

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

UNIDAD N°1: Propiedades de los fluidos

Docentes:

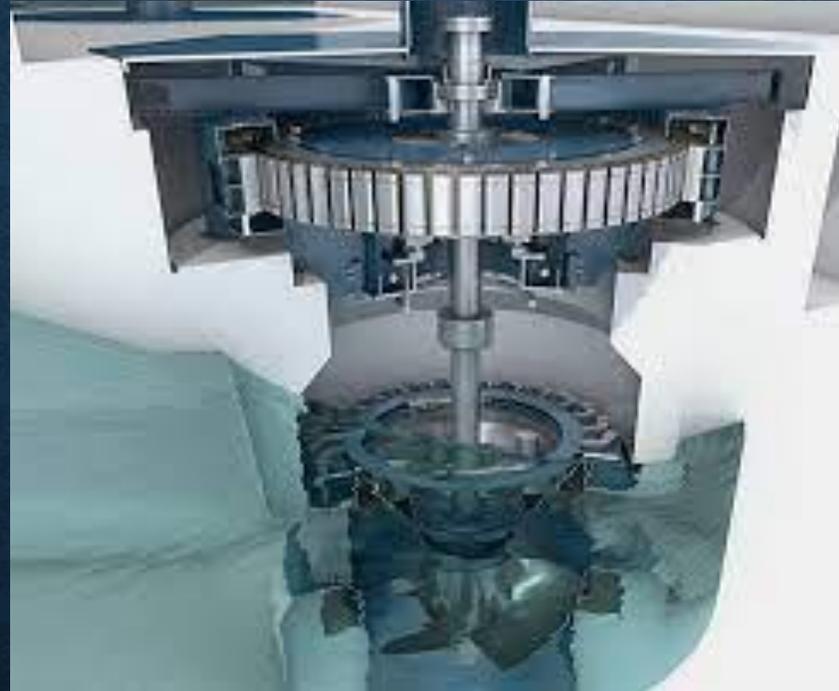
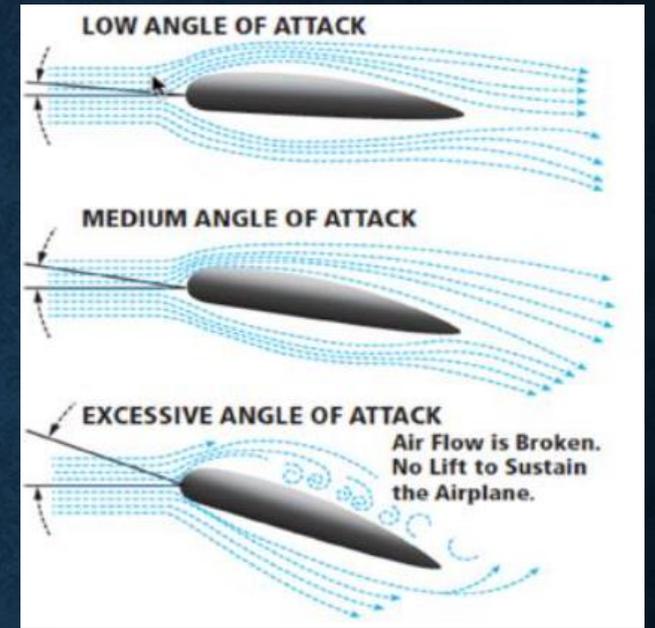
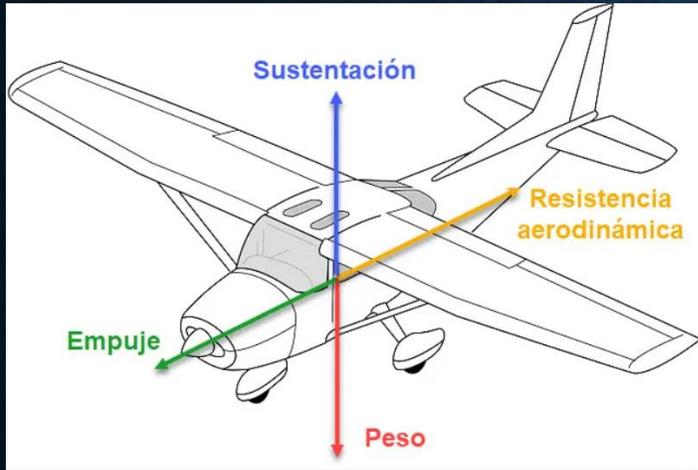
- Ing. RODRIGUEZ, Carlos
- Ing. CORREA, Gustavo
- Ing. POLISCZUK, Dario

INTRODUCCIÓN

Mecánica, corresponde a la parte de la física que se encarga de estudiar tanto los cuerpos en reposo (*Estática*) como aquellos que se encuentran en movimiento bajo la influencia de fuerzas (*Dinámica*).

Una subcategoría es la *Mecánica de los fluidos*, que se define como la ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos en reposo (*Estática de los fluidos*), o en movimiento (*Dinámica de los fluidos*), y la interacción de éstos con sólidos o con otros fluidos en las fronteras.

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

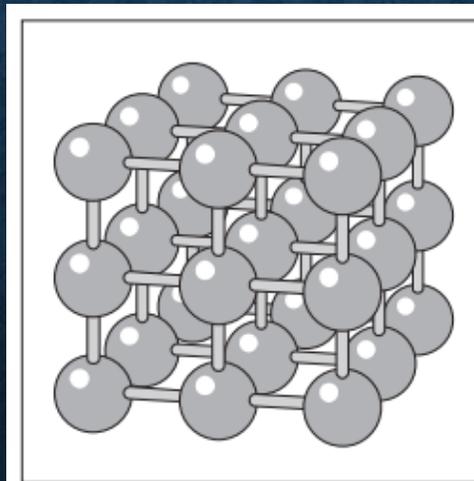
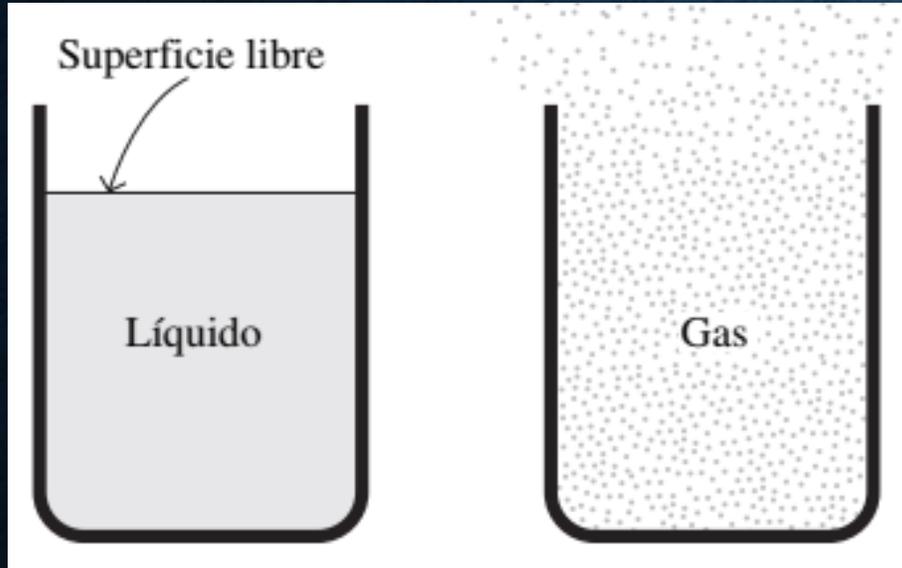
Fluido: es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Los fluidos se clasifican en *líquidos* y *gases*.

Los *líquidos*, ofrecen gran resistencia al cambio de forma pero no de volumen. Y los *gases* ofrecen poca resistencia al cambio de forma y volumen.

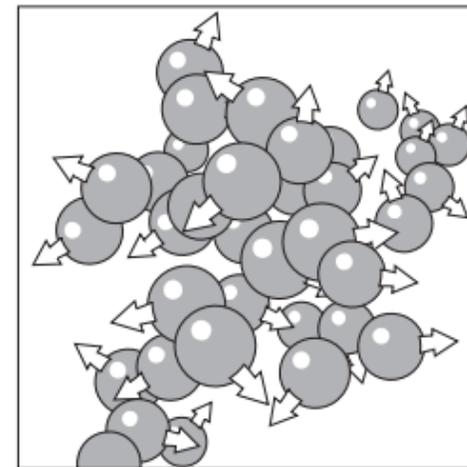
El comportamiento de los *líquidos* y los *gases* es análogo en conductos cerrados (tuberías) pero no en conductos abiertos (canales), porque solo los *líquidos* son capaces de crear una superficie libre.

En general los *sólidos* y los *líquidos* son poco compresibles y los gases muy compresibles (en general ningún material es estrictamente incompresible).

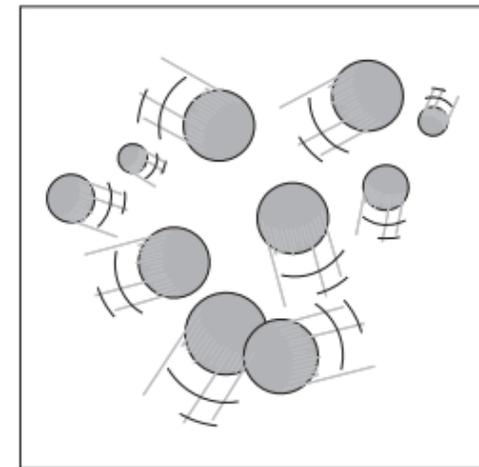
INTRODUCCIÓN



a)



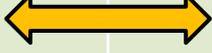
b)



c)

CLASIFICACIONES DEL FLUJO DE FLUIDOS

Movimiento o circulación de un fluido sin alterar sus propiedades físicas o químicas.

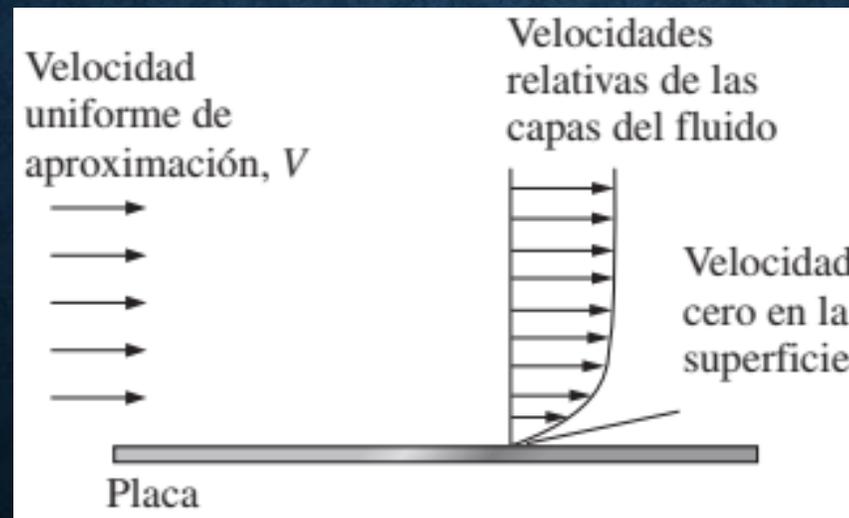
Clasificación		
Flujo viscoso		Flujo no viscoso
Flujo interno		Flujo externo
Flujo compresible		Flujo incompresible
Flujo laminar		Flujo turbulento
Flujo Natural		Flujo forzado
Flujo estacionario		Flujo no estacionario

CONDICIÓN DE NO DESLIZAMIENTO

Los efectos viscosos son los responsables de que el fluido en contacto directo con un sólido generen una *Condición de no deslizamiento*.

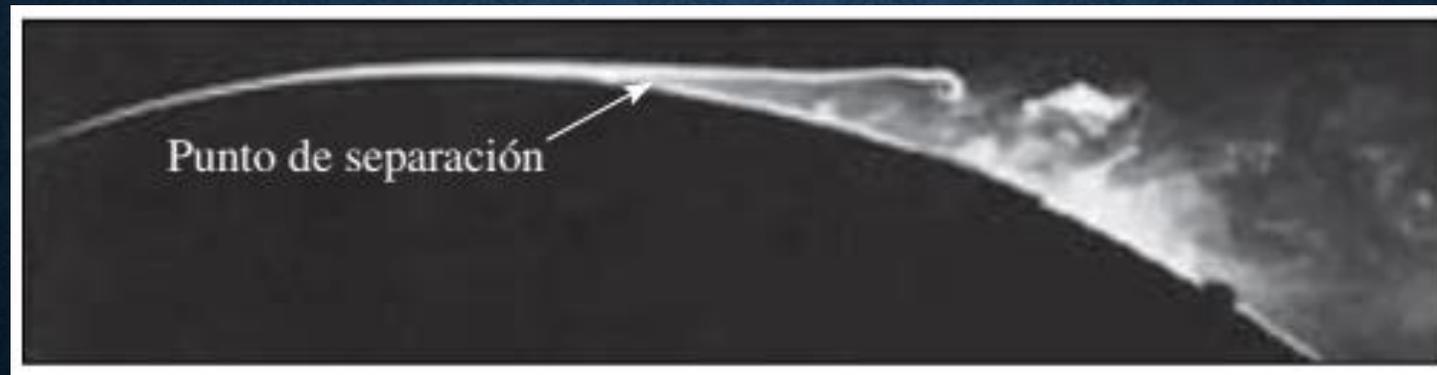
La capa que se pega a la superficie desacelera la capa adyacente del fluido, debido a las fuerzas viscosas entre las capas de fluido, lo cual desacelera a la capa siguiente y así sucesivamente, formando un perfil de velocidades.

La región del fluido adyacente a la pared, en la cual los efectos viscosos son significativos se llama *Capa Límite*.



CONDICIÓN DE NO DESLIZAMIENTO

Cuando la capa límite ya no puede permanecer adherida a la superficie, y en algún punto, se separa de ella; este fenómeno se conoce como *Separación de flujo*.



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

- Propiedades extensivas e intensivas.
- Densidad y gravedad específica.
- Presión de vapor y cavitación.
- Coeficiente de compresibilidad.
- Viscosidad.
- Tensión superficial y capilaridad.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Sistemas de Unidades

Magnitudes Fundamentales			
Sistema Georgi o MKS		Sistema Técnico (ST)	
Masa	<i>Kilogramo, kg</i>	Fuerza	<i>Kilopondio, kp</i>
Longitud	<i>Metro, m</i>	Longitud	<i>Metro, m</i>
Tiempo	<i>Segundos, s</i>	Tiempo	<i>Segundo, s</i>

Los dos sistemas se diferencian: El sistema MKS es un sistema másico, porque la masa en él es magnitud fundamental (mientras la fuerza es una magnitud derivada); el sistema técnico es un sistema gravitatorio, porque la fuerza en el es magnitud fundamental (mientras que la masa es una magnitud derivada).

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Propiedades: Cualquier característica de un sistema.

Intensivas

- Presión
- Temperatura
- Compresibilidad
- Densidad.
- Viscosidad.
- Punto de ebullición.
- Punto de fusión.

Extensivas

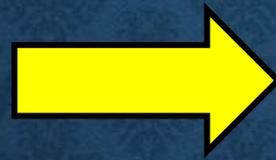
- Peso.
- Longitud.
- Volumen.
- Masa.
- Fuerza.

Se usan letras mayúsculas para denotar las propiedades extensivas (la masa m es una excepción importante) y minúsculas para las propiedades intensivas (las excepciones obvias son la presión P y la temperatura T).

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Densidad

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \text{Densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$



$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \rightarrow \text{volumen específico} \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

En general, la densidad de una sustancia depende de la temperatura y la presión. En los gases.

- En la mayoría de los gases, la densidad es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura (Se rige por la ecuación de los gases ideales).
- Los líquidos y sólidos, se consideran sustancias incompresibles, y por lo tanto la variación de la densidad con la presión suele ser despreciable.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05



Variación de la densidad
con la temperatura

Peso específico

$$\gamma_s = \rho \cdot g \rightarrow \text{Peso específico} \left(\frac{N}{m^3} \right)$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Densidad relativa o gravedad específica

A la relación entre la densidad de una sustancia a la densidad de una sustancia estándar, a una temperatura especificada, en general se considera agua a 4°C.

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3} \rightarrow \text{Densidad del agua a } 4^\circ C.$$

$$GE = \rho_r = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \rightarrow \text{Densidad relativa o gravedad específica}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Presión de vapor

A una presión determinada, la temperatura a la cual una sustancia pura cambia de fase se conoce como *Temperatura de Saturación* " T_{sat} ". De manera semejante, a una temperatura dada, la presión a la cual una sustancia pura cambia de fase se llama *Presión de Saturación* " P_{sat} ".

La *Presión de Vapor* " P_v " de una sustancia pura se define como la presión ejercida por su vapor en equilibrio de fases con su líquido a una temperatura dada. La P_v es una propiedad de la sustancia pura y resulta ser igual a la P_{sat} del líquido.

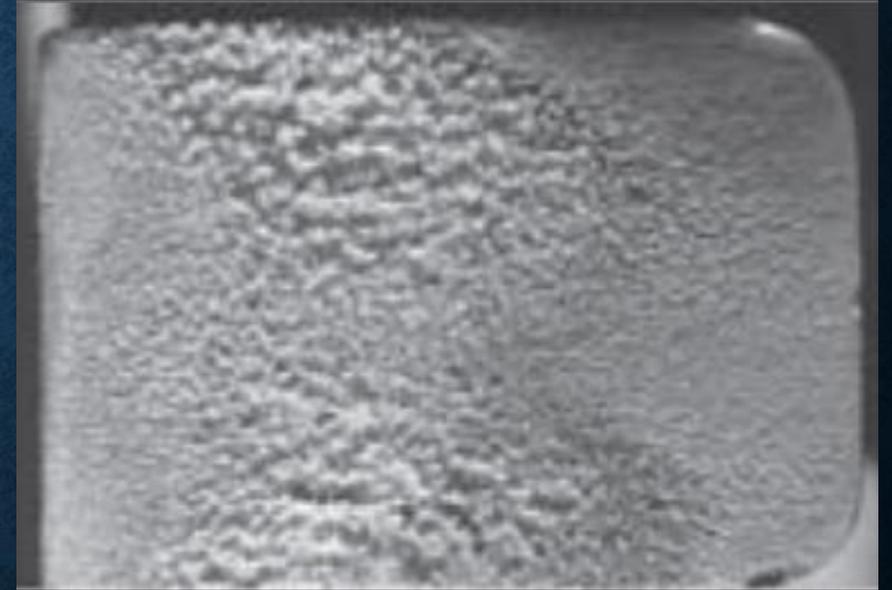
Presión de saturación (o de vapor)
del agua a varias temperaturas

Temperatura $T, ^\circ\text{C}$	Presión de saturación P_{sat}, kPa
-10	0.260
-5	0.403
0	0.611
5	0.872
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.38
50	12.35
100	101.3 (1 atm)
150	475.8
200	1 554
250	3 973
300	8 581

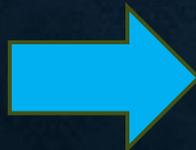
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Cavitación

Por efecto de la disminución de la presión, o el incremento de la temperatura, se producen burbujas de vapor que terminan colapsando en nuevas condiciones de presión y temperatura, originando incrementos puntuales de presión, de tal magnitud que provocan la erosión de los sólidos que están en contacto con el líquido (erosión por cavitación).



Mirar el video



<https://www.youtube.com/watch?v=j8URMjzhCec&t=344s>

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Compresibilidad

$$\Delta p = -E \cdot \frac{\Delta v}{v}$$

En los fluidos lo mismo que en los solidos se verifica la ley fundamental de la elasticidad:

“El esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria”.

$\Delta p \rightarrow$ esfuerzo unitario de compresión (N/m^2)

$v \rightarrow$ volumen específico (m^3/kg)

$\Delta v \rightarrow$ Incremento de volumen específico (m^3/kg)

$E \rightarrow$ módulo de elasticidad volumétrica (N/m^2), para el agua $E = 20.000 \times 10^5 N/m^2$

El signo – indica que un incremento de presión corresponde a un decremento de volumen.

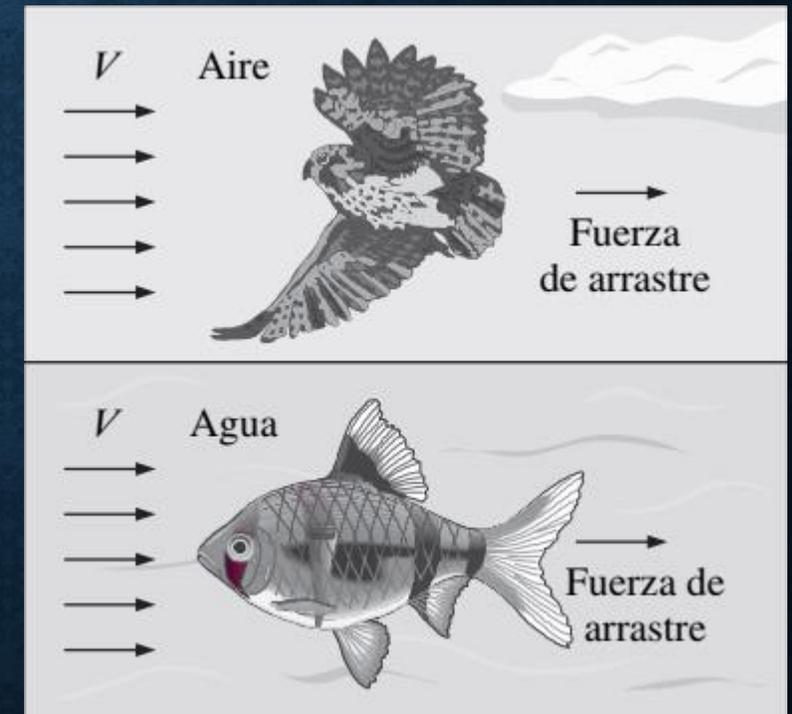
Al aumentar la temperatura y la presión aumenta también E.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

Viscosidad, representa la resistencia interna de un fluido al movimiento o la “fluidez”.

La fuerza que un fluido fluyente sobre un cuerpo en la dirección del flujo se llama “*Fuerza de arrastre*”



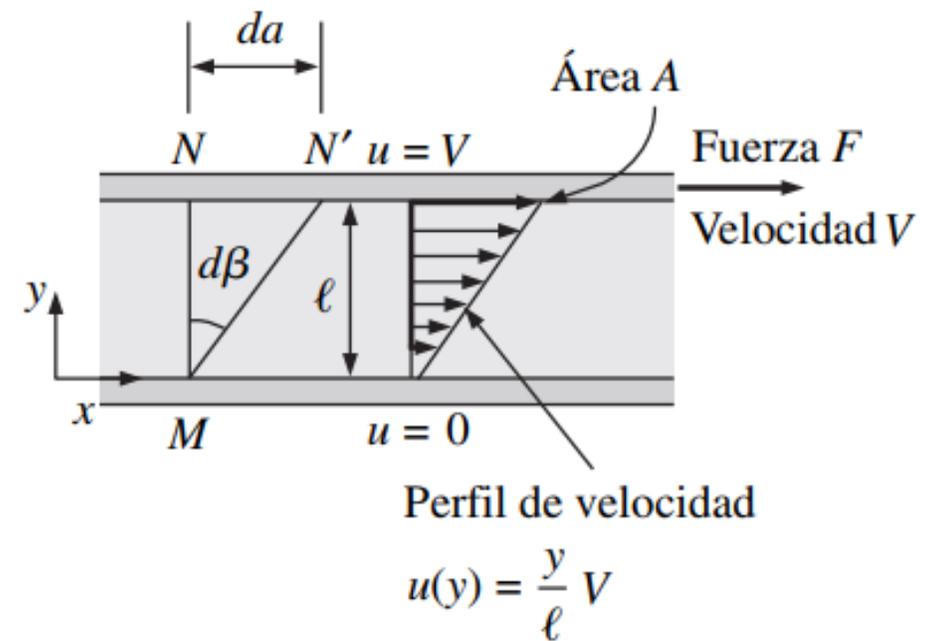
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

$$\tau = \frac{F}{A} \rightarrow \text{Esfuerzo cortante} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

$$u(y) = \frac{y}{l} \cdot V \rightarrow \text{Perfil de velocidades}$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{V}{l} \rightarrow \text{Gradiente de velocidades}$$



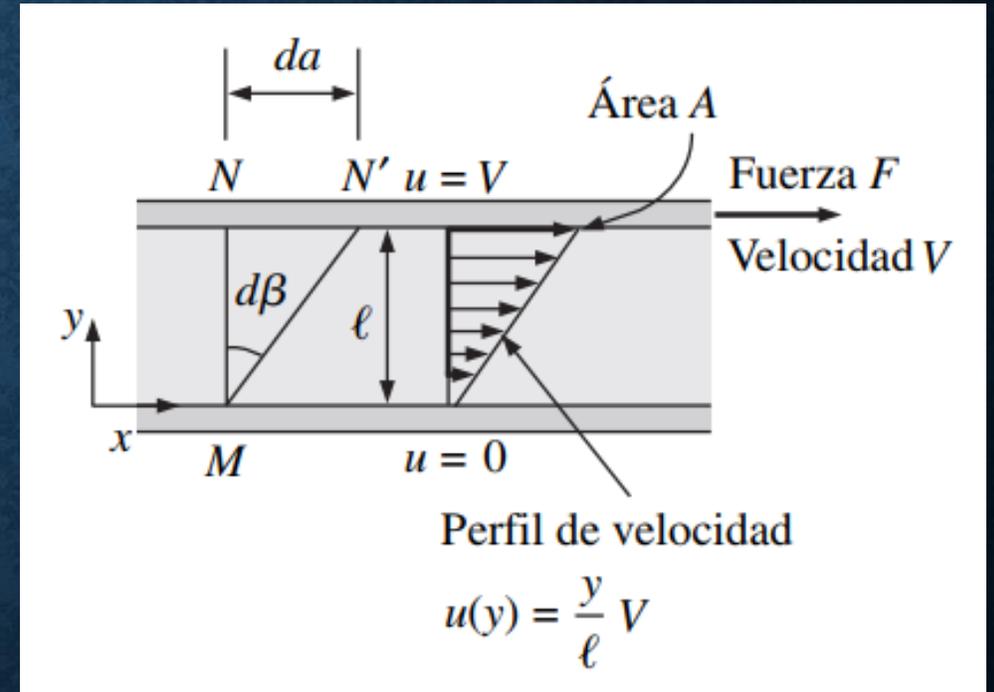
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

$$d\beta \approx \tan\beta = \frac{da}{l} = \frac{V \cdot dt}{l} = \frac{du}{dy} \cdot dt$$

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{du}{dy}$$

$\tau \propto \frac{d\beta}{dt} = \frac{du}{dy} \rightarrow$ Los fluidos para los cuales la razón de deformación es proporcional al esfuerzo cortante se denominan "**Fluidos Newtonianos**"



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

Para flujo tangencial unidimensional de fluidos newtonianos

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \rightarrow \text{donde } \mu \text{ se llama } \mathbf{coeficiente de viscosidad o}$$
$$\mathbf{viscosidad dinámica (o absoluta)} \left(\frac{N \cdot s}{m^2} \text{ o } Pa \cdot s \right)$$

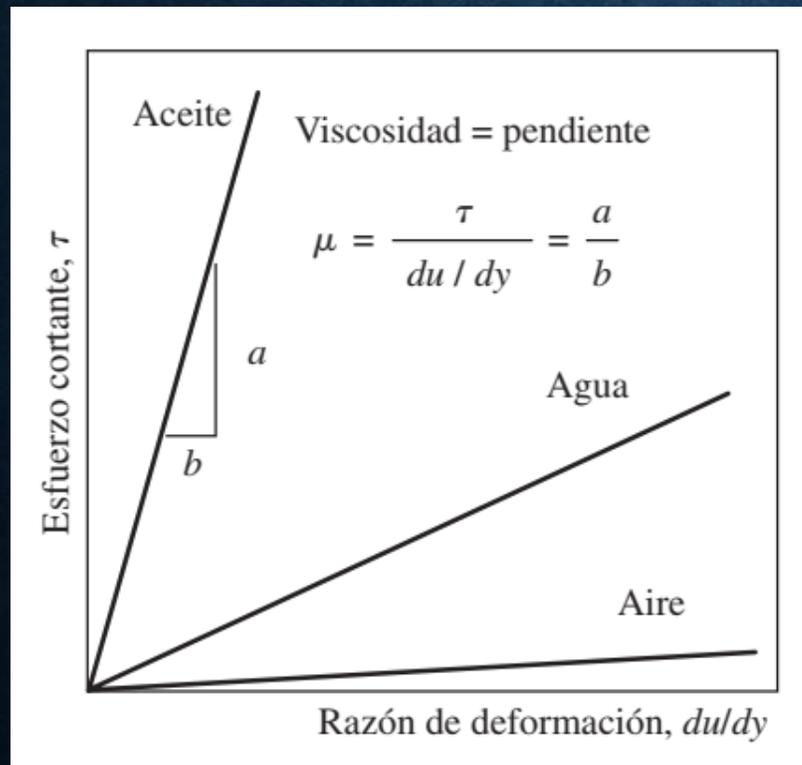
$$\tau = \mu \cdot A \cdot \frac{du}{dy} \rightarrow \text{Fuerza cortante (N)}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \rightarrow \mathbf{viscosidad cinemática} \left(\frac{m^2}{s} \text{ ó Stoke "St"} \right)$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

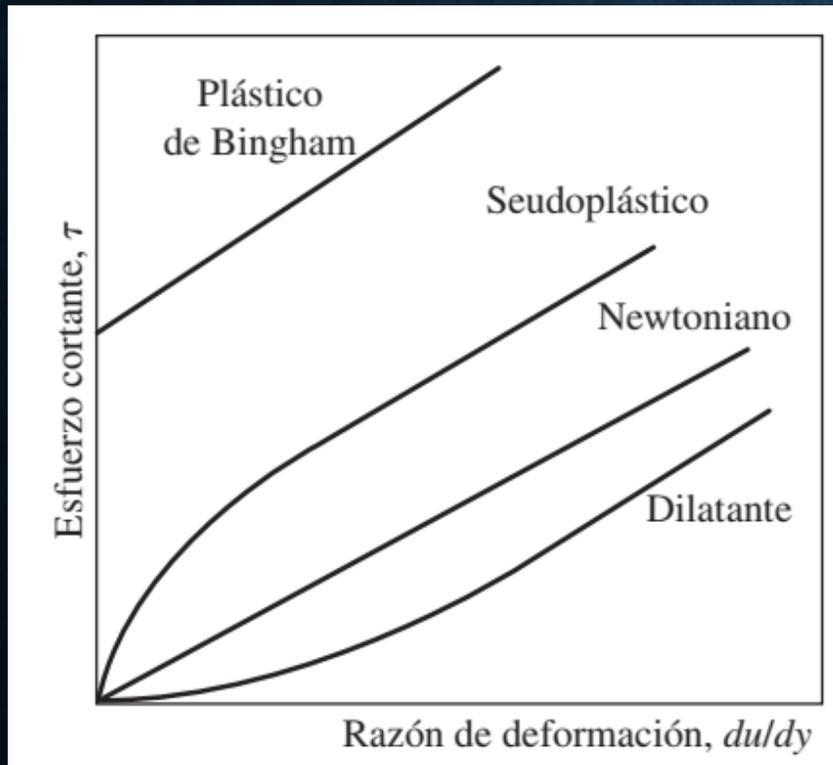
Viscosidad

$$\tau = \mu \cdot A \cdot \frac{du}{dy} = \mu \cdot A \cdot \frac{V}{l} \rightarrow (N)$$



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad



Fluidos	
Newtonianos	- Es constante igual a μ .
Seudoplásticos o adelgazantes al corte.	- Viscosidad aparente. - Materiales: algunas pinturas, las soluciones de polímeros y los fluidos con partículas suspendidas).
Dilatantes o espesantes al corte	- Viscosidad aparente. - Soluciones con almidón o arena suspendidos.
Plástico de Bingham	- Soportan un esfuerzo de corte finito como un sólido y luego se comportan como un líquido cuando el esfuerzo supera su valor de fluencia.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

Aire a 20°C y 1 atm:

$$\mu = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

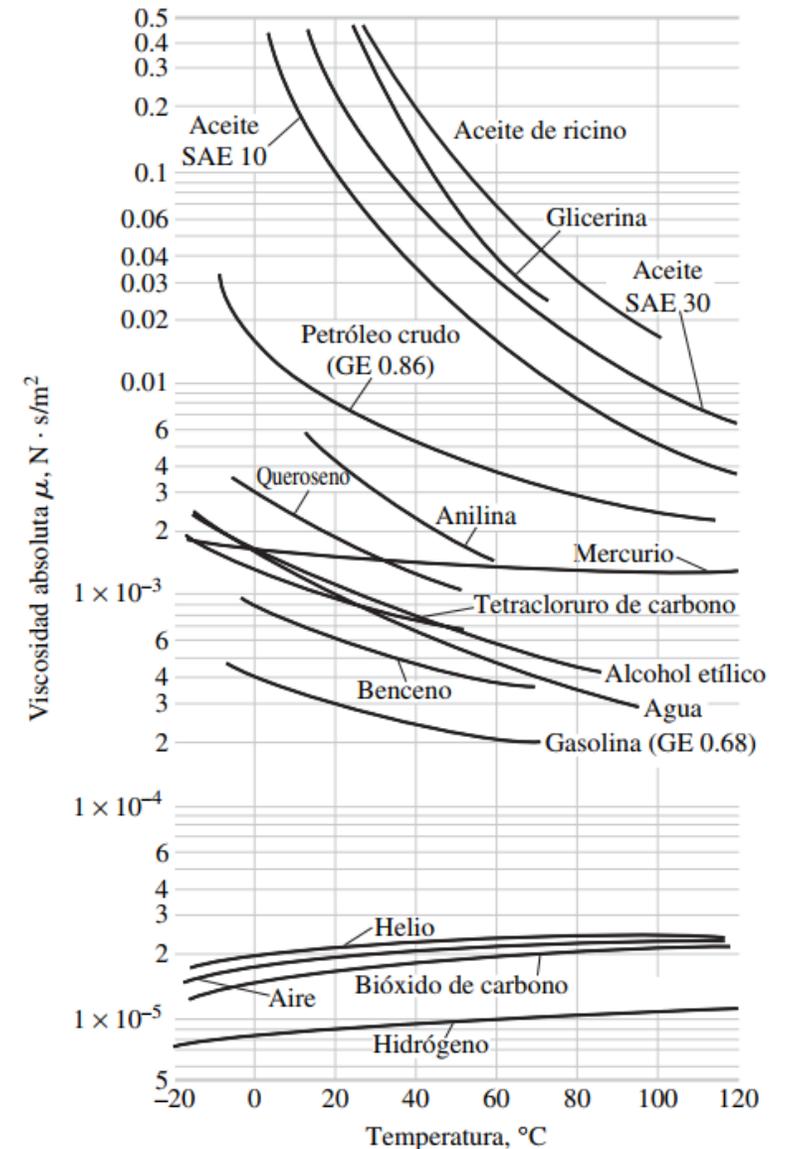
$$\nu = 1.52 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Aire a 20°C y 4 atm:

$$\mu = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$\nu = 0.380 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Viscosidad dinámica a 1 atmósfera de presión

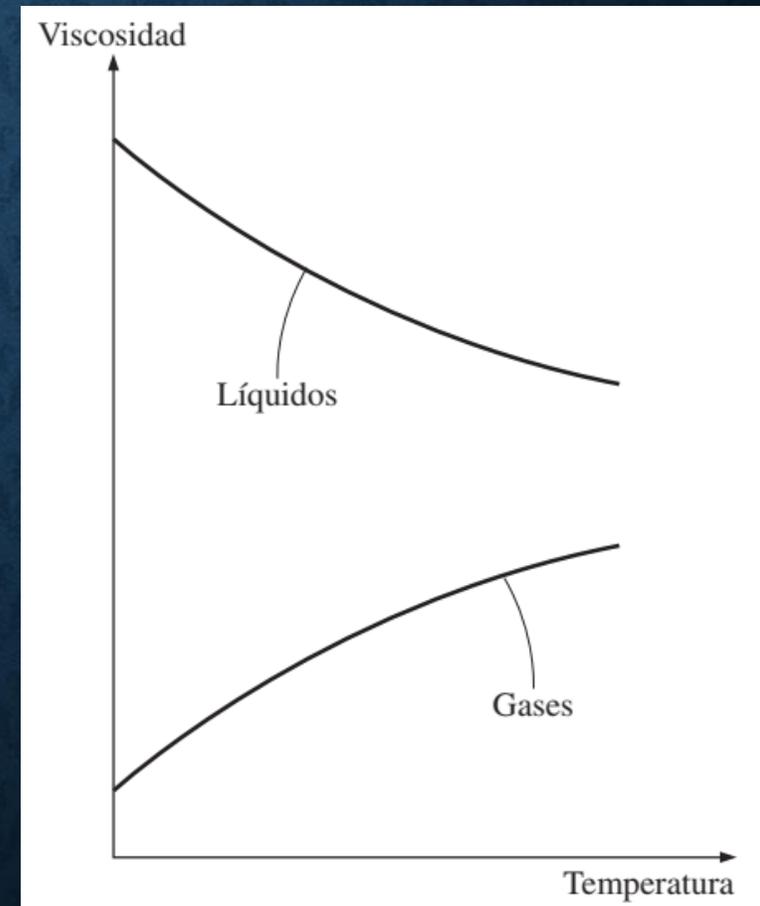


PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Viscosidad

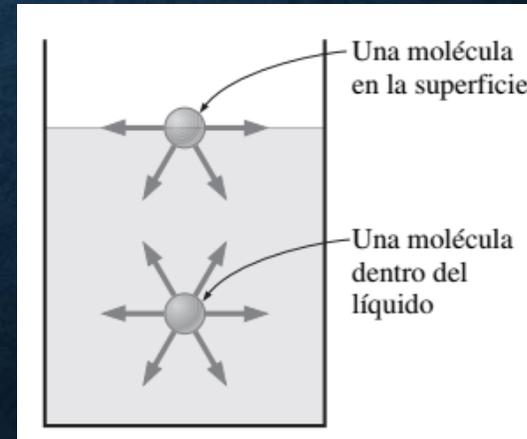
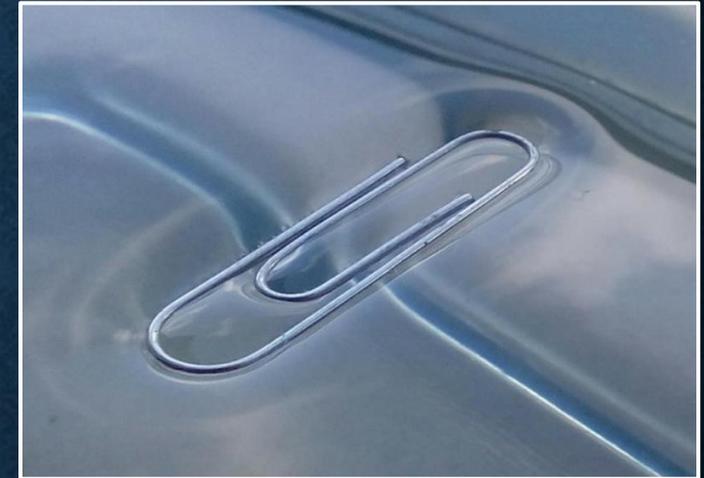
$$\mu = \frac{a \cdot T^{1/2}}{1 + \frac{b}{T}} \left(\frac{N \cdot s}{m^2} \right) \rightarrow \text{para gases}$$

$$\mu = a \cdot 10^{b/(T-c)} \left(\frac{N \cdot s}{m^2} \right) \rightarrow \text{para líquidos}$$



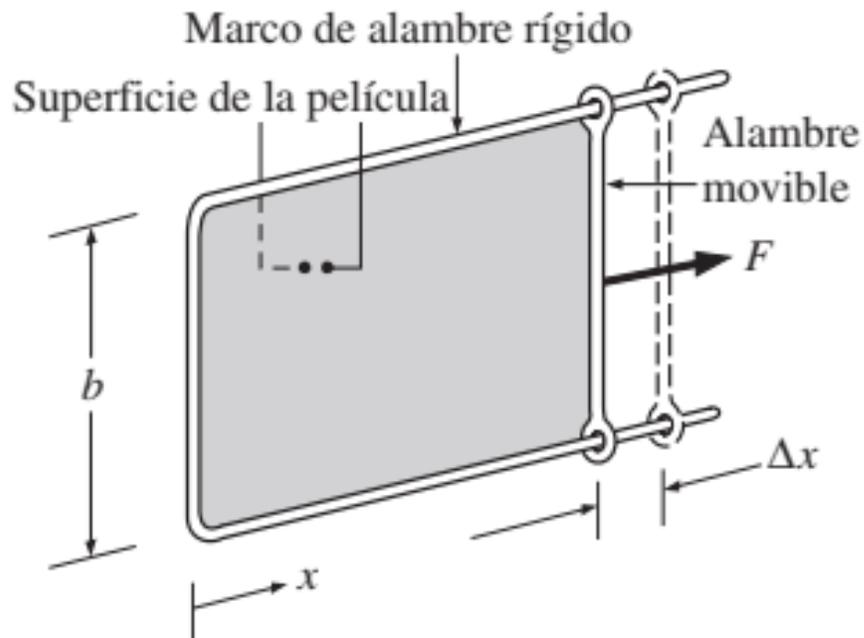
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Tensión superficial



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Tensión superficial



$F = 2 \cdot b \cdot \sigma_s \rightarrow$ Equilibrio de fuerzas sobre el alambre movable

$$\sigma_s = \frac{F}{2 \cdot b} \left(\frac{N}{m} \right)$$

Trabajo

$$W = F \cdot \Delta x = 2 \cdot b \cdot \sigma_s \cdot \Delta x = \sigma_s \cdot A$$

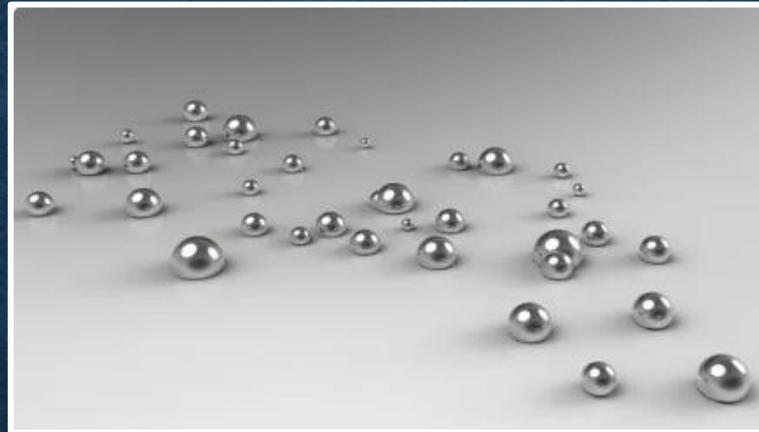
"Se puede interpretar como: la energía superficial de la película se incrementa en una cantidad W durante el estiramiento"

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Tensión superficial

Tensión superficial de algunos fluidos en aire a 1 atm y 20°C
(a menos que se indique otra cosa)

Fluido	Tensión superficial σ_s , N/m*
Agua:	
0°C	0.076
20°C	0.073
100°C	0.059
300°C	0.014
Glicerina	0.063
Aceite SAE 30	0.035
Mercurio	0.440
Alcohol etílico	0.023
Sangre, 37°C	0.058
Gasolina	0.022
Amoniaco	0.021
Solución de jabón	0.025
Queroseno	0.028

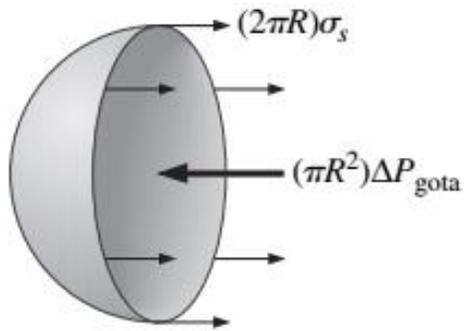


Impurezas

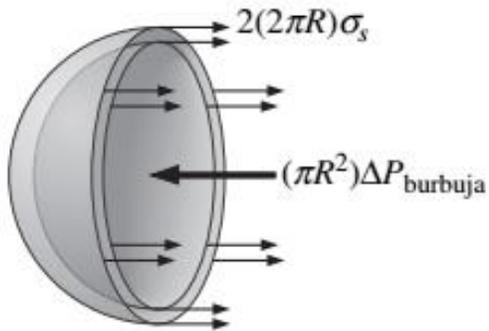
Sufractantes

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Tensión superficial



a) Mitad de una gota



b) Mitad de una burbuja

Gota:

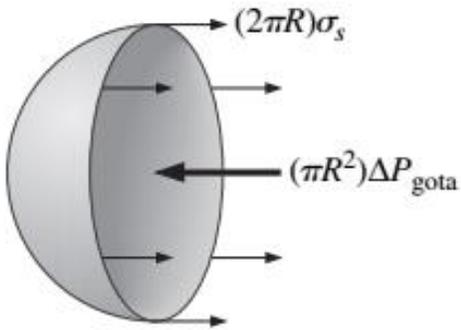
$$(2\pi R)\sigma_s = (\pi R^2)\Delta P_{gota} \rightarrow \Delta P_{gota} = P_i - P_0 = \frac{2\sigma_s}{R}$$

Burbuja:

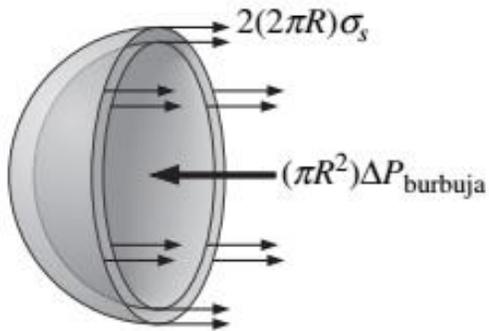
$$2(2\pi R)\sigma_s = (\pi R^2)\Delta P_{burbuja} \rightarrow \Delta P_{burbuja} = P_i - P_0 = \frac{2\sigma_s}{R}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Tensión superficial



a) Mitad de una gota



b) Mitad de una burbuja

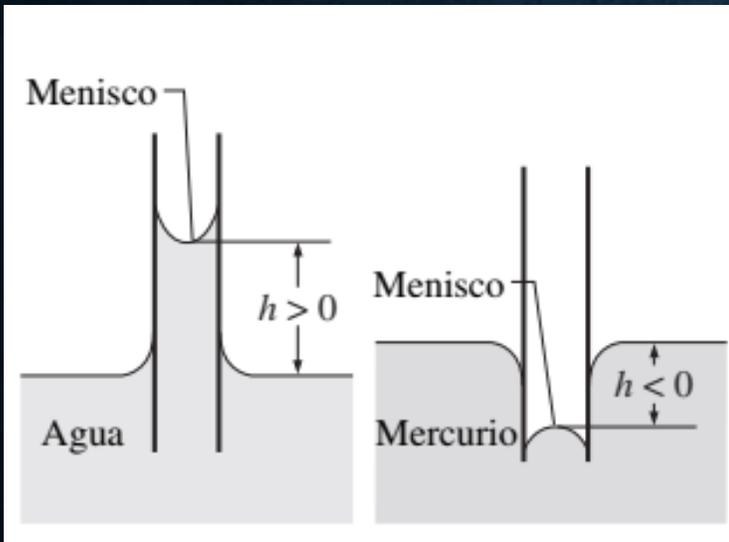
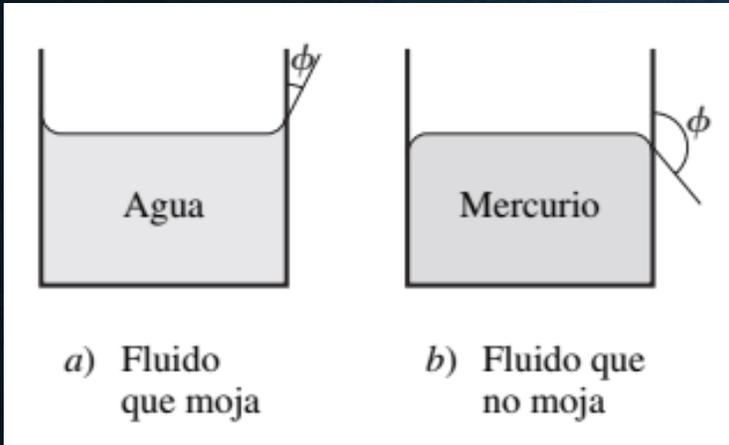
$$\delta W_{superficial} = \sigma_s dA = \sigma_s d(4\pi R^2) = 8\pi\sigma_s dR$$

$$\delta W_{expansión} = F dR = (\Delta P A) dR = 4\pi R^2 \Delta P dR$$

$$\delta W_{superficial} = \delta W_{expansión} \rightarrow \Delta P_{gota} = \frac{2\sigma_s}{R}$$

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Capilaridad



$$W = mg = \rho V g = \rho g (\pi R^2 h)$$

$$W = F_{\text{superficial}} \rightarrow \rho g (\pi R^2 h) = 2\pi R \sigma_s \cos\phi$$

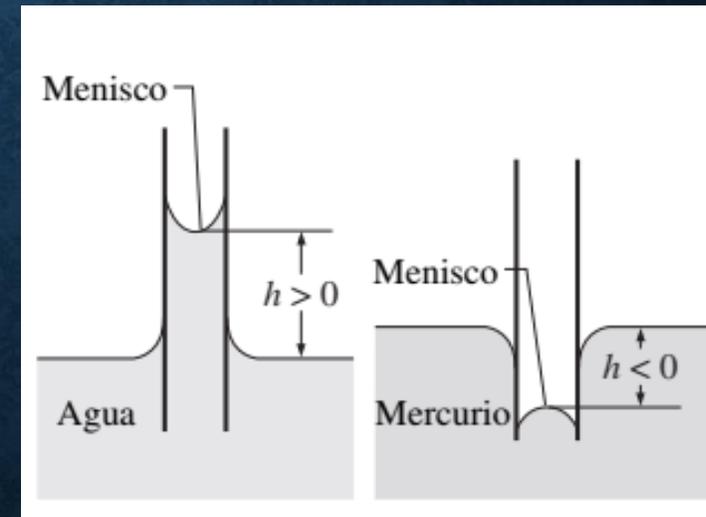
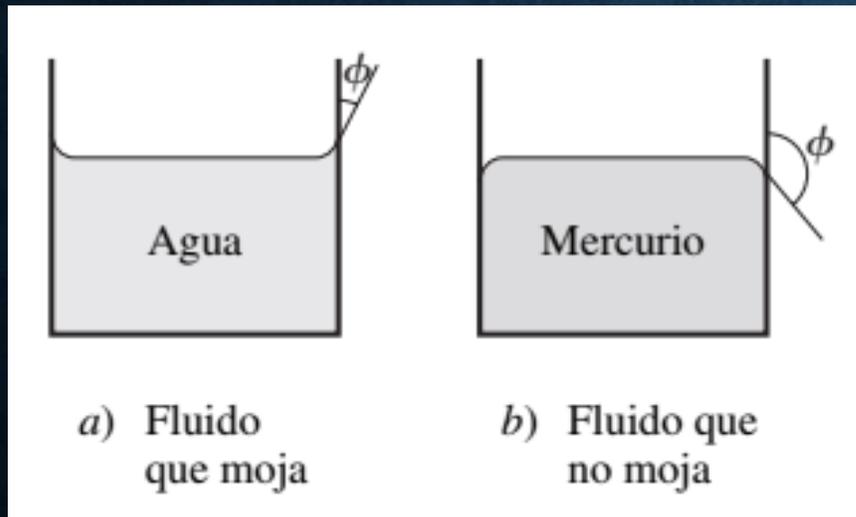
$$h = \frac{2\sigma_s}{\rho g R} \cos\phi \rightarrow \text{ascenso por capilaridad (R = constante)}$$

Si $\phi > 90^\circ$, esto implica que $\cos\phi < 0$, existe un descenso capilar

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Capilaridad

Un efecto importante de la tensión superficial es el *Efecto de Capilaridad*, el cual es el ascenso o el descenso de un líquido en un tubo de diámetro pequeño insertado en un líquido. Estos tubos angostos o canales de flujo confinado se llaman *Capilares*.



MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

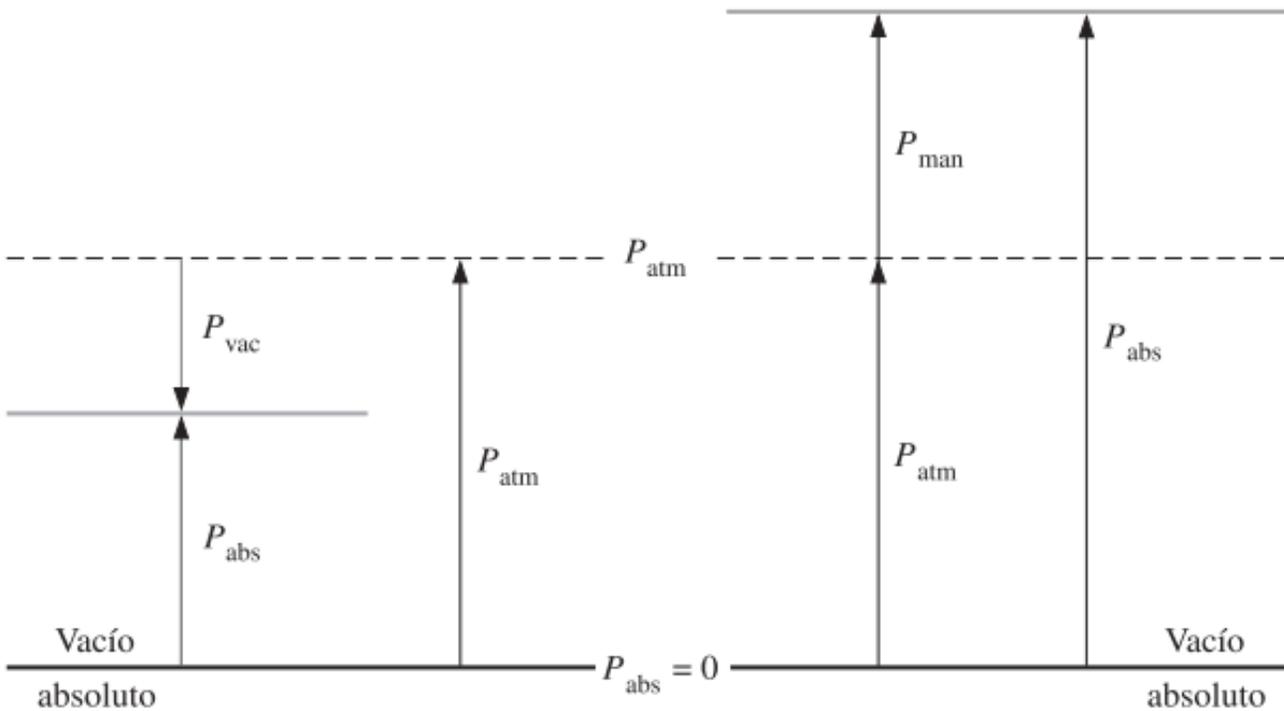
UNIDAD N°2: Hidrostática

Docentes:

- Ing. RODRIGUEZ, Carlos
- Ing. CORREA, Gustavo
- Ing. POLISCZUK, Dario

HIDROSTÁTICA

Presión

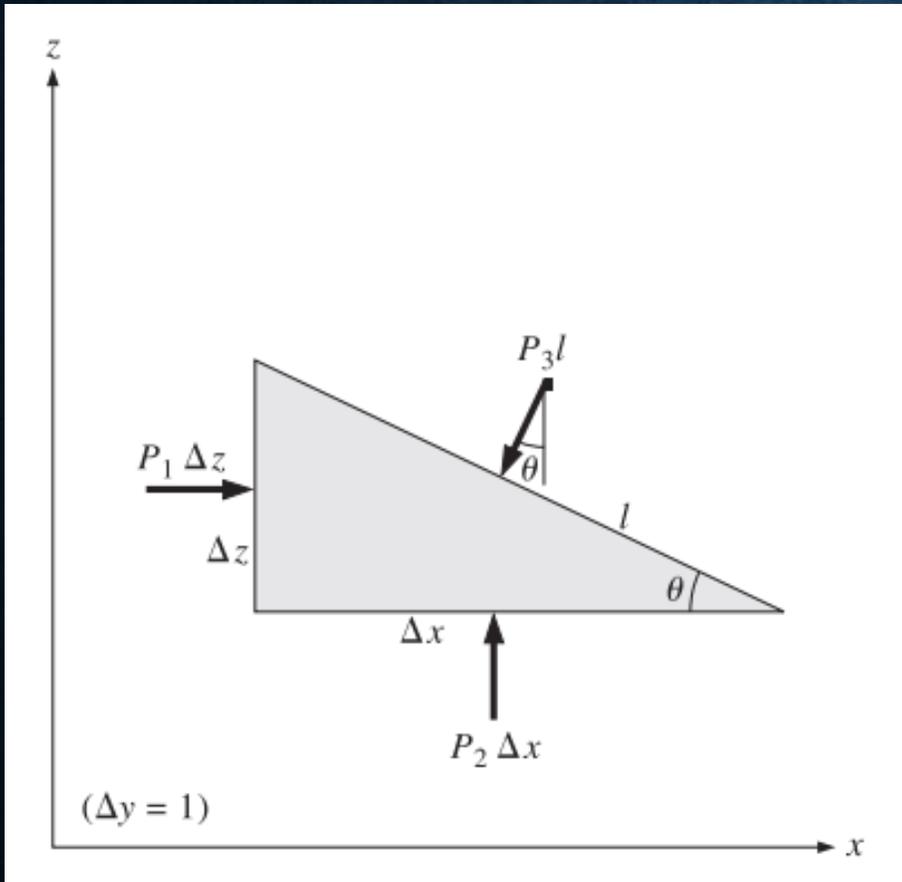


$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

HIDROSTÁTICA

Presión en un punto



$$\sum F_x = ma_x = 0 \rightarrow P_1 \Delta z - P_3 l \cdot \text{sen} \theta = 0$$

$$\sum F_z = ma_z = 0 \rightarrow P_2 \Delta x - P_3 l \cdot \text{cos} \theta - \frac{1}{2} \rho g \Delta x \Delta z = 0$$

Sabiendo que se cumplen las siguientes relaciones

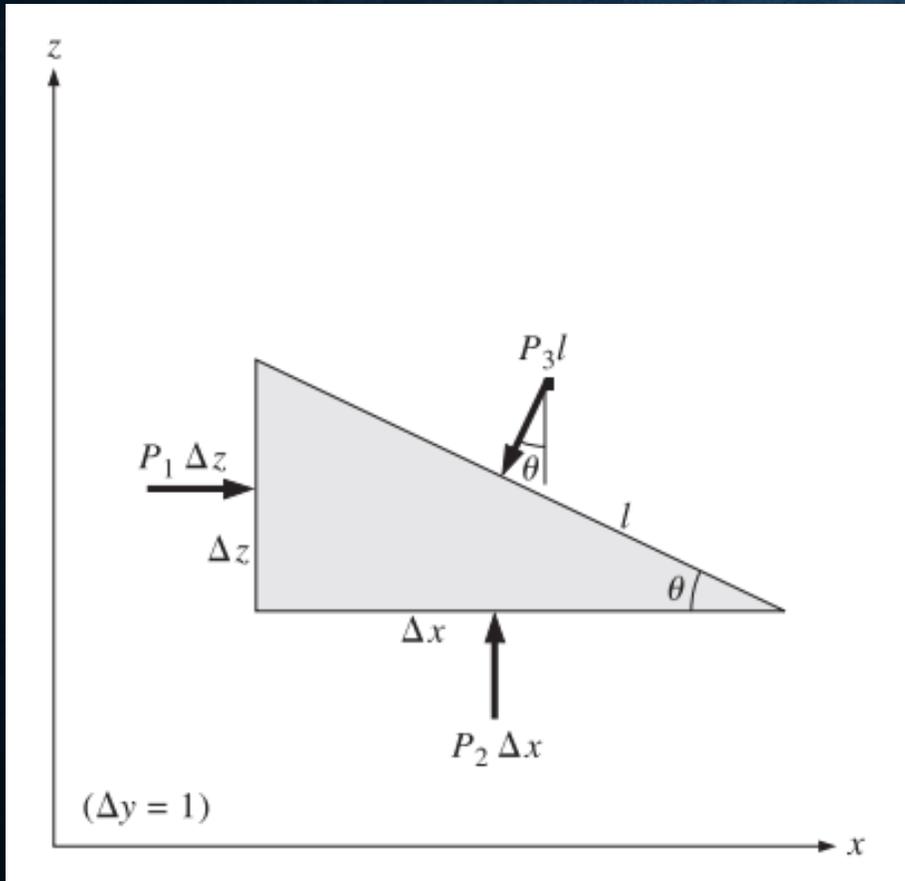
$$w = mg = \frac{1}{2} \rho g \Delta x \Delta z = 0$$

$$\Delta x = l \cdot \text{cos} \theta$$

$$\Delta z = l \cdot \text{sen} \theta$$

HIDROSTÁTICA

Presión en un punto



$$P_1 - P_3 = 0$$

$$P_2 - P_3 - \frac{1}{2} \rho g \Delta z = 0 \rightarrow \text{El último término se cancela cuando } \Delta z \text{ tiende a cero}$$

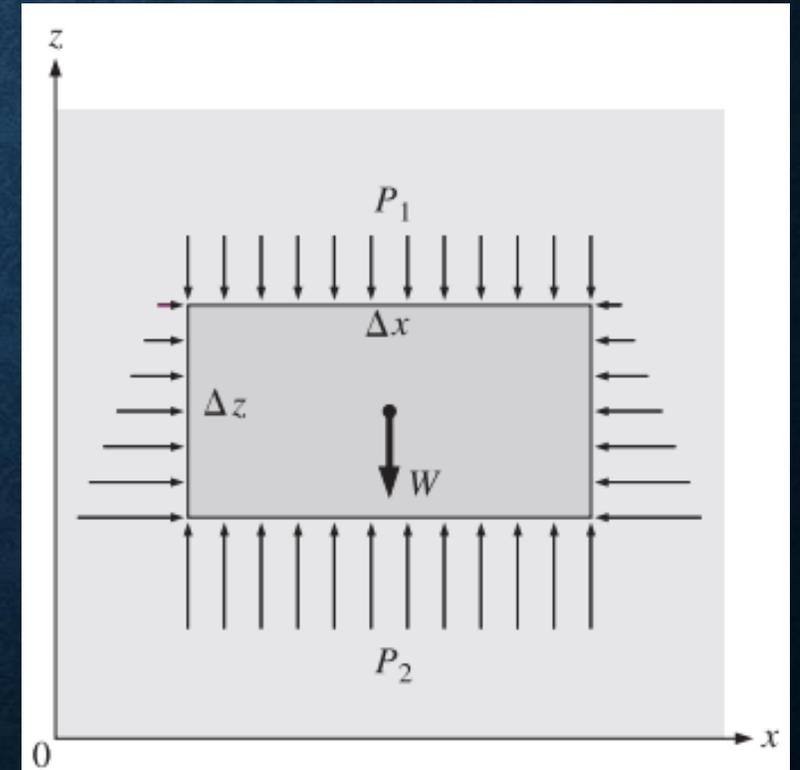
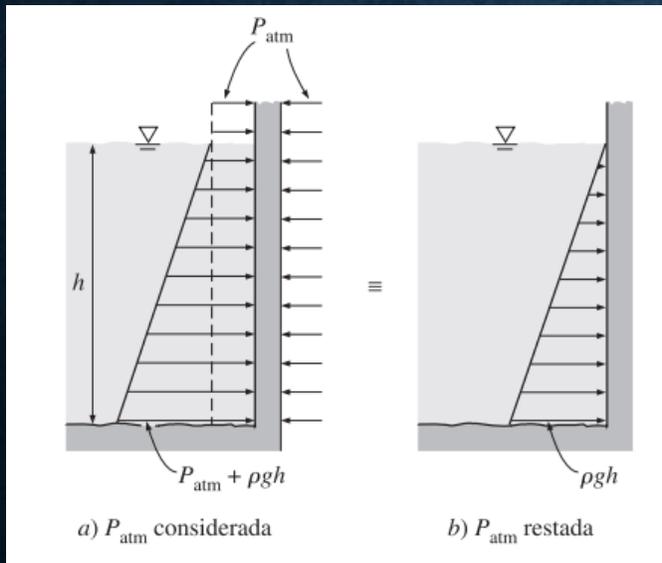
$P_1 = P_2 = P_3 = P \rightarrow$ "La presión en un fluido tiene la misma magnitud en todas las direcciones"

HIDROSTÁTICA

Variación de la presión con la profundidad

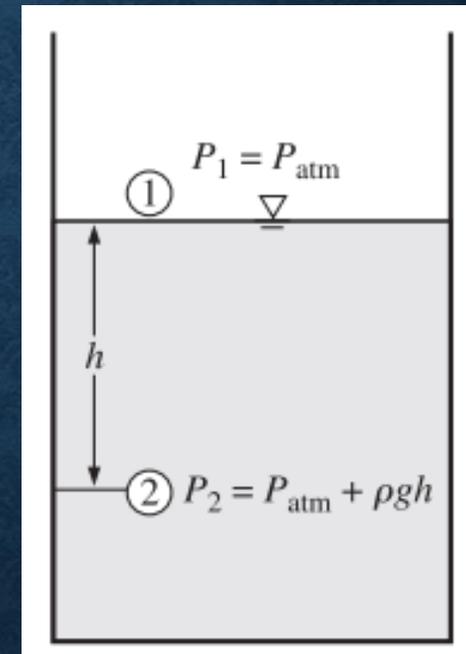
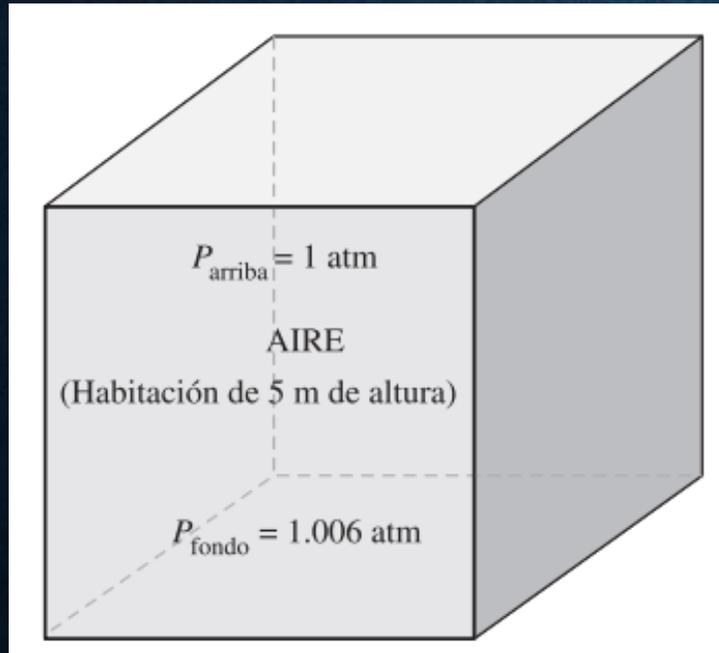
$$\sum F_z = ma_z = 0 \rightarrow P_2\Delta x - P_1\Delta x - \rho g\Delta x\Delta z = 0$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g\Delta z = \gamma_s\Delta z$$



HIDROSTÁTICA

Variación de la presión con la profundidad



$$P_2 = P_{\text{atm}} + \rho h g$$

$$P_{\text{man}} = \rho h g$$

HIDROSTÁTICA

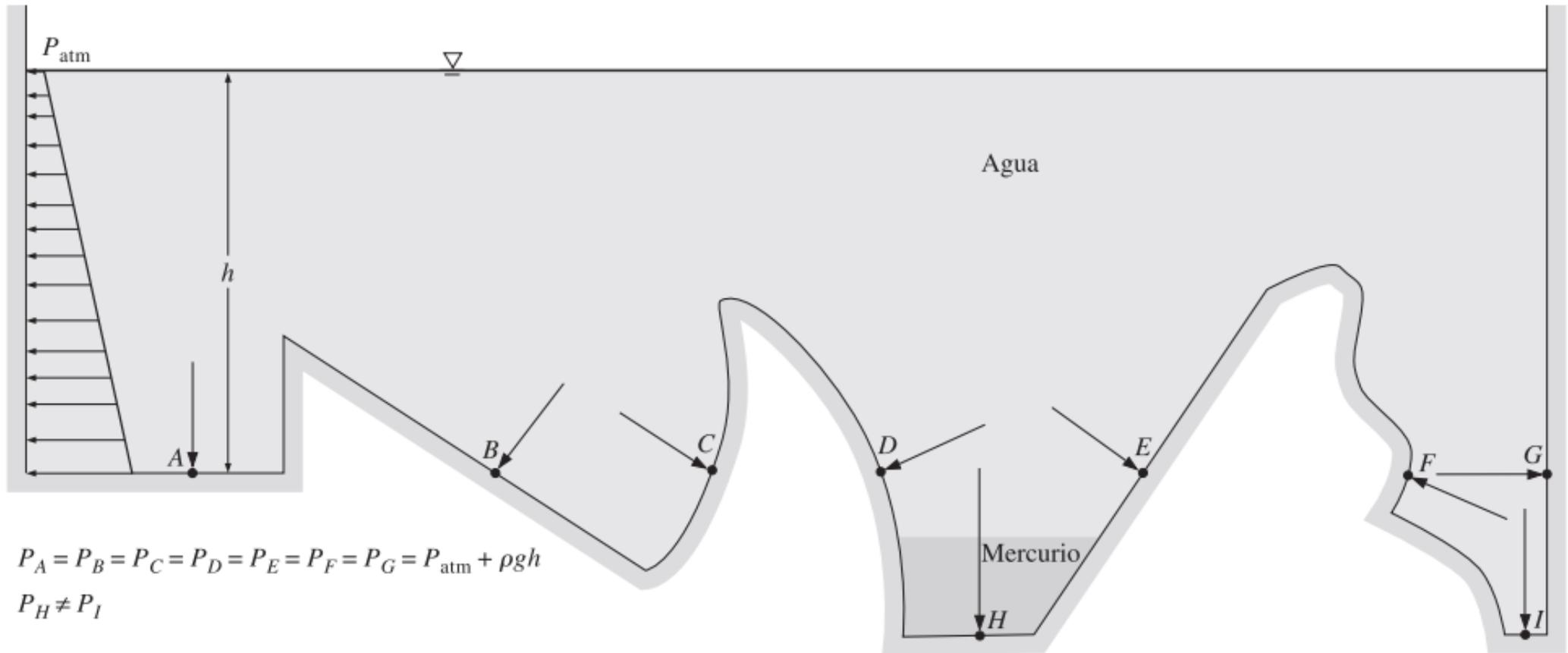
Ejercicio N°1

Determinar la presión relativa y absoluta en el fondo de un recipiente abierto a la atmósfera:

- a) Si está lleno de agua;
- b) Si está lleno de gasolina de densidad igual a 700kg/m^3 . La profundidad del líquido en el recipiente es $h=4\text{m}$. La presión atmosférica es igual a 750 Torr.

HIDROSTÁTICA

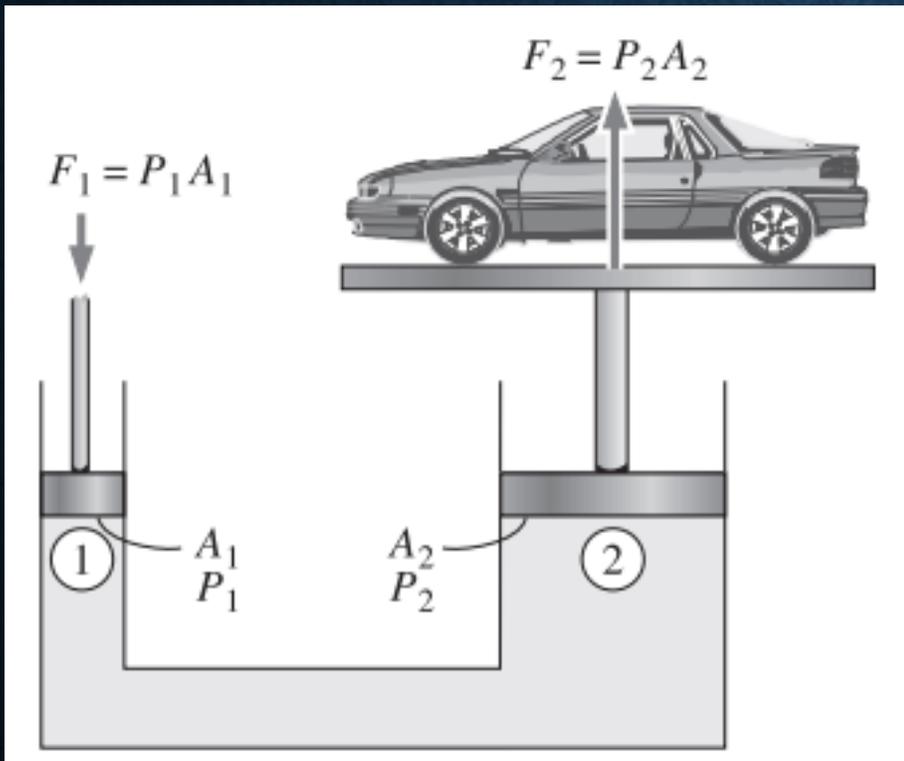
Variación de la presión con la profundidad



HIDROSTÁTICA

Ley de Pascal

Una de las razones de que la presión en un fluido permanezca constante en la dirección horizontal consiste en que *“la presión aplicada a un fluido confinado aumenta la presión en toda la extensión de éste en la misma cantidad”*.



$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

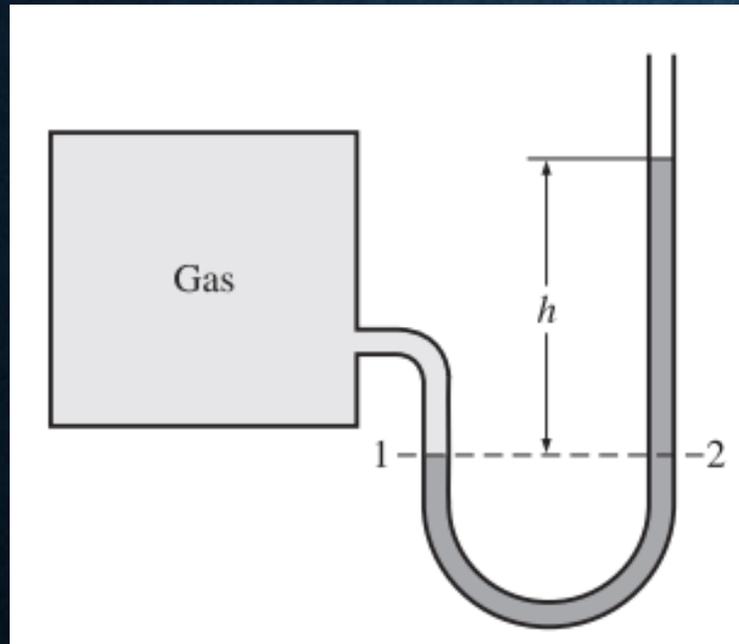
HIDROSTÁTICA

Ejercicio N°2

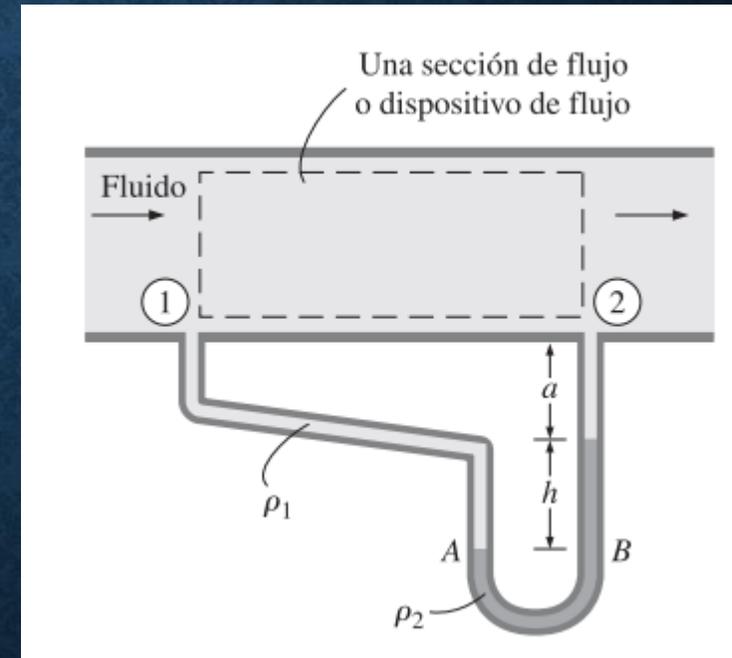
Se desea elevar un cuerpo de 1500kg utilizando una elevadora hidráulica de plato grande circular de 90cm de radio y plato pequeño circular de 10cm de radio. Calcular: ¿Cuánta fuerza hay que hacer en el émbolo pequeño para elevar el cuerpo?

HIDROSTÁTICA

Instrumentos: Manómetros



$$P_2 = P_{atm} + \rho h g = P_1$$

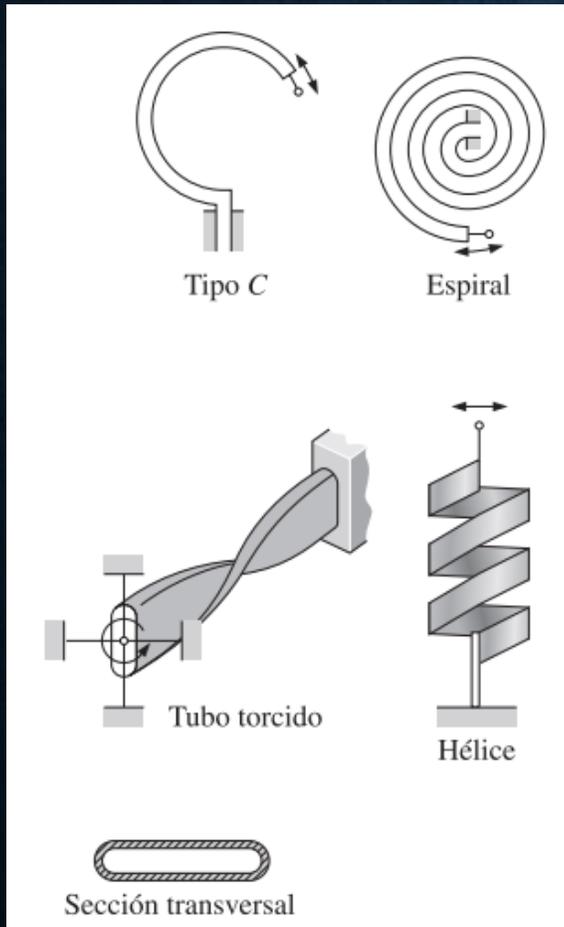


$$P_1 + \rho_1 g(a + h) = P_2 + \rho_2 g h + \rho_1 g a$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_1 - \rho_2) g h$$

HIDROSTÁTICA

Instrumentos: Tubo de Bourdón

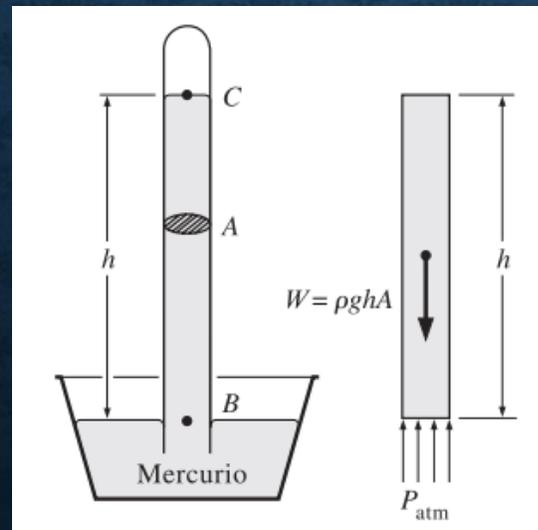
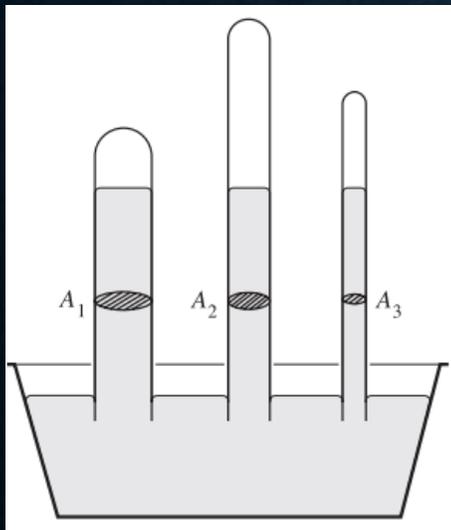


HIDROSTÁTICA

Instrumentos: Barómetros

La presión atmosférica generalmente se mide con un instrumento llamado barómetro.

El vacuómetro es un instrumento de medición, que mide la presión de vacío.



Considerando presiones absolutas.

$$P_{atm} = P_c + \rho h g$$

La presión es independiente del tamaño de la sección del tubo.