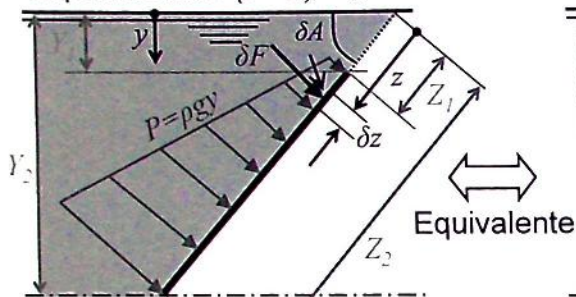
- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

22

Fuerza hidrostática sobre una superficie plana

Superficie libre ($P=0$) α



$$F_p = \rho g w \int_{Z_1}^{Z_2} y \frac{dy}{\text{sen} \alpha} = \rho g w \int_{Z_1}^{Z_2} z \cdot \text{sen} \alpha \cdot dz = \rho g w \cdot \text{sen} \alpha \int_{Z_1}^{Z_2} z dz$$

Cambio en el sistema de coordenadas de y a z

$$y = z \cdot \text{sen} \alpha \quad \delta y = \delta z \cdot \text{sen} \alpha$$

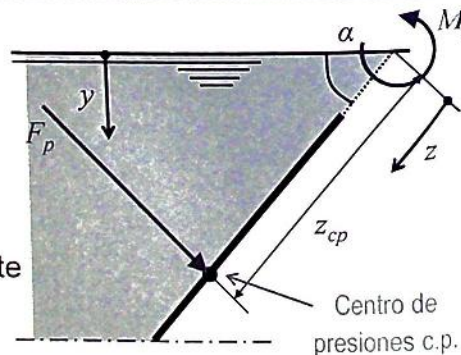
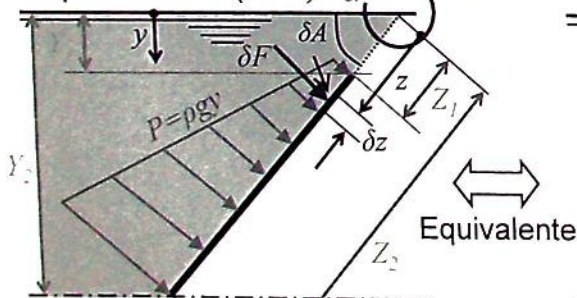
$$F_p = \frac{1}{2} \rho g w \cdot \text{sen} \alpha (Z_2^2 - Z_1^2)$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

Fuerza hidrostática sobre una superficie plana

Superficie libre ($P=0$) α

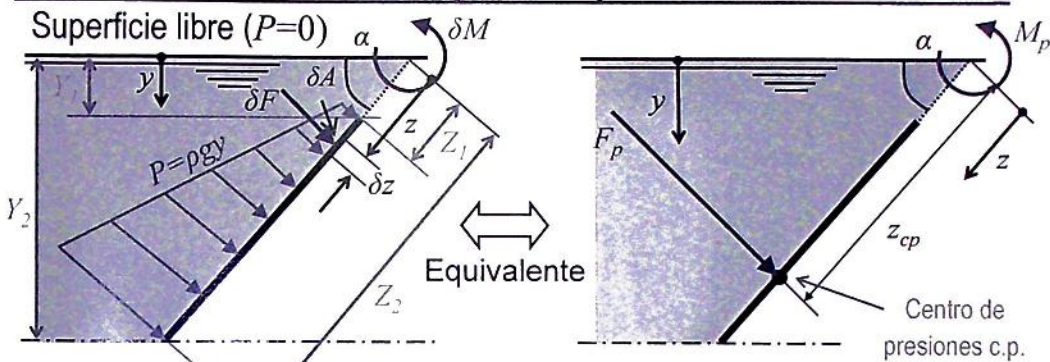


$$M_p = \rho g w \int_{Z_1}^{Z_2} z^2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot dz = \rho g w \cdot \text{sen} \alpha \int_{Z_1}^{Z_2} z^2 dz$$

$$M_p = \frac{1}{3} \rho g w \cdot \text{sen} \alpha (Z_2^3 - Z_1^3)$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS



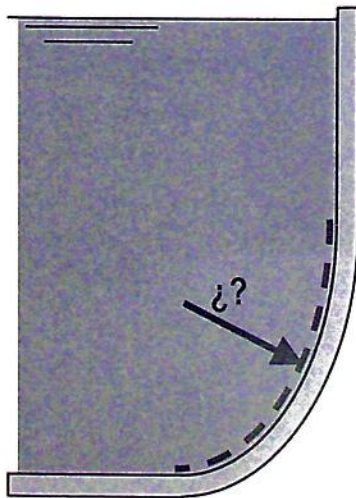
$$M_p = F_p z_{cp} \rightarrow \frac{1}{3} \rho g w \cdot \text{sen} \alpha (Z_2^3 - Z_1^3) = \frac{1}{2} \rho g w \cdot \text{sen} \alpha (Z_2^2 - Z_1^2) \cdot z_{cp}$$

$$z_{cp} = \frac{2}{3} \frac{Z_2^3 - Z_1^3}{Z_2^2 - Z_1^2}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

25

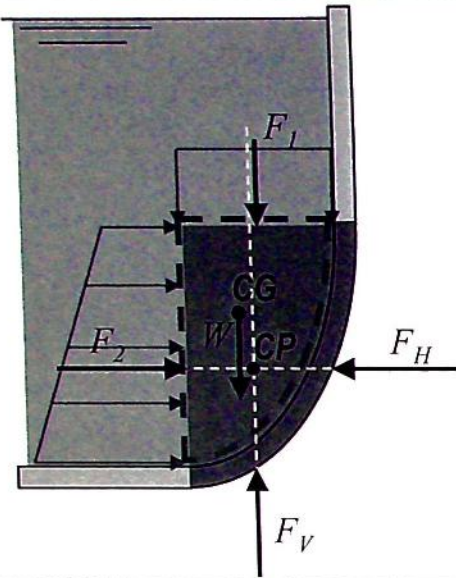


- Se puede plantear el problema mediante elementos diferenciales de pared que después se integran para obtener fuerzas y momentos. *PROBLEMA: Definir la superficie curva.*
- Se puede plantear el problema calculando el peso del volumen de control de fluido, cuyas presiones no sabemos calcular mediante superficies planas. *PROBLEMA: Hay que definir y conocer ese volumen.*

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

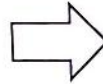
26



$$F_H = F_2$$

$$F_V = F_1 + W$$

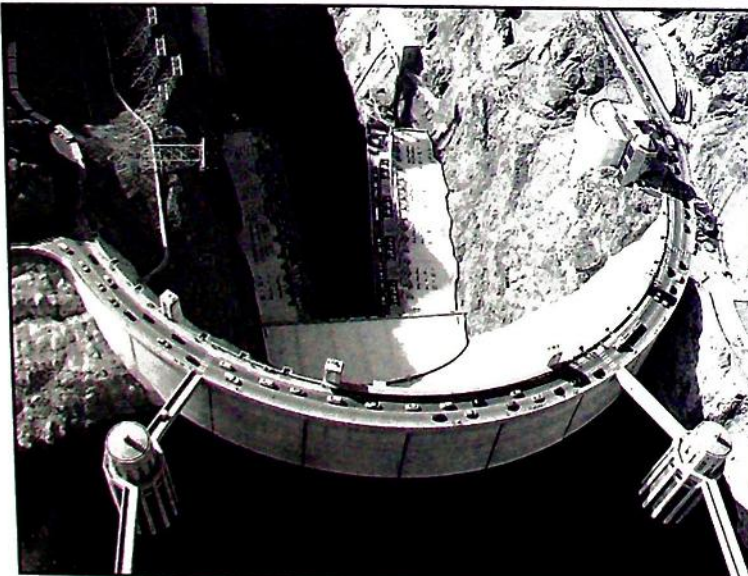
$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$



- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

27



- Hoover Dam (Colorado River)
- Longitud 1244 ft (379 m)
- Altura 726.4 ft (221 m)
- Inicio de la construcción 1931
- Fecha de apertura 1936
- Espesor de la presa
 - 660 ft (200 m) en la base
 - 45 ft (15 m) en la cúspide
- Presión en la base 21bar



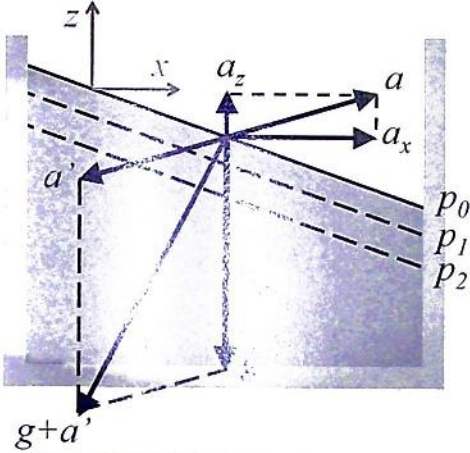
(*)Fotografía publicada por Stubbleboy en en.wikipedia con licencia Creative Commons

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

28

Aceleración lineal uniforme



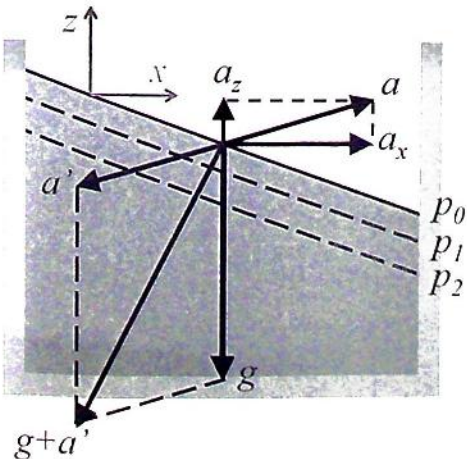
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= -\rho a_x \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\rho(g + a_z) \end{aligned} \right\}$$

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

$$dp = -\rho a_x dx - \rho(g + a_z) dz$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

Aceleración lineal uniforme



$$dp = -\rho a_x dx - \rho(g + a_z) dz$$

En una isóbara ($p = \text{cte.}$) $\rightarrow dp = 0$:

$$\boxed{\frac{dx}{dz} = -\frac{g + a_z}{a_x}}$$

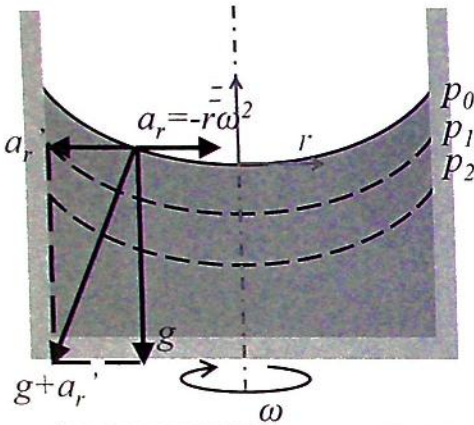
Integrando dp , se obtiene:

$$p = \int dp = -\rho a_x \int dx - \rho(g + a_z) \int dz$$

$$\boxed{p = -\rho a_x x - \rho(g + a_z) z + \text{cte.}}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

Rotación de cuerpo rígido



$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho r \omega^2$$

$$\frac{\partial p}{\partial \theta} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

$$dp = \frac{\partial p}{\partial r} dr + \frac{\partial p}{\partial \theta} d\theta + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

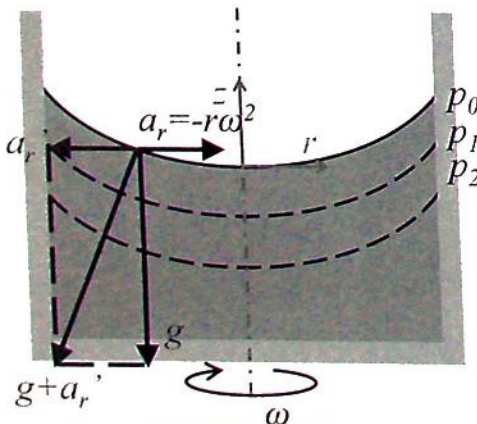
$$dp = \rho r \omega^2 dr - \rho g dz$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

31

Rotación de cuerpo rígido



$$dp = \rho r \omega^2 dr - \rho g dz$$

En una isobara ($p = \text{cte.}$) $\rightarrow dp = 0$:

$$\frac{dz}{dr} = \frac{r \omega^2}{g}$$

Integrando dp , se obtiene:

$$p = \int dp = \rho \omega^2 \int r dr - \rho g \int dz$$

$$p = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} - \rho g z + \text{cte} \rightarrow p_0$$

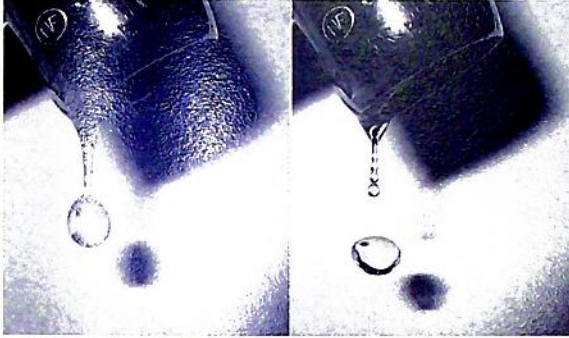
- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

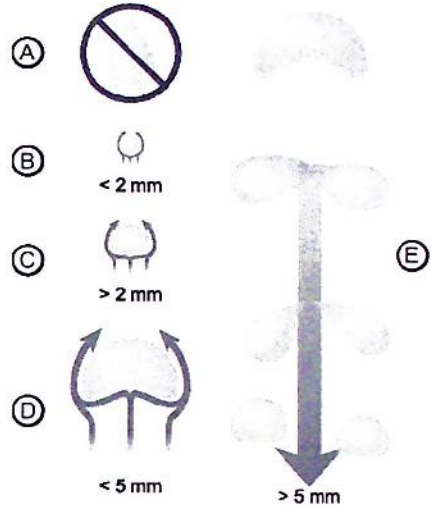
32

Ejemplo: Gota que cae de un tubo

- Hipótesis 1: asumimos que el líquido fluye muy despacio y se forma una gota al final de un tubo.
- Hipótesis 2: cuando la tensión superficial sea menor que el peso de la gota, ésta caerá.



(*)Fotografía publicada por Roger Ivk:Lassus en en.wikipedia con licencia Creative Commons



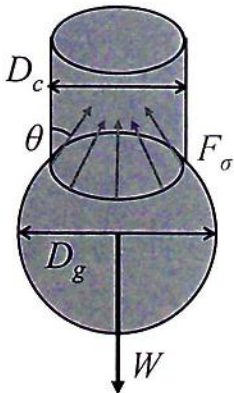
Forma de gotas en caída dependiendo de su tamaño

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

33

Ejemplo: Gota que cae de un tubo



- El perímetro del interfase líquido-gas es $L = \pi D_c$.
- La tensión superficial es una fuerza por unidad de longitud que actúa tangencialmente a la superficie líquido-gas ($F_\sigma = \sigma \pi D_c$).
- El peso de una gota de volumen V es $W = \rho g V$
- Considerando equilibrio de fuerzas verticales se obtiene $\sigma \pi D_c \cos \theta = \rho g V$
- Cuando aumenta el volumen de la gota, para que exista equilibrio de fuerzas verticales debe disminuir el ángulo θ , de tal forma que:

$$V_{\max} = \frac{\sigma \pi D_c}{\rho g}$$

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

34

Ejemplo: Gota que cae de un tubo

- Hipótesis 3: Si la gota fuese una esfera perfecta:

$$V = \frac{\pi D_d^3}{6}$$

- Se puede calcular:

$$D_d = \left(\frac{6\sigma D_c}{\rho g} \right)^{1/3} \longrightarrow \frac{D_d}{D_c} = \left(\frac{6\sigma}{D_c^2 \rho g} \right)^{1/3}$$

- El número de *Bond* se define como:

$$Bo = \frac{D_c^2 \rho g}{\sigma} \longrightarrow \frac{D_d}{D_c} = \left(\frac{6}{Bo} \right)^{1/3} = 1.82 Bo^{-1/3}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

Ejemplo: Gota que cae de un tubo

- El análisis experimental muestra que:

$$\frac{D_d}{D_c} = 1.6 Bo^{-1/3}$$

- Una pequeña parte de la gota es soportada por el líquido del extremo del tubo, con lo que el volumen real es menor, como muestra el análisis experimental.
- En problemas de tensión superficial, el número más apropiado es el número de *Weber* que relaciona la inercia con los efectos de tensión superficial.

$$We = \frac{\rho u^2 L}{\sigma}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

Ejemplo: Gota que cae de un tubo

- En el modelo considerado se asume que la velocidad del líquido es muy baja y que los efectos inerciales ($\rho u^2 L$) son pequeños con relación a σ , es decir We es menor que 1.
- Cuando We tiende a 1 la gota tiene suficiente inercia para desprenderse a un peso más pequeño que en el caso anterior.
- Cuando We tiende a 3, ya no hay goteo, sino un chorro continuo que al caer forma gotas.
- Si se invierte la fórmula, que tiene el número de Bond, ahora utilizando el coeficiente experimental (1.6 en lugar de 1.82).

$$\sigma = 0.244 \frac{\rho g D_d}{D_c}$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

37

Ejemplo: Gota que cae de un tubo

- Midiendo experimentalmente el diámetro de la gota, podemos estimar la tensión superficial del interfase (σ):

Aire con líquido a 25°C	$\sigma (N/m)$
Aceite oliva	0.331
Agua	0.0727
Benceno	0.0290
Gasoil	0.0296
Glicol	0.0477
Mercurio	0.4650

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

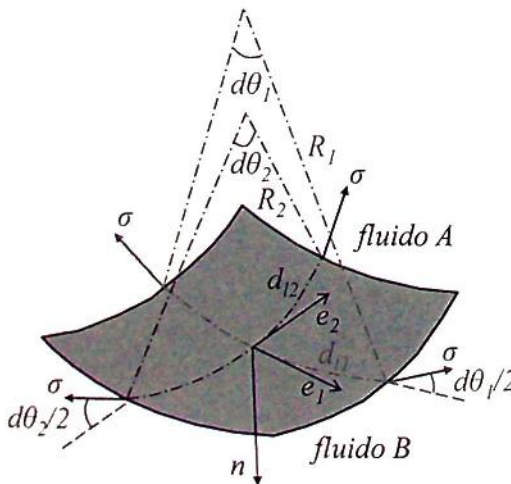
MECÁNICA DE FLUIDOS

38

- Supongamos dos fluidos inmiscibles y evaluemos las fuerzas de balance en la superficie de separación.
- Definimos la tensión interfacial como la *fuerza por unidad de longitud* que actúa a lo largo de cualquier línea en la superficie interfacial de *dirección tangencial* a dicha superficie.
- A continuación, veremos que esta tensión superficial se puede equilibrar con las fuerzas de superficie del fluido, que son las de presión y las viscosas (ejemplo: pompa de jabón, burbuja de gas).

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

- La geometría de esta superficie interfacial infinitesimal entre fluidos, es la siguiente:



La fuerza normal al elemento debidas a la tensión superficial apuntando hacia el fluido A será:

$$F_{\sigma} = 2\sigma \cdot \delta l_1 \cdot \text{sen} \frac{\delta \theta_2}{2} + 2\sigma \cdot \delta l_2 \cdot \text{sen} \frac{\delta \theta_1}{2}$$

Como los $\delta \theta/2$ son ángulos muy pequeños:

$$F_{\sigma} = \sigma \cdot \delta l_1 \cdot \delta \theta_2 + \sigma \cdot \delta l_2 \cdot \delta \theta_1$$

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

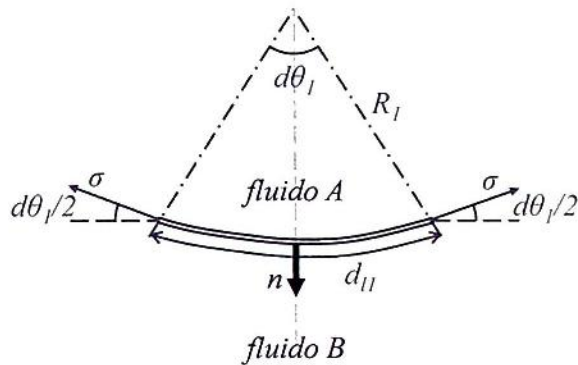
- Como estamos en un elemento infinitesimal, se tiene que:

$$R_1 \delta \theta_1 = \delta l_1 \quad \text{y} \quad R_2 \delta \theta_2 = \delta l_2$$

Luego:

$$F_\sigma = \sigma \delta l_1 \frac{\delta l_2}{R_2} + \sigma \delta l_2 \frac{\delta l_1}{R_1}$$

$$F_\sigma = \sigma \delta l_1 \cdot \delta l_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

41

- Para un fluido en reposo, se debe cumplir que esta fuerza debida a la tensión superficial debe estar en equilibrio con la diferencia de presiones entre los dos fluidos. Así, equilibrando este término con las presiones, se obtiene:

$$(p_i - p_o) \cdot \delta l_1 \cdot \delta l_2 = \sigma \delta l_1 \cdot \delta l_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Simplificando la anterior expresión, se obtiene *la ecuación de Young-Laplace*:

$$p_i - p_o = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

42

Dispositivos de medida de presión

(según la magnitud física en que se basan)

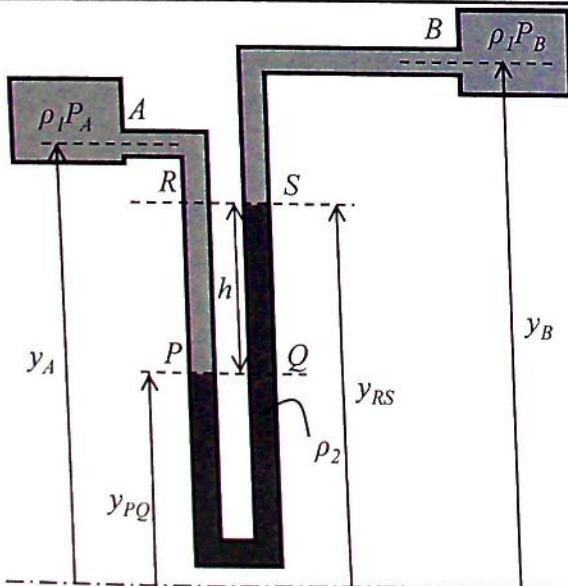
- **Fuerza de gravedad:** barómetro, manómetro y balanza.
- **Deformación elástica:** tubo bourdon (metal y cuarzo), diafragma, cápsulas, extensímetros, desplazamiento de haces ópticos.
- **Propiedades de los gases:** compresión (transductor de McLeod), conductancia térmica (transductor de Pirani), impacto molecular (transductor de Knudsen), ionización, conductividad térmica, pistón de aire.
- **Electrónicos:** resistivos (transductor de Bridgman), extensímetros integrados, capacitivos, piezoeléctricos, potenciométricos, inductivos, de reluctancia magnética, transformadores diferenciales lineales variables (LVDT), de frecuencia de resonancia.
- **Pinturas luminiscentes:** distribución de presiones en superficies.

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

43

Manometría

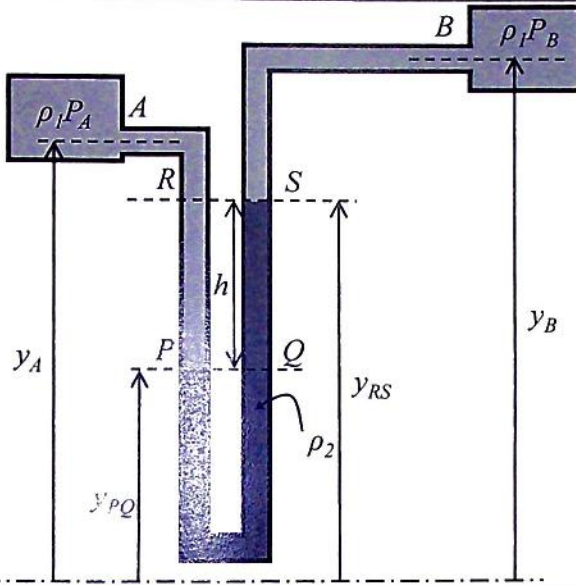


Calcular la relación de presiones entre P_A y P_B en el manómetro de la figura

- Ley de Pascal
- Presión en un fluido en reposo
- Principio de Arquímedes
- Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- Tensión superficial
- Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

44



P y Q están a la misma presión:

$$P_P = P_Q$$

Columna de la izquierda:

$$P_P = P_R + \rho_1 g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_R = P_A + \rho_1 g (y_A - y_{RS})$$

Columna de la derecha:

$$P_Q = P_S + \rho_2 g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_S = P_B + \rho_1 g (y_B - y_{RS})$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

Columna de la izquierda:

$$P_P = P_R + \rho_1 g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_R = P_A + \rho_1 g (y_A - y_{RS})$$

Columna de la derecha:

$$P_Q = P_S + \rho_2 g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_S = P_B + \rho_1 g (y_B - y_{RS})$$

Igualando presiones en P y Q :

$$P_A + \rho_1 g (y_A - y_{RS}) + \rho_1 g (y_{RS} - y_{PQ}) = P_B + \rho_1 g (y_B - y_{RS}) + \rho_2 g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_A - P_B = \rho_1 g (y_B - y_A) + (\rho_2 - \rho_1) g (y_{RS} - y_{PQ})$$

$$P_A - P_B = \rho_1 g (y_B - y_A) + (\rho_2 - \rho_1) gh$$

- > Ley de Pascal
- > Presión en un fluido en reposo
- > Principio de Arquímedes
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie plana
- > Fuerza hidrostática sobre una superficie curva
- > Fuerza hidrostática de un fluido con movimiento de cuerpo rígido
- > Tensión superficial
- > Manometría

MECÁNICA DE FLUIDOS

Unidad Temática 1

Ecuaciones del Movimiento

Tema 1.3. Cinemática y Dinámica de Fluidos Perfectos

MECÁNICA DE FLUIDOS

1

ÍNDICE

- Descripción del flujo
- Aceleración de una partícula fluida en 1D
- Fuerza de una partícula fluida en 1D: Ecuación de Bernoulli
- Presión estática, de estancamiento, dinámica y total
- Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli
- Resistencia y sustentación
- Presión de vapor y cavitación
- Efecto Magnus y Efecto Coanda

MECÁNICA DE FLUIDOS

2



0335P06



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EDITORIAL

Mecánica de Fluidos