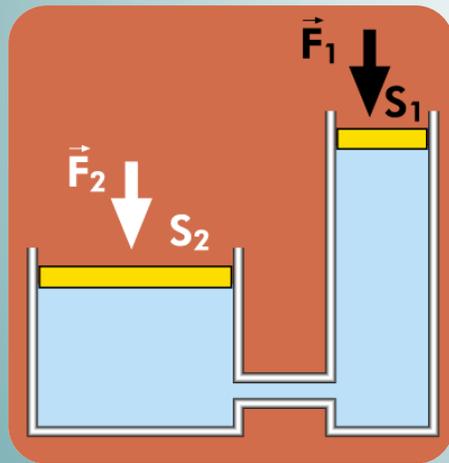


Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

Tema 01. Introducción a la Mecánica de Fluidos



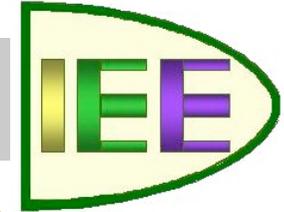
Severiano F. Pérez Remesal

Carlos Renedo Estébanez

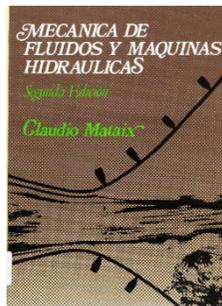
DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)



- T 01.- Introducción a la Mecánica de Fluidos
- T 02.- Estática de fluidos
- T 03.- Cinemática de fluidos
- T 04.- Dinámica de fluidos
- T 05.- Flujo sobre cuerpos
- T 06.- Flujo de fluidos en tuberías
- T 07.- Golpe de ariete y cavitación
- T 08.- Bombas
- T 09.- Máquinas hidráulicas



Teoría

Problemas



MF. T1.- Introducción a la Mecánica de Fluidos

Objetivos:

En este tema se trata de familiarizar al alumno con el comportamiento de los fluidos y sus propiedades. Este estudio lleva a la definición de fluido y sus propiedades fundamentales. Se expone la Ecuación General de la Hidrostática, que será de utilización a lo largo de todo el bloque. Se introduce el concepto de viscosidad, y otros conceptos de Mecánica de Fluidos como son la superficial y de capilaridad

Se realizará una práctica de laboratorio que permitirá analizar la viscosidad de un fluido, aceite de lubricación, observando la influencia que presenta la temperatura

- 1.- Mecánica de Fluidos
- 2.- Conceptos generales
- 3.- Ecuación general de la hidrostática
- 4.- Viscosidad
- 5.- Otros conceptos

1.- Mecánica de Fluidos

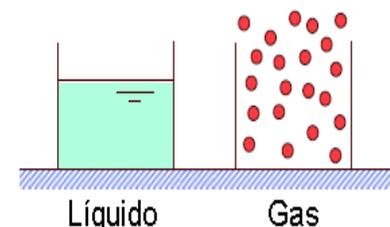
La Mecánica de Fluidos es la rama de la **mecánica de medios continuos** que estudia el **movimiento de los fluidos** (gases y líquidos) así como las fuerzas que los provocan.

Fluido: no tiene forma propia, se adapta al recipiente
 tienen resistencia a la velocidad de deformación (no a la def.)

- Líquidos: conservan el volumen (“incompresibles”)
 presentan una superficie libre
- Gases: no tiene volumen, ocupan todo el recipiente

Mecánica de Fluidos: reposo y movimiento

Termodinámica: fluidos compresibles





2.- Conceptos Generales (I)

Peso, W : (masa . gravedad) [Newton = kg m/s²]

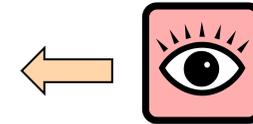
$$k_f = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$$

Densidad, ρ : (masa / volumen) [kg/m³]

Densidad relativa, ρ_R : $\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$

Peso específico, γ : (peso/volumen)[N/m³]

$$\gamma = \frac{W}{Vol} = \frac{M g}{Vol} = \rho g$$



La Fuerza es una magnitud vectorial, y cuando se aplica a un cuerpo, se puede descomponer en una componente perpendicular y otra normal al cuerpo.

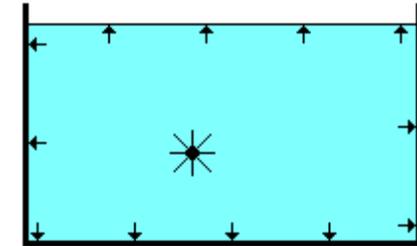
- **Componente normal** (perpendicular)
- **Componente cortante** (tangencial)

Esfuerzo cortante, τ , es la fuerza tangencial dividida entre el área, (Nw/m²)

2.- Conceptos Generales (II)

Presión, Pascal: (F / Superficie) [N/m²]

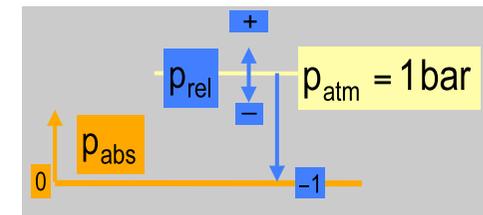
- En el interior se transmite igual en todas las direcciones
- Se ejerce perpendicularmente a las superficies que lo contienen



Tipos de Presión:

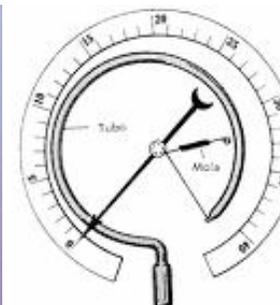
- **Atmosférica;** p_{atm} (nivel del mar y 0°C) = 1,013 bar
- **Absoluta;** p_{abs} (>0)
- **Relativa;** p_{rel} (si <0 P de vacío)

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



Medida de la Presión:

- **Manómetros:** P relativas positivas
- **Vacuómetro:** P relativas negativas



Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas; C. Mataix

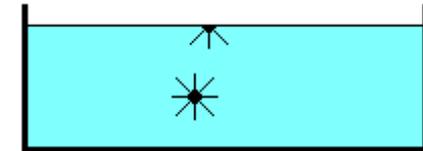
2.- Conceptos Generales (III)

Tensión superficial, σ : [N/m], f(T)

Efecto macroscópico de la diferencia de fuerza de cohesión molecular de dos fluidos

Aparece en la superficie de separación de fluidos no miscibles, o con un contorno sólido

20°C	Agua-aire	$\sigma = 0,074 \text{ N/m}$
	Agua-alcohol	$\sigma = 0,020 \text{ N/m}$
	Agua-aceite	$\sigma = 0,027 \text{ N/m}$
	Agua-mercurio	$\sigma = 0,375 \text{ N/m}$
	Mercurio-aire	$\sigma = 0,48 \text{ N/m}$

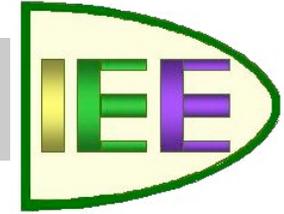


En una gota la tensión superficial alrededor de la circunferencia debe equilibrar la fuerza de la presión interna

$$p \pi R^2 = 2 \pi \sigma R \Rightarrow p = \frac{2 \sigma}{R}$$

En una burbuja (gota hueca) la tensión superficial alrededor de las dos circunferencias (2 interfases) debe equilibrar la fuerza de la presión interna

$$p \pi R^2 = 2 (2 \pi \sigma R) \Rightarrow p = \frac{4 \sigma}{R}$$



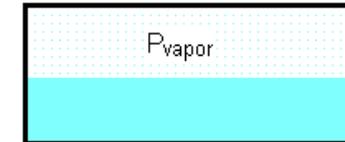
2.- Conceptos Generales (IV)

Presión de vapor; $f(P, T)$

Es la presión originada por el vapor del líquido en la atmósfera que le rodea

El fluido se evapora hasta que el vapor alcanza la presión del vapor

Agua	20°C	0,02337 bar
	100°C	1,013 bar



Cavitación, $f(P, T)$

Evaporación del líquido cuando la P es inferior a la P_{vapor}

Módulo de elasticidad, E : [Pa]

Resistencia a la compresión

Fluido	E (MPa)
Aire (1 bar)	0,2
Agua	$2 \cdot 10^3$
Aceite	$1,3 \cdot 10^3$
Mercurio	$24,75 \cdot 10^3$

$$E = - \frac{dp}{dv / v}$$

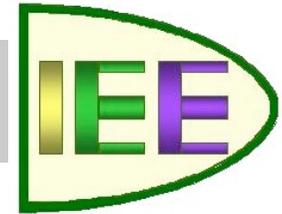
“Incompresibles”



2.- Conceptos Generales (V)

Una gota de agua de diámetro 0,5 mm tiene una presión en su interior de $5,8 \cdot 10^{-3}$ kPa/cm² mayor que la atmosférica; determinar su tensión superficial.

Calcular el vacío necesario para provocar cavitación en un flujo de agua a 80°C si sucede a una altura de 2.500 m.s.n.m. ($p_{\text{vapor } 80^{\circ}\text{C}} = 47,4$ kPa; $p_{\text{atm } 2.500\text{msnm}} = 75$ kPa)



2.- Conceptos Generales (VI)

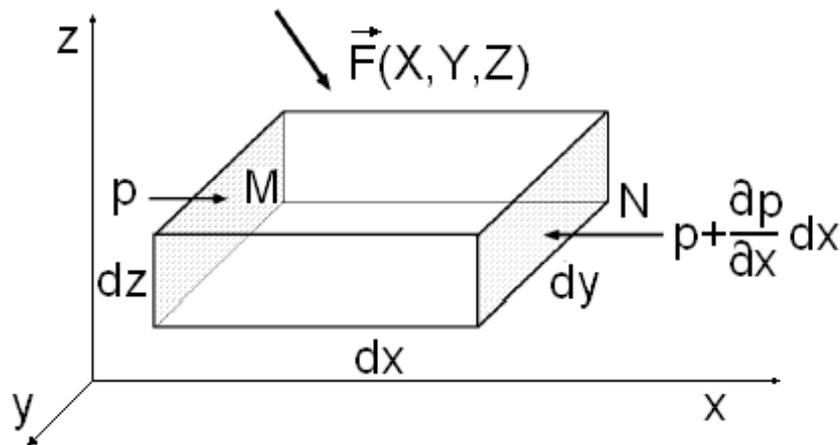
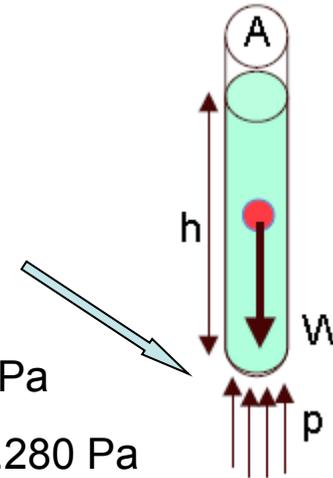
A una profundidad de 9 km la P en el océano es de 1.000 bar. Si la densidad en la superficie es de $1,025 \text{ kg/dm}^3$ y el módulo elástico medio de 23.000 bar, calcular la densidad del fondo

3.- Ecuación de la Hidrostática (I)

Presión de una columna de fluido

$$p = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{\text{Masa } g}{A} = \frac{(\rho V)g}{A} = \frac{\rho (h A)g}{A} = \rho g h$$

$$p = \rho g h \begin{cases} 1 \text{ m.c.a. } (\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3) = 9.800 \text{ Pa} \\ 1 \text{ m.c.Hg } (\rho = 13.600 \text{ kg/m}^3) = 133.280 \text{ Pa} \end{cases}$$



Elemento diferencial de volumen

$$m = V \rho = dx dy dz \rho = 1$$

$$p \Rightarrow p + \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

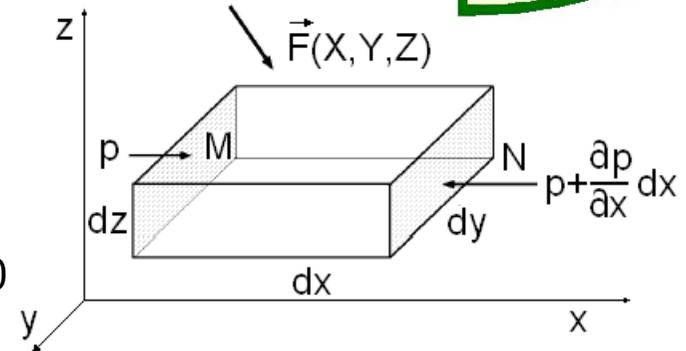
Fuerza exterior: $\vec{F}(X, Y, Z)$



3.- Ecuación de la Hidrostática (II)

$$(dx dy dz \rho) = 1$$

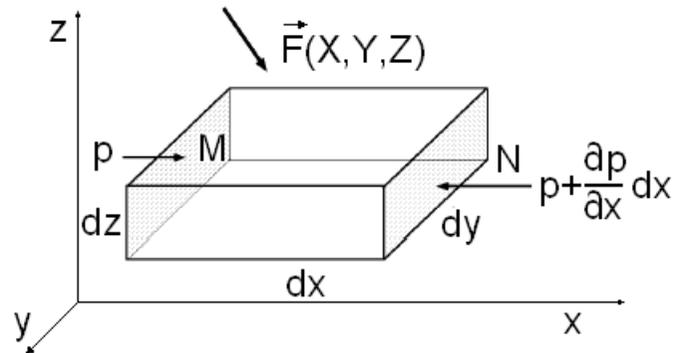
$$\vec{F}(X, Y, Z) \begin{cases} p dz dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dz dy + X (\rho dx dy dz) = 0 \\ p dx dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz + Y (\rho dx dy dz) = 0 \\ p dx dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy + Z (\rho dx dy dz) = 0 \end{cases}$$



$$\begin{cases} - \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dz dy + X (\rho dx dy dz) = 0 \Rightarrow \rho X = \frac{\partial p}{\partial x} \Rightarrow \rho X dx = \frac{\partial p}{\partial x} dx \\ - \left(\frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz + Y (\rho dx dy dz) = 0 \Rightarrow \rho Y = \frac{\partial p}{\partial y} \Rightarrow \rho Y dy = \frac{\partial p}{\partial y} dy \\ - \left(\frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy + Z (\rho dx dy dz) = 0 \Rightarrow \rho Z = \frac{\partial p}{\partial z} \Rightarrow \rho Z dz = \frac{\partial p}{\partial z} dz \end{cases}$$

$$\rho X dx + \rho Y dy + \rho Z dz = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = dp \quad 12$$

3.- Ecuación de la Hidrostática (III)



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

$$\frac{dp}{\rho} = X dx + Y dy + Z dz$$

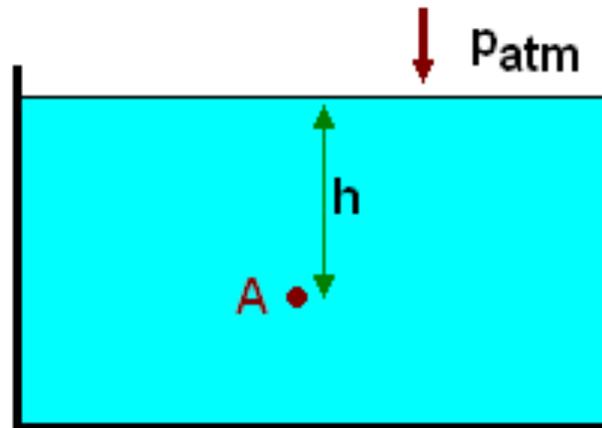
- Si sólo existe la gravedad: $\vec{F}(0, 0, -g)$ $z \Rightarrow$ altura

$$dp = -\rho g dz$$

$$p = \rho g h$$

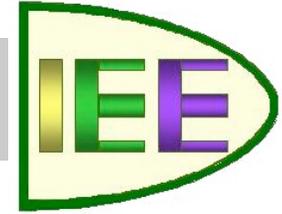
3.- Ecuación de la Hidrostática (IV)

- Si el fluido está sometido a una presión exterior



- **P. Absoluta** $p_{abs A} = p_{atm} + \rho g h$

- **P. Relativa** $p_{rel A} = \rho g h$ ←



3.- Ecuación de la Hidrostática (V)

m.c.a. a Pa \Rightarrow

m.c.Hg. a Pa \Rightarrow

kg/cm² a Pa \Rightarrow

m.c.a. a kg/cm² \Rightarrow

4.- Viscosidad (IV)

Viscosímetro Engler:

- Un depósito para el líquido a ensayar
- Una señal que marca la capacidad del depósito
- Una vasija para calentar al “baño maría”
- Un orificio y tubo de salida en su base algo cónica
- Una tapadera para introducir un termómetro
- Un matraz calibrado
- Un cronómetro

Se realiza la experiencia con el líquido y con agua



Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas; C. Mataix



4.- Viscosidad (V)

Viscosímetro Saybolt:

- Un tubo cilíndrico de bronce
- Un orificio calibrado en el fondo
- Un baño termostático
- Cronómetro (tiempo de vaciado)

Viscosímetro Oswald:

- Un tubo capilar
 - Un tubo más ancho
 - Cronómetro
- } Formando una **U**



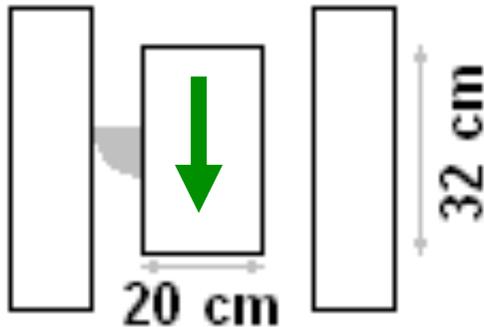
4.- Viscosidad (VIII)

Determinar la variación de la fuerza para mover un pistón de un motor diesel si cuando arranca el aceite está a 0°C y a régimen a 120°C; la viscosidad dinámica varía de $1,5 \cdot 10^{-3}$ a $2 \cdot 10^{-4}$ kg s/m²

4.- Viscosidad (IX)

Un émbolo de 100 kg se mueve por gravedad en el interior de un cilindro vertical. El espacio entre ambos está relleno de aceite (0,5 mm de espesor) de viscosidad $8,5 \cdot 10^{-1} \text{ N s /m}^2$

- Determinar la velocidad de descenso
- Determinar la viscosidad del aceite si el émbolo tarda 3 s en recorrer 1 m



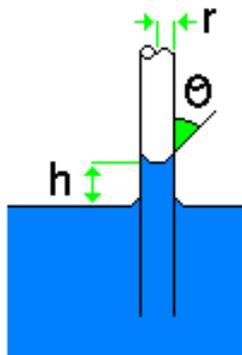
5.- Otros conceptos (I)

Capilaridad; ($\varnothing < 10 \text{ mm}$)

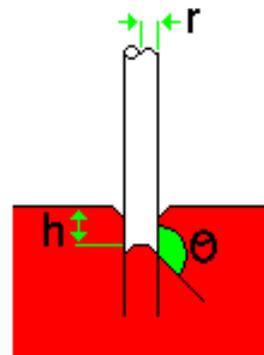
$$2 \pi r \sigma \cos \theta + p_2 \pi r^2 = p_1 \pi r^2$$

Angulo de contacto: efecto de la diferencia de fuerzas de cohesión molecular entre las partículas de distintos fluidos y sólidos

$$\cos \theta = r \frac{p_1 - p_2}{2 \sigma}$$



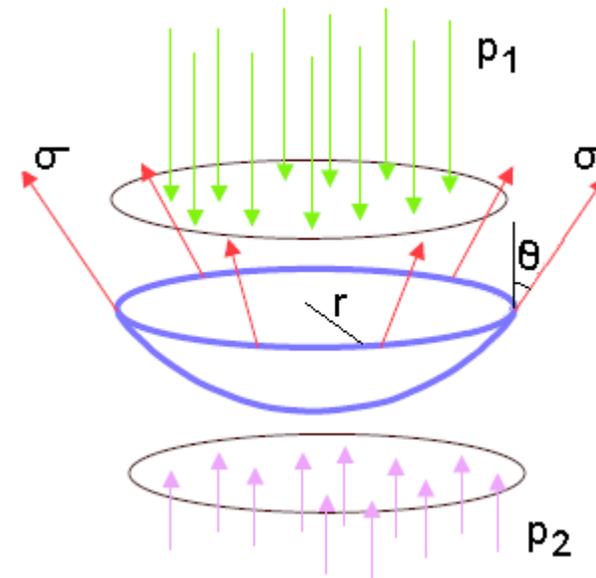
ascenso



descenso

$$\left. \begin{aligned} F_\sigma &= 2 \pi r \sigma \cos \theta \\ F_g &= \gamma \pi r^2 h \end{aligned} \right\}$$

$$h = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\gamma r}$$

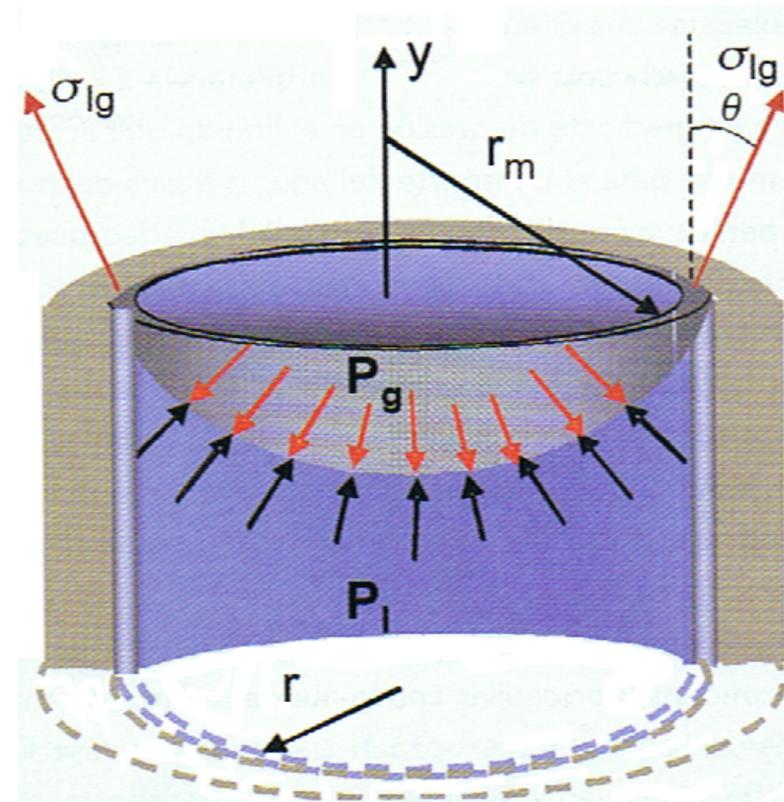
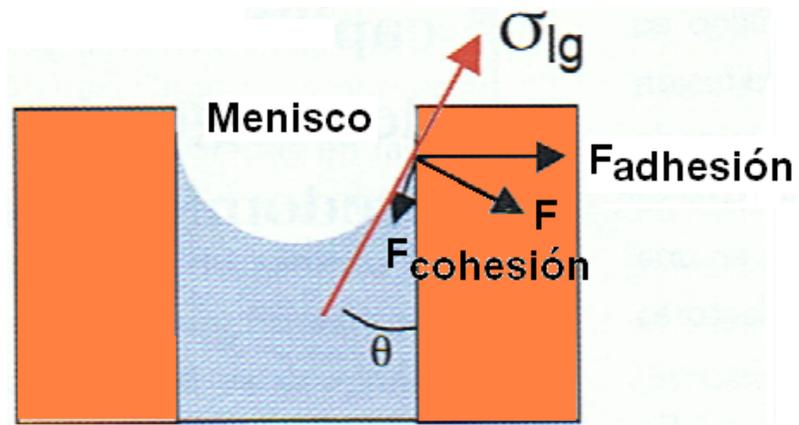


- { cohesión < adhesión $\Rightarrow \sigma_{\text{gas-sol}} > \sigma_{\text{liq-sol}} \Rightarrow$ moja
- { cohesión > adhesión $\Rightarrow \sigma_{\text{gas-sol}} < \sigma_{\text{liq-sol}} \Rightarrow$ no moja

agua+vidrio+aire $\Rightarrow \theta = 0^\circ$

Hg+vidrio+aire $\Rightarrow \theta = 140^\circ$

5.- Otros conceptos (II)





5.- Otros conceptos (II)

Se inserta un tubo de vidrio limpio de 2 mm de diámetro en agua a 15°C. Calcular la altura a la que sube el agua por el vidrio. El ángulo de contacto es de 0°



5.- Otros conceptos (III)

Ley de un gas ideal

$$p = \rho R T$$

Condiciones isothermas: en un gas

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$E = p$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = 8,314 \text{ kJ/kmol K} \\ M_{\text{aire}} = 28,97 \text{ kg/kmol} \\ R_{\text{aire}} = 0,287 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

Condiciones adiabáticas o isoentrópicas ($Q = 0$): en un gas ideal

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$

$$\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right)^k = p_1 / p_2 = \text{cte}$$

$$T_1 / T_2 = \left(p_1 / p_2 \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$E = k p$$

siendo k el exponente adiabático, $k = c_p / c_v$

Perturbaciones en la presión: ondas de velocidad

La velocidad de propagación de una onda en el fluido, c_F , es: $c_F = \sqrt{E / \rho}$ 23

Gas (20°C, 1 atm)	Peso específico, γ		R (m/K)	k (c_p/c_v) Exp. adiabático	Visco.cinem., ν (m ² /s)
	kp/m ³	Nw/m ³			
Amoniaco	0,717	7	49,2	1,32	1,535 10 ⁻⁵
Nitrógeno	1,16	11,4	30,3	1,4	1,59 10 ⁻⁵
Oxígeno	1,33	13	26,3	14	1,59 10 ⁻⁵

AIRE	Densidad, ρ	Peso específico, γ	Visco.cinem., ν	Visco. dinámica, μ
°C	kg / m ³	Nw/m ³	(m ² /s)	(Nw s / m ²)
0	1,29	12,7	13,3 10 ⁻⁶	1,725 10 ⁻⁵
20	1,2	11,8	15,1 10 ⁻⁶	1,81 10 ⁻⁵
50	1,09	10,7	17,9 10 ⁻⁶	1,95 10 ⁻⁵
80	1	9,8	20,9 10 ⁻⁶	2,09 10 ⁻⁵
100	0,95	9,28	23 10 ⁻⁶	2,3 10 ⁻⁵

AGUA	Densidad, ρ	Peso específico, γ	Visco. dinámica, μ	Tensión superficial	Presión vapor	Mod elas. E
°C	kg / m ³	kN/m ³	(N s / m ²)	(N / m)	kPa	GPa
0	1000	9,81	1,75 10 ⁻³	0,0756	0,611	2,02
20	998	9,79	1,02 10 ⁻³	0,0728	2,34	2,18
50	988	9,69	5,41 10 ⁻⁴	0,0679	12,3	2,29
80	971	9,53	3,5 10 ⁻⁴	0,0626	47,4	2,2
100	958	9,4	2,82 10 ⁻⁴	0,0589	101,3	2,07

T ^a	Aceite lubricante		Fuel oil pesado		Gasolina	
°C	Dens. relat.	V.cin. ν (m ² /s)	Dens. relat.	V.cin. ν (m ² /s)	Dens. relat.	V.cin. ν (m ² /s)
5	0,905	471 10 ⁻⁶	0,918	400 10 ⁻⁶	0,737	0,749 10 ⁻⁶
20	0,893	122 10 ⁻⁶	0,909	156 10 ⁻⁶	0,725	0,648 10 ⁻⁶
40	0,875	39,4 10 ⁻⁶	0,898	52,8 10 ⁻⁶	0,709	0,545 10 ⁻⁶
65	0,865	15,4 10 ⁻⁶				

	T	ρ	γ	μ	ν	σ	p_v (asb)	E
	°C	kg / m ³	kN/m ³	N s / m ²	m ² /s	N / m	kPa	GPa
Alcohol etílico	20	798	7,74	1,19 10 ⁻³	1,51 10 ⁻⁶	2,28 10 ⁻²	5,9	1,06
Gasolina	15,6	680	6,67	3,10 10 ⁻⁴	4,60 10 ⁻⁷	2,20 10 ⁻²	55	1,30
Mercurio	20	13.600	133	1,57 10 ⁻³	1,15 10 ⁻⁷	4,66 10 ⁻¹	1,6 10 ⁻⁴	28,5
Aceite SAE 30°	15,6	912	8,95	3,8 10 ⁻¹	4,20 10 ⁻⁴	3,6 10 ⁻²	-	1,50
Agua de mar	15,6	1.030	10,1	1,20 10 ⁻³	1,17 10 ⁻⁶	7,34 10 ⁻²	1,77	2,34
Agua	15,6	999	9,80	1,12 10 ⁻³	1,12 10 ⁻⁶	7,34 10 ⁻²	1,77	2,15

Presión de Vapor del Agua

