FÍSICA APLICADA A LA INGENIERÍA

Mecánica de Fluidos

Prof. María Victoria Carbonell

Las imágenes de la presentación han sido obtenidas del libro:

Physics for Scientists and Engineers
Paul A. Tipler • Gene Mosca

Estática de Fluidos

- Conceptos previos
- Presión en un fluido
- Campo de densidades
- Ecuación Fundamental de la Estática de Fluidos
- Principio de Pascal
- Empuje de una masa líquida sobre una superficie plana. Presas. Compuertas

Dinámica de Fluidos

- Ecuación general de la dinámica de fluidos. Ecuación de Euler
- Ecuación de continuidad
- Torbellino
- Ecuación general de la dinámica de fluidos en función del torbellino. Ecuación de Helmholtz
- Ecuación de Bernoulli generalizada
- Teorema de la permanencia del Torbellino
- Fluidos reales. Viscosidad. Flujos laminar y turbulento.

Objetivos

- Recordar: concepto, dimensiones, unidades y orden de magnitud de DENSIDAD, VISCOSIDAD y PRESIÓN
- Distinguir fluidos reales e ideales, y su comportamiento. Fluido barotrópico
- Aplicar las ecuaciones fundamentales de la estática y la dinámica de fluidos (Euler y Helmholtz)
- Saber establecer las ecuaciones del movimiento de un fluido en una conducción (Benoulli, continuidad, Torricelli)
- Determinar: presión, velocidad y cota en cualquier punto de un fluido

Objetivos

- Representar Líneas de altura total y línea de altura piezométrica.
- Reconocer el Teorema de Bernoulli como un Principio de Conservación de Energía
- Conocer los tipos de movimiento de un fluido en relación a su variación espacial y temporal (permanente, variable, uniforme).
- Conocer la fuerza que ejerce el fluido sobre un área plana y saber calcular su centro de empuje. Aplicación: diques y compuertas.
- Ejercitar las técnicas de resolución de problemas y casos prácticos

Bibliografía

- Amaya, J.M.; Carbonell, M. V.; Gómez, J.M.; Martínez, E.; Rodríguez, E. (1998). **100 Problemas de Física Aplicados a la Ingeniería.** ETSIA.
- García-Maroto, A. (2006). Mecánica de Fluidos. 40 Problemas útiles. Ed. Madrid.
- Lea, S. M.; Burke, J.R. (1999). Física. La naturaleza de las cosas. Vol. I y II. International Thomson Editores
- Riley, W. F. ; Sturges, L. D. (1996). Ingeniería Mecánica. Estática. Dinámica. Ed. Reverté.
- Landau, L.; Lifshitz, E. (1986). Mecánica de fluidos. Vol. 6. Ed. Reverté.
- Giles, R.V.; Evett, J.B.; Liu, C. (1999) Mecánica de los fluidos e hidráulica. Ed. Mc Graw-Hill (colección Schaum).
- Tipler, P.A. (1999). Física para la ciencia y la tecnología. Ed. Reverté
- Tipler, P.A.; Mosca, G. (2005). Física para la ciencia y la tecnología. 5ª Edición. Ed. Reverté.

Conceptos previos

Mecánica de Fluidos

Estudia el comportamiento de los fluidos tanto en reposo como en movimiento. Hidráulica

Estática de Fluidos

Establece las leyes que rigen el comportamiento de los fluidos en **reposo**

Fluidoestática

Hidrostática

Dinámica de Fluidos

Establece las leyes que rigen el comportamiento de los fluidos en **movimiento**

Fluidodinámica

Hidrodinámica

Concepto de Fluido

Sustancia material que tiene la capacidad de fluir

Sus moléculas pueden deslizar unas respecto a otras sin dificultad

Característica: facilidad con que se pueden deformar

Fluido
- Ideal: incompresible ρ=cte, sin viscosidad
- Real: compresible, con viscosidad

Concepto de fluido

Gases:

- ✓ No tienen forma ni volumen propio
- ✓ Se expansionan indefinidamente
- ✓ La distancia media entre dos moléculas es grande comparada con el tamaño de una molécula
- ✓ Las moléculas tienen poca influencia entre sí excepto durante sus colisiones, frecuentes pero breves

Concepto de fluido

Líquidos:

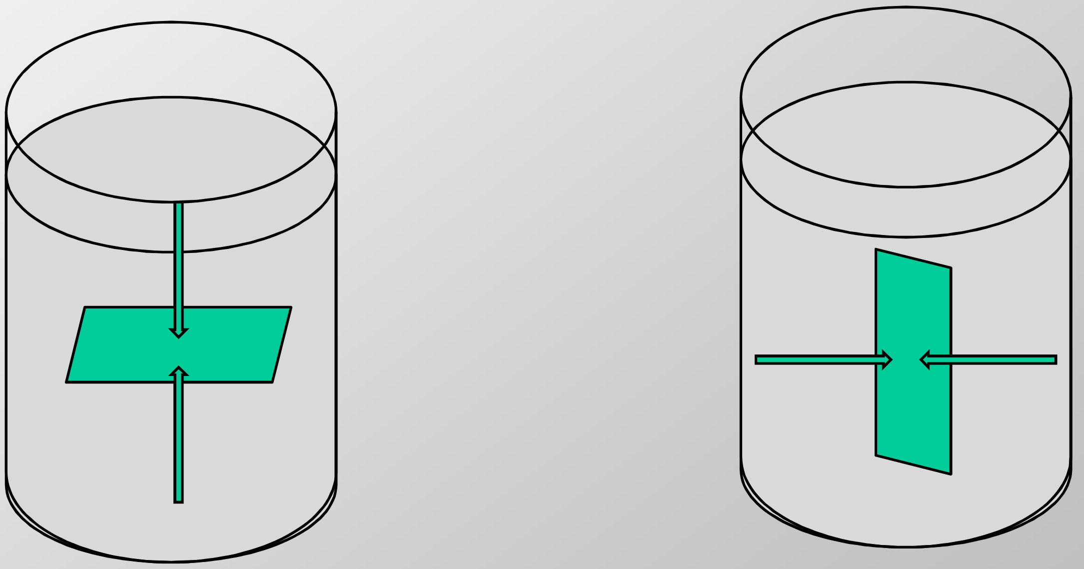
- ✓ No tienen forma propia pero si volumen
- ✓ Fluyen bajo la gravedad hasta ocupar las partes más bajas posibles del recinto que los contiene
- ✓ Las moléculas están muy unidas y ejercen fuerzas entre sí
- ✓ Sus moléculas forman transitoriamente enlaces que se rompen continuamente y después vuelven a formarse
- ✓ Estos enlaces mantienen unido el líquido, si no existieran las moléculas escaparían en forma de vapor

Concepto de fluido

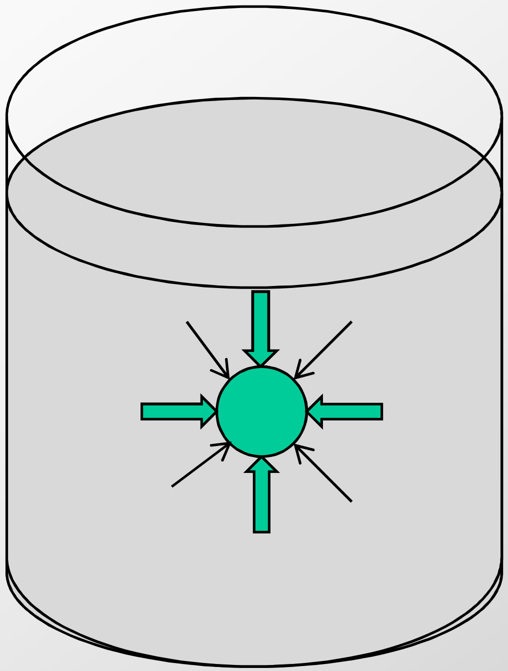
Fluido Ideal: medio continuo deformable que en equilibrio o reposo solo puede soportar tensiones o esfuerzos normales sobre cualquier superficie imaginaria trazada en su interior.

Estas tensiones son debidas a las **fuerzas internas** de

PRESIÓN



Concepto de fluido

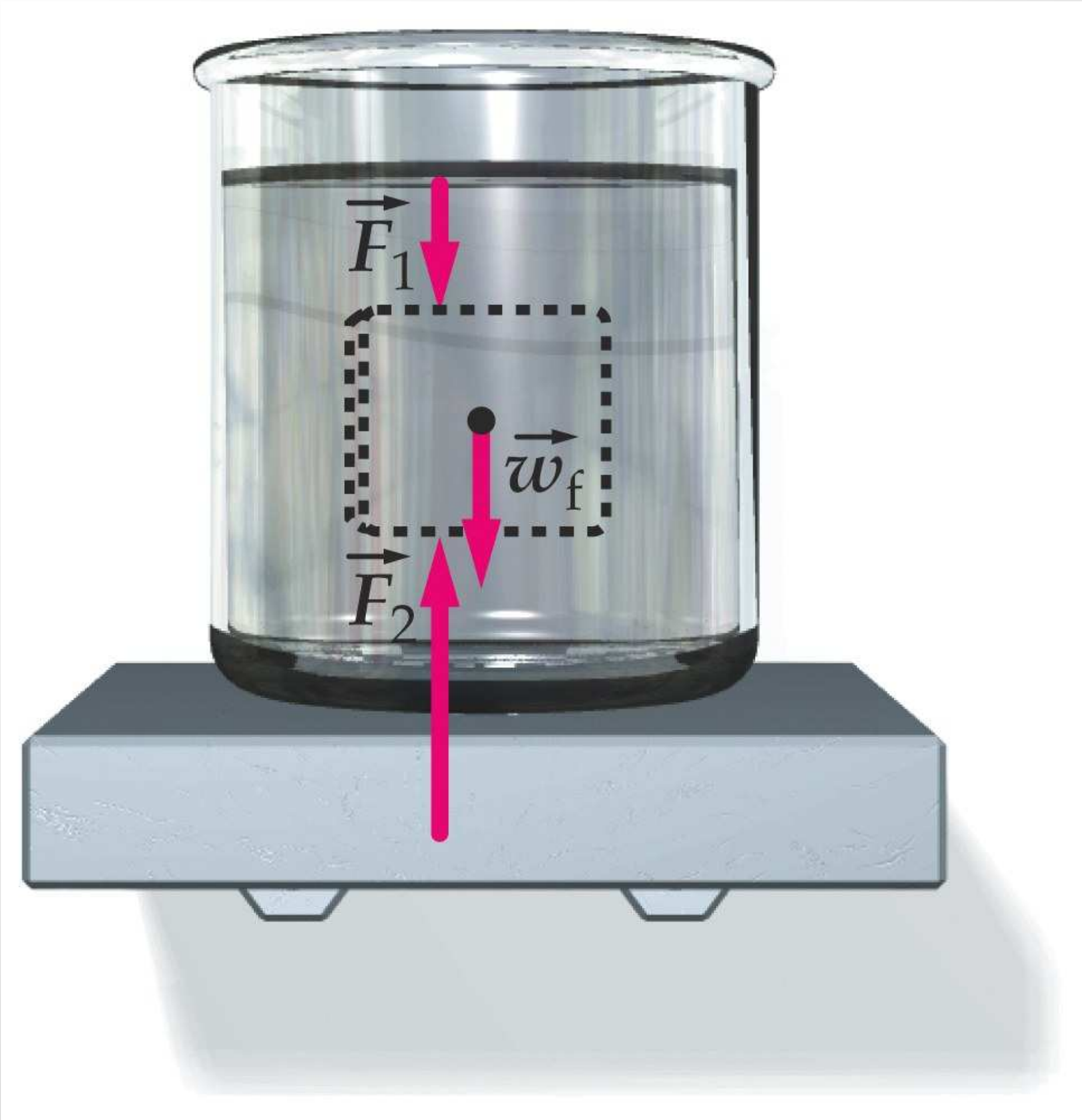


Características de la presión:

- Perpendiculares a la superficie en el punto considerado

- Independientes de la dirección

- Tienden a comprimir: dirigidas hacia el interior


$\vec{F}_1$
$\vec{w}_f$
$\vec{F}_2$

Conceptos previos

Fluido:
- Gases: muy compresibles
- Líquidos: incompresibles (ρ=cte)

$\rho_{gas} <<< \rho_{líquido}$

Gas perfecto:

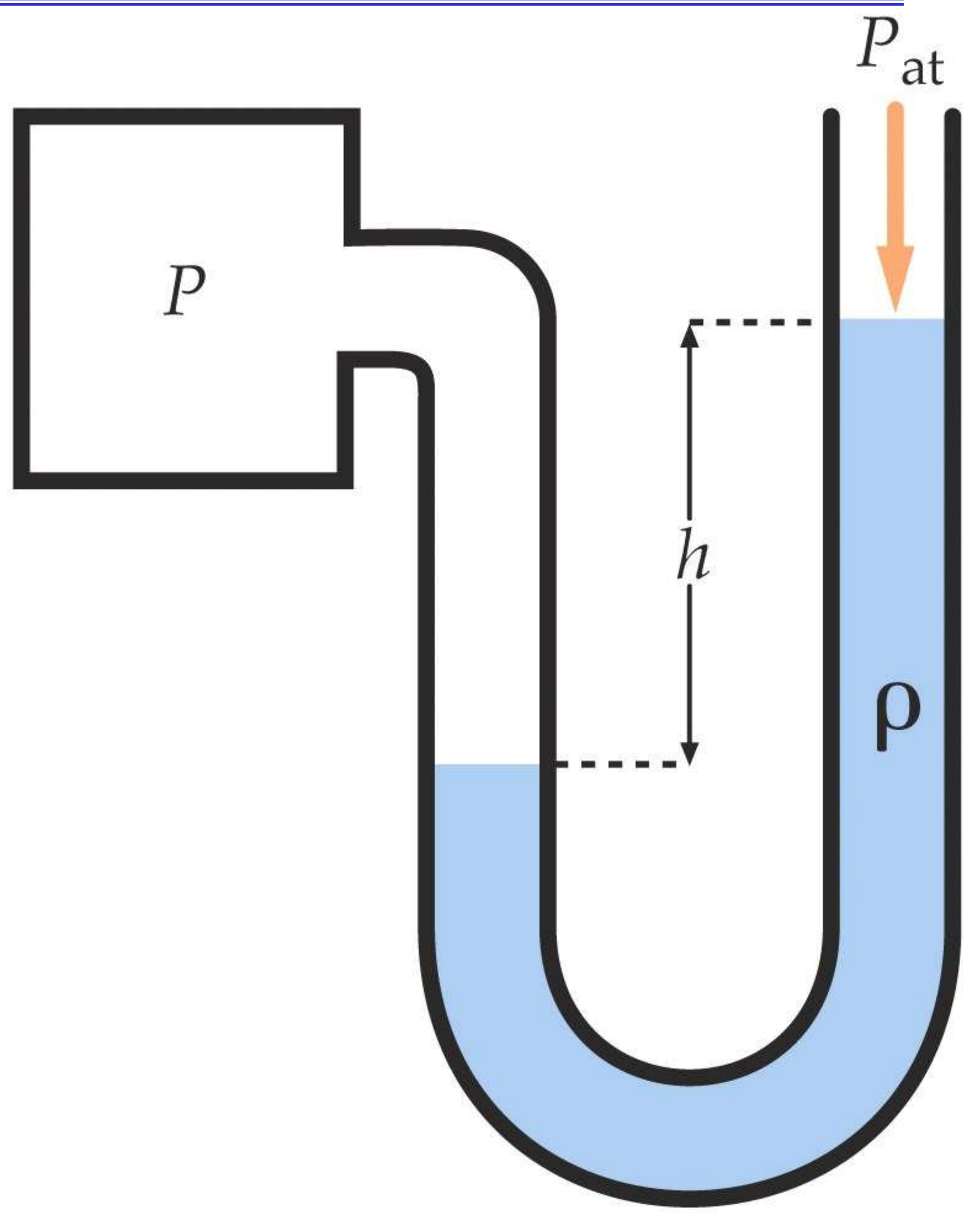
- Cumple la ecuación de los gases perfectos PV=nRT
- Calores específicos constantes c_p, c_v
- Se pueden comprimir indefinidamente

Por ser compresibles no son fluidos ideales

Manómetro

La presión de un gas P se puede considerar la misma en todos los puntos, al ser mucho menor su densidad

Manómetro de tubo en U abierto: permite medir la **presión manométrica** (diferencia de presión absoluta y atmosférica) en función de la diferencia de altura.



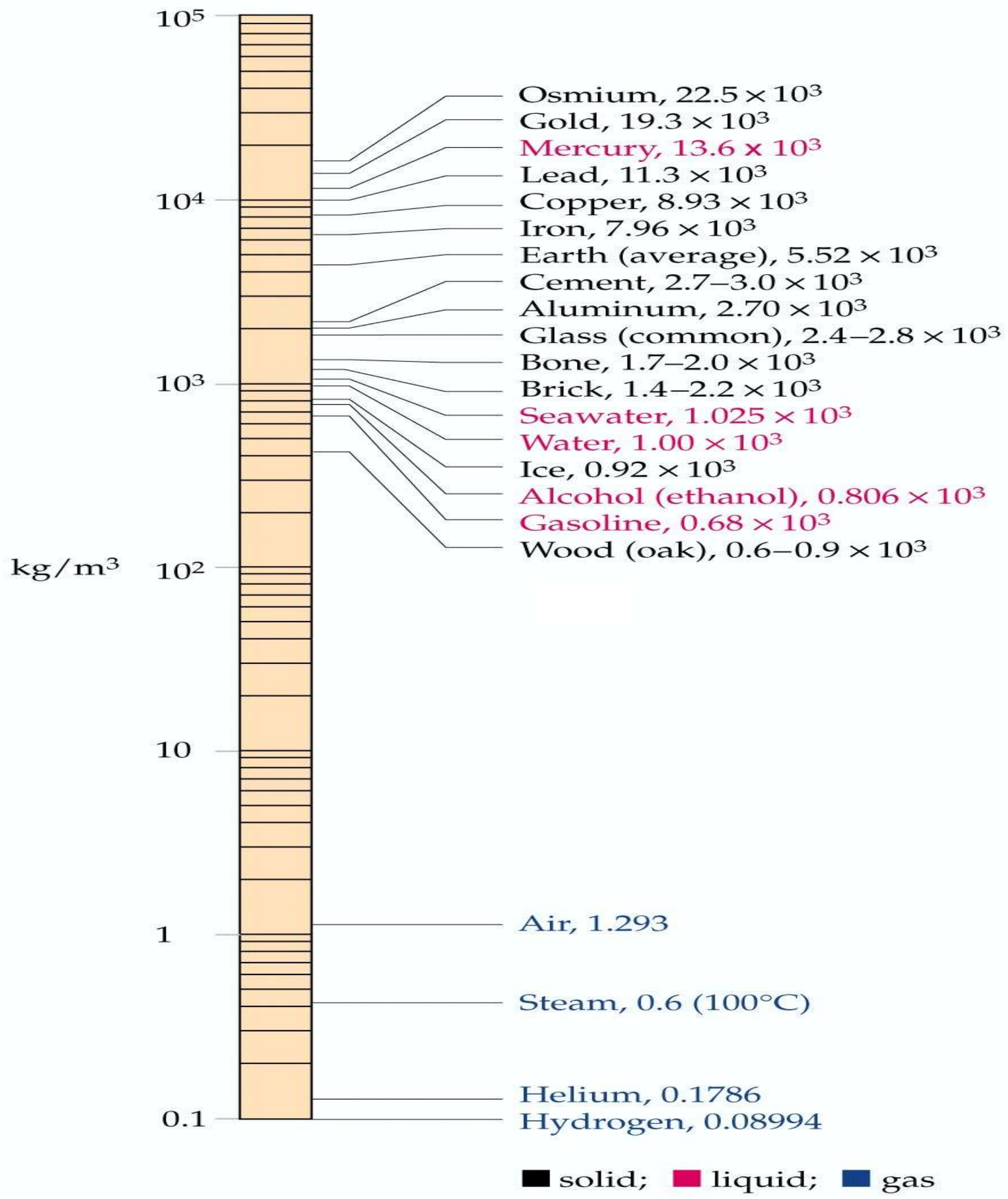
Densidad (0°C y 1 atm)

ρagua = 10^3 kg/m^3

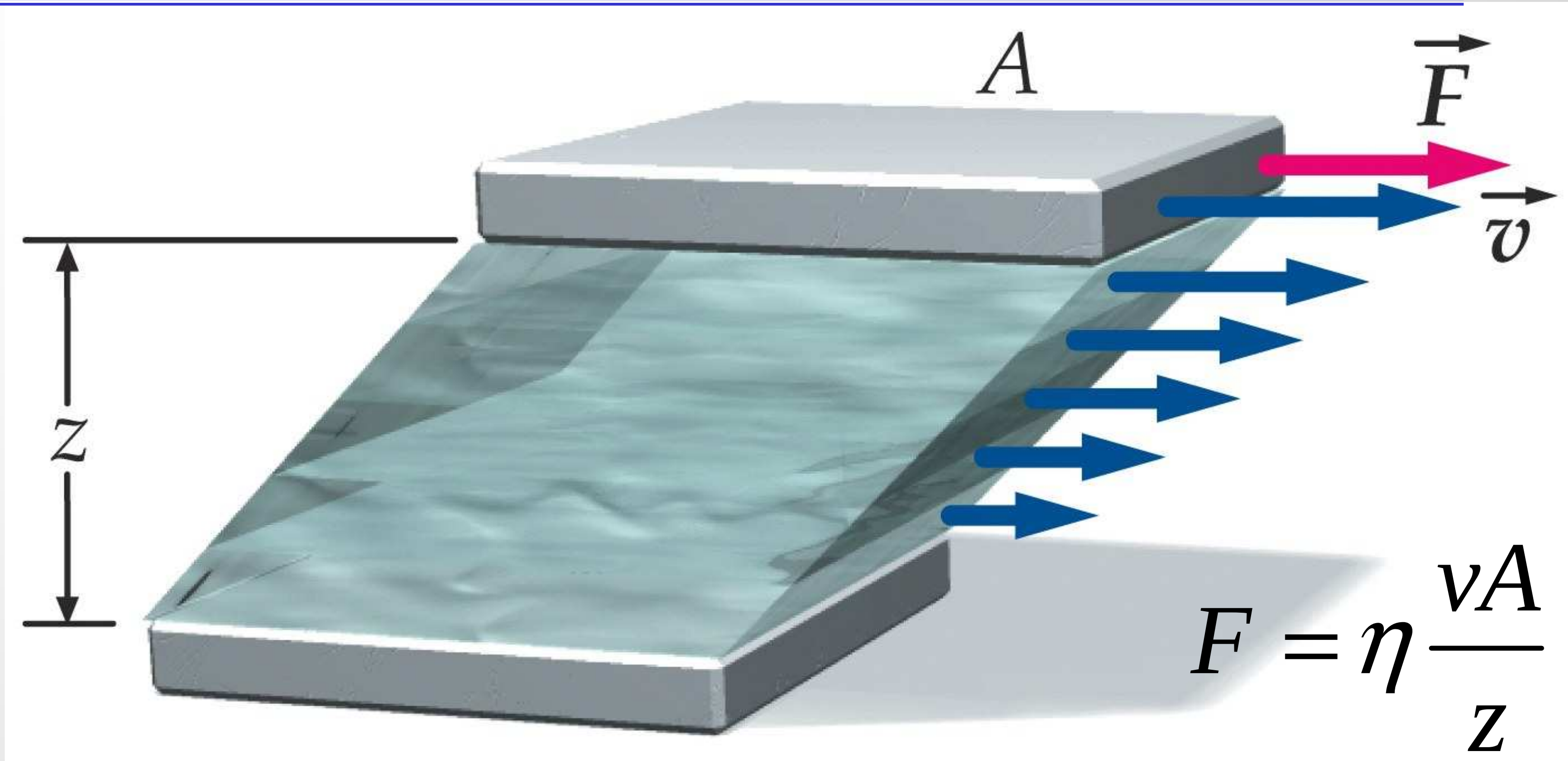
1 kg/l = 1 g/cm^3

10^3

ρaire = 1,293 kg/m^3



Fluido viscoso entre dos placas de área A

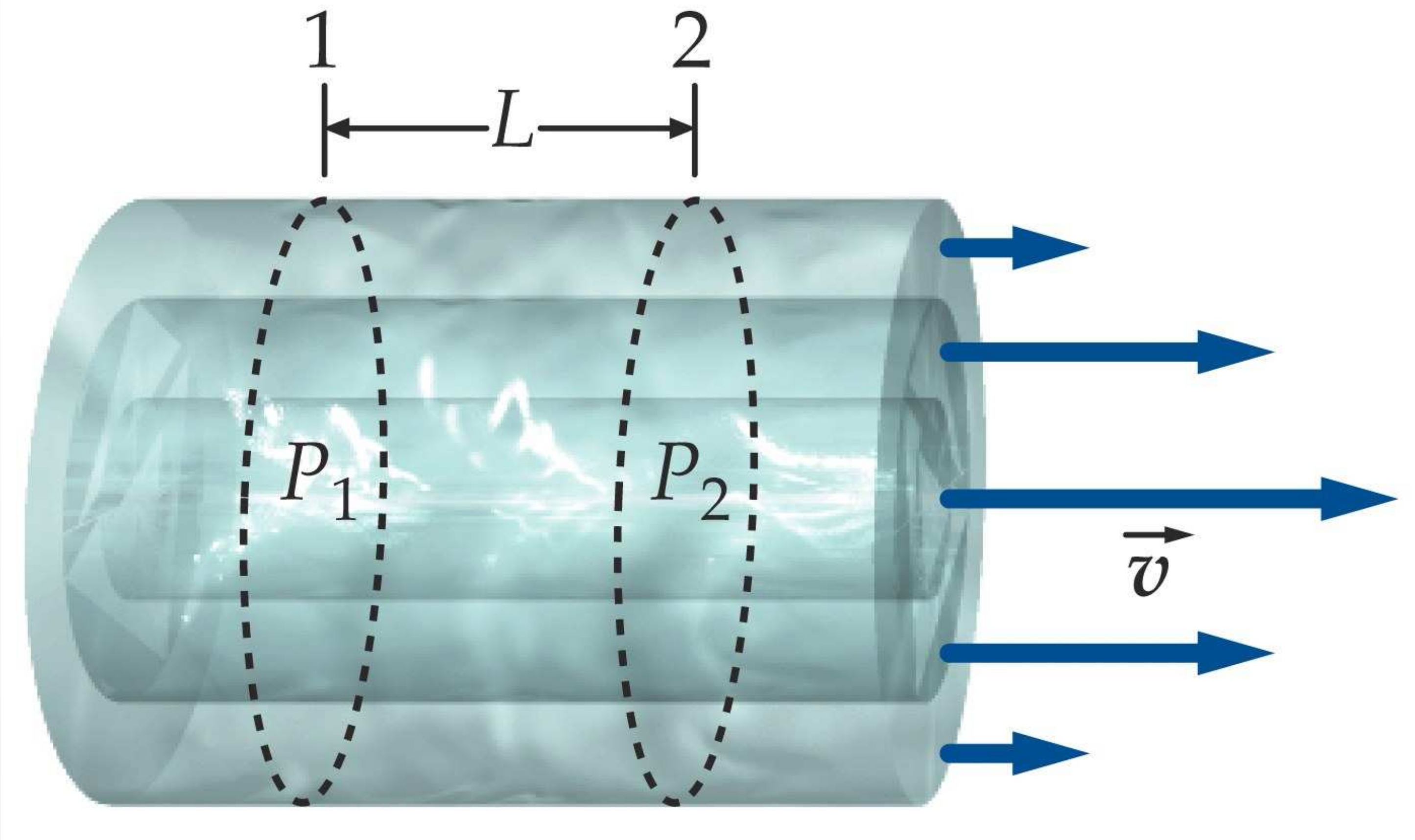


$$F = \eta \frac{vA}{z}$$

Como consecuencia de la **viscosidad** es necesario ejercer una fuerza para obligar a una capa de fluido a deslizar sobre otra. Cuando se mueve la placa superior, cada capa de fluido ejerce una fuerza de arrastre sobre las capas adyacentes.

η: coeficiente de viscosidad dinámica; unidad: Pa·s= 10 poise; P=g·cm^{-1}s^{-1}.

Fluido viscoso



Cuando un fluido viscoso fluye por una tubería, su velocidad es mayor en el centro que en las proximidades de las paredes. Además se manifiesta una caída de presión, según nos desplazamos en la dirección del flujo.

Coeficiente de viscosidad

	Temperatura ºC	η mPa · s
Aire	20	0,018
Agua	0	1,8
	20	1,0
	60	0,65
Sangre	37	4,0
Aceite motor	30	200
Glicerina	0	10.000
	20	1.410
	60	81

Presión en un fluido

Cuando se sumerge un cuerpo en un fluido como el agua, el fluido ejerce una fuerza **perpendicular** a la superficie del cuerpo en cada punto de la superficie.

Esta fuerza por unidad de superficie se denomina **PRESIÓN**

$$P = \frac{F}{A} \qquad\qquad P = P(x, y, z)$$

La presión en un lago o en un océano aumenta cuando aumenta la profundidad.

$$P = P_0 + \rho g z$$

Presión en un fluido. UNIDADES

S.I. Pascal 1Pa= N/m²

1atm=1,013·10^5Pa= 1,013·10^6baria= 1,013 bar=1013mbar

1atm=1,033 kp/cm^2 (atm técnica)=10,33m.c.a= 760 mmHg

C.G.S baria = dina/cm²

Tanto el Pascal como la baria son unidades demasiado pequeñas para las necesidades habituales en hidráulica. Por ello, se utiliza frecuentemente el kPa o incluso el MPa.

Presión en un fluido. EJEMPLO

Calcular la presión a una profundidad de 10 m por debajo del nivel del mar (lago o piscina, densidad = 10^3 kg/m^3)

$$P = P_0 + \rho g z = 1{,}013 \cdot 10^5\,Pa + 10^3\,kg/m^3 \cdot 9{,}8\,m/s^2\,10\,m =$$

$$= 1{,}993 \cdot 10^5\,Pa \approx 2\,atm$$

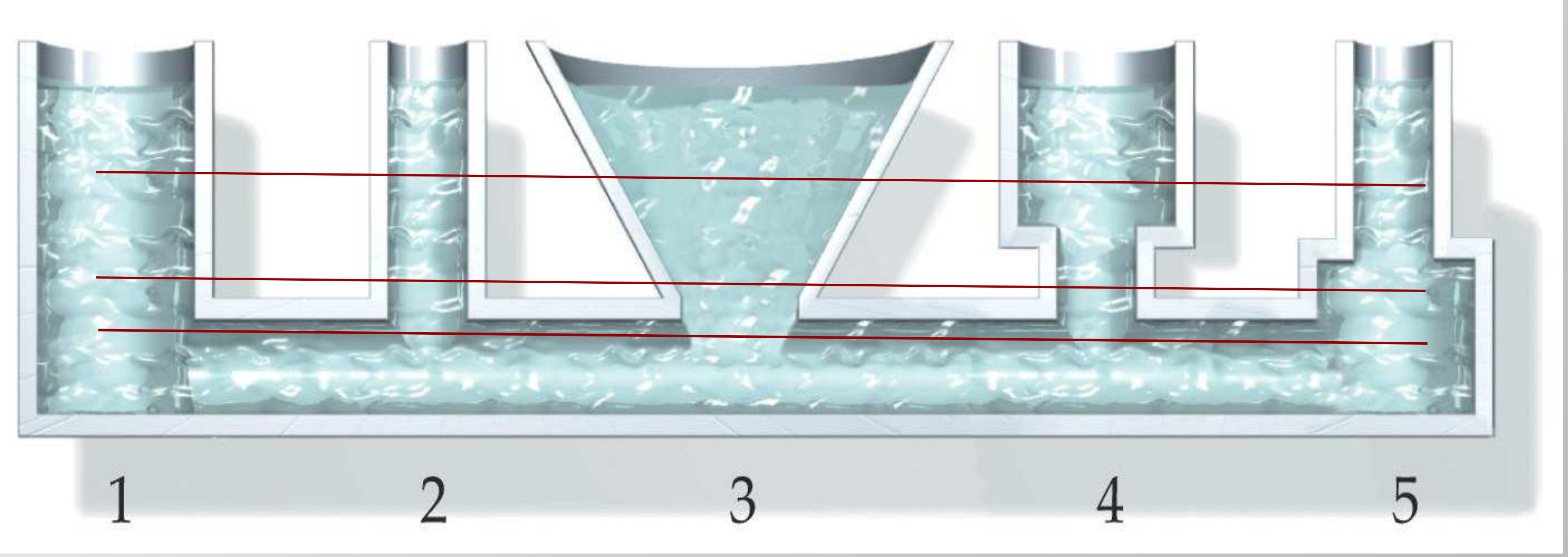
A una profundidad de 10 m la presión se duplica

NOTA:

$$P = 1\,Pa = 1\,Pa\,\frac{10{,}33\,m.c.a}{1{,}013 \cdot 10^5\,Pa} \approx \frac{1}{10^4}\,m.c.a; \qquad \frac{P}{\rho g} = 1\,m.c.a$$

Paradoja hidrostática

La presión sólo depende de la profundidad del agua

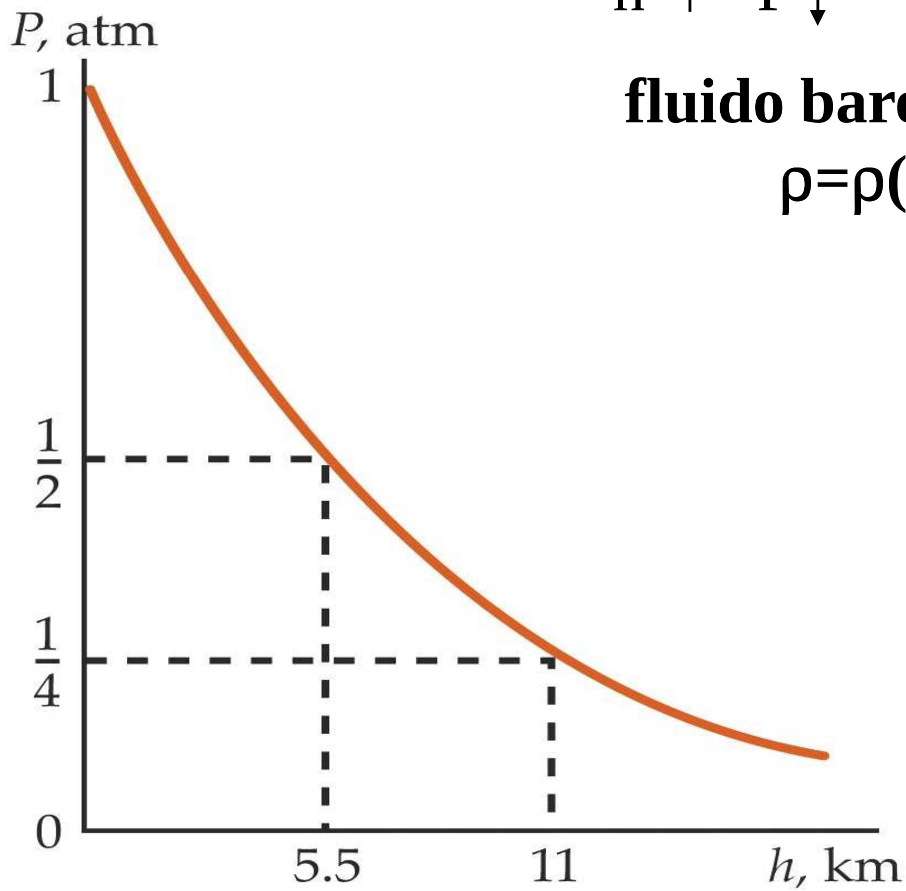


La presión en la atmósfera disminuye al aumentar la altitud, pero esta disminución no es lineal sino exponencial **(ley atmosférica)**

$h \uparrow \quad P \downarrow \quad \rho \downarrow$

fluido barotrópico

$\rho = \rho(P)$

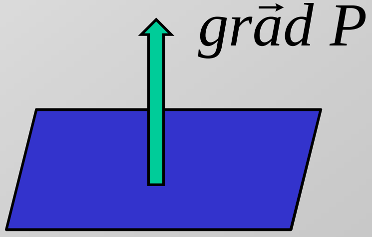


18.000 36.000 pies

Campo de Presiones. Campo de densidades

$$P = \frac{F}{A} \qquad P = P(x, y, z) \qquad \text{Campo escalar}$$

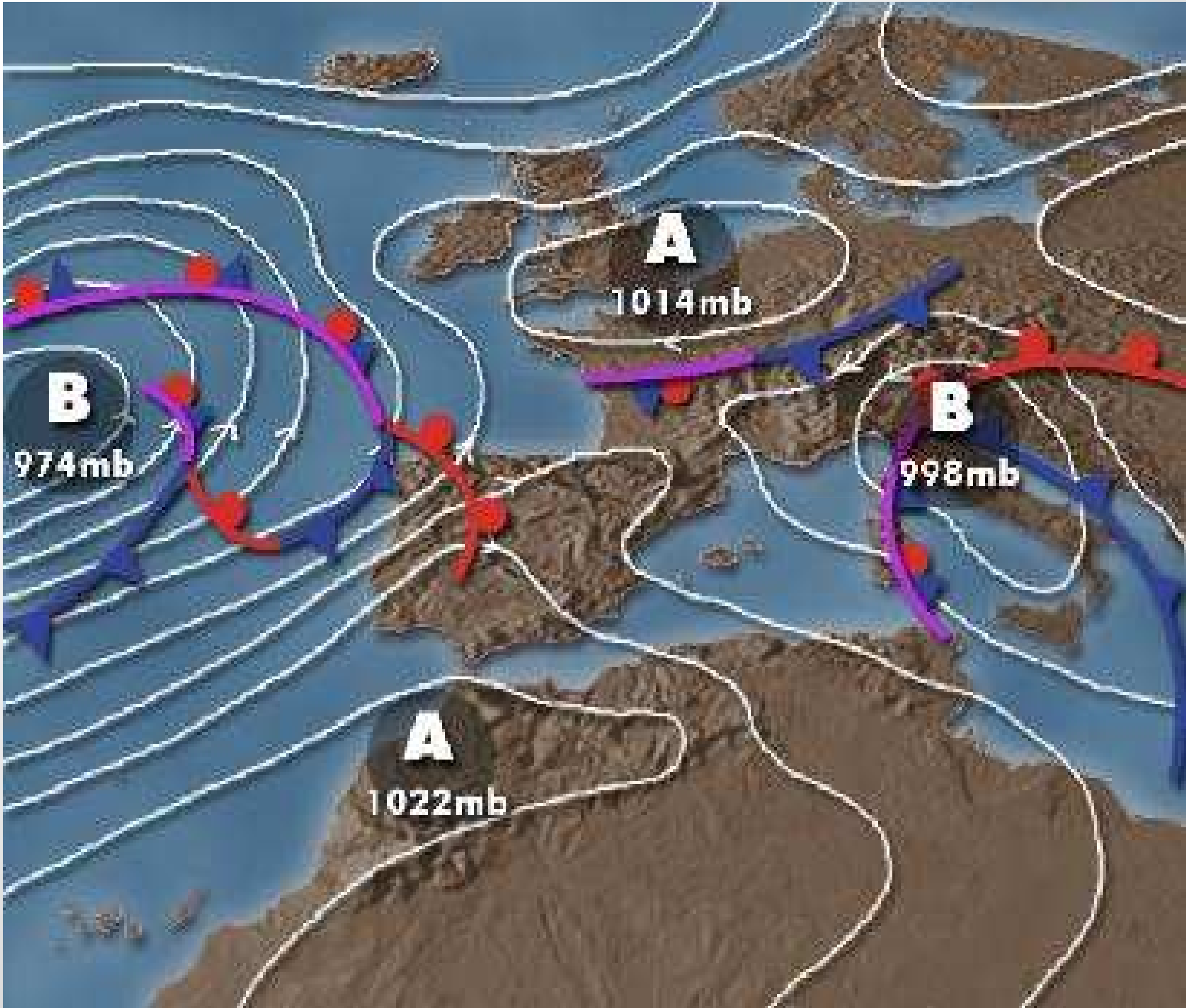
Superficies isobaras. Lugar geométrico de los puntos del fluido con la misma presión. **P(x,y,z)=cte**



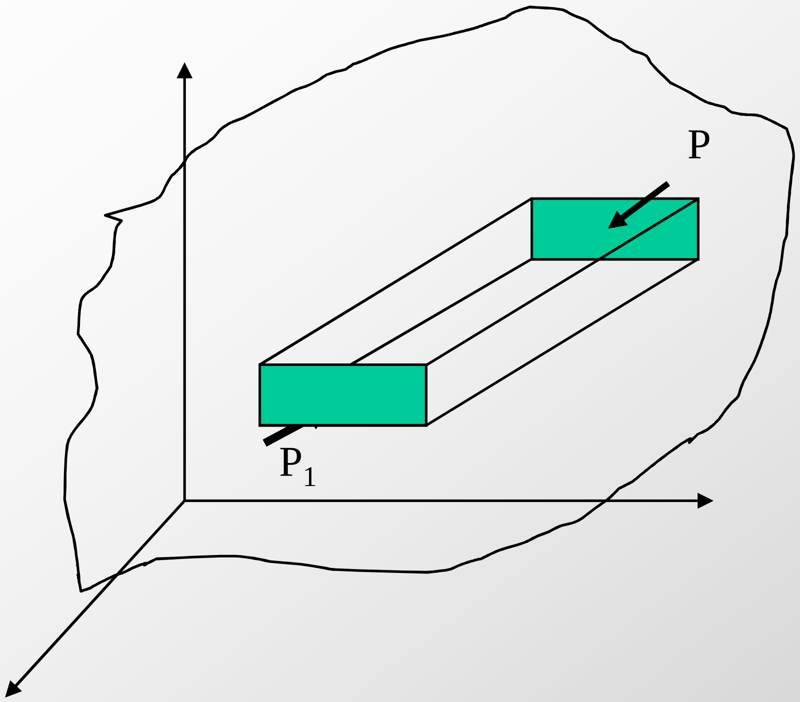
Campo de densidades

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \rho = \rho(x, y, z) \qquad \text{Campo escalar}$$

Superficies isodensidad. Lugar geométrico de los puntos del fluido en el que el campo de densidades permanece constante. **ρ(x,y,z)=cte**


A
1014mb
B
974mb
B
998mb
A
1022mb

Ecuación fundamental de la estática de fluidos



Fluido en equilibrio bajo la acción de un campo de fuerzas F definido por unidad de masa

$$\vec{F} = X\,\vec{i} + Y\,\vec{j} + Z\,\vec{k} \;\; (N/kg)$$

$$d\sigma = dy\,dz$$

$$dv = dx\,dy\,dz$$

$$dm = \rho\,dv$$

Condición de equilibrio según el eje OX

$$\boxed{P dy dz - P_1\,dy\,dz + X\,\rho\,dv = 0}$$

Ecuación fundamental de la estática de fluidos

$$\boxed{P\,dy\,dz - P_1\,dy\,dz + X\rho\,dv = 0}$$

$$P_1 = P(x+dx, y, z) = P + \frac{\partial P}{\partial x}dx$$

$$P - P_1 = -\frac{\partial P}{\partial x}dx$$

Desarrollo en serie de Taylor, despreciando infinitésimos de orden dos.

$$-\frac{\partial P}{\partial x}dv + \rho X dv = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \rho X$$

Ecuación fundamental de la estática de fluidos

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} \\ Y &= \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} \\ Z &= \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad \vec{F} = \frac{1}{\rho}\vec{\nabla} P$$

$$\boxed{\vec{F} - \frac{1}{\rho}\vec{\nabla} P = \vec{0}}$$

CASO PARTICULAR $\vec{F} = -\vec{\nabla} U$
Ecuación fundamental de la estática de fluidos

$$dU + \frac{1}{\rho} dP = 0 \longrightarrow \text{integrando}$$

1. Si el fluido es incompresible: $\rho = cte$

$$\int dU + \frac{1}{\rho} \int dP = C \longrightarrow \boxed{U + \frac{P}{\rho} = C}$$

2. Si el fluido es barotrópico: $\rho = \rho(P)$

$$\int dU + \int \frac{dP}{\rho} = C \longrightarrow \boxed{U + F(P) = C}$$

CASO PARTICULAR
Ecuación fundamental de la estática de fluidos

$$dU + \frac{1}{\rho} dP = 0$$

Ecuación diferencial que resuelve el equilibrio de un fluido cuando la fuerza deriva de un potencial, es decir, es conservativa.

Consecuencias

1. Las superficies equipotenciales son también isóbaras.
   Sobre la superficie equipotencial la presión es constante

$$dU = 0 \rightarrow dP = 0;\ U(x,y,z) = cte \rightarrow P(x,y,z) = cte$$

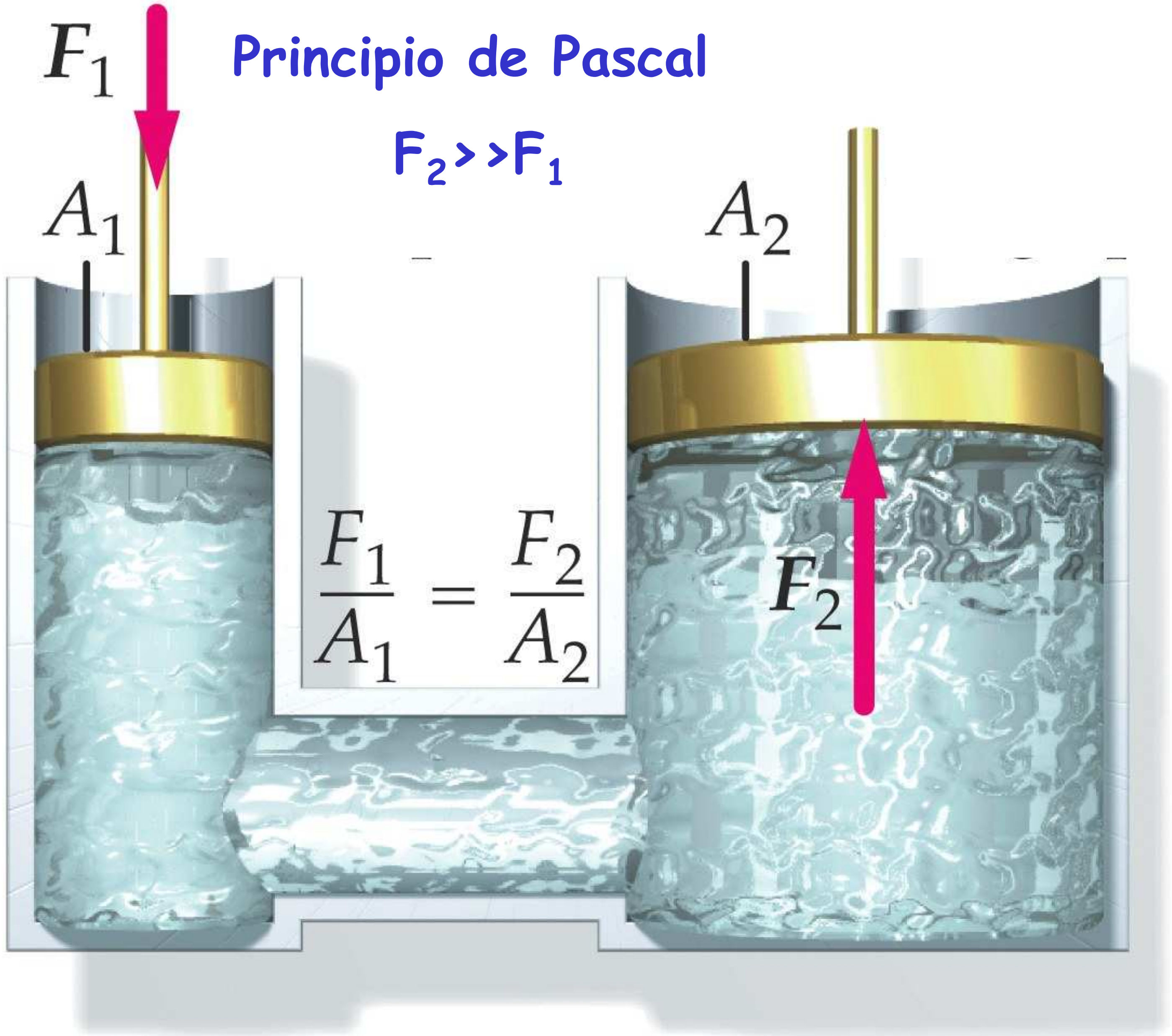
2. Variación del potencial en relación a la presión

$$\left.\begin{aligned} dU > 0 &\rightarrow dP < 0; \\ dU < 0 &\rightarrow dP > 0 \end{aligned}\right\}$$

Potencial creciente implica presión decreciente y viceversa

Principio de Pascal

$F_2 >> F_1$



Aplicaciones: Prensa hidráulica y elevador hidráulico

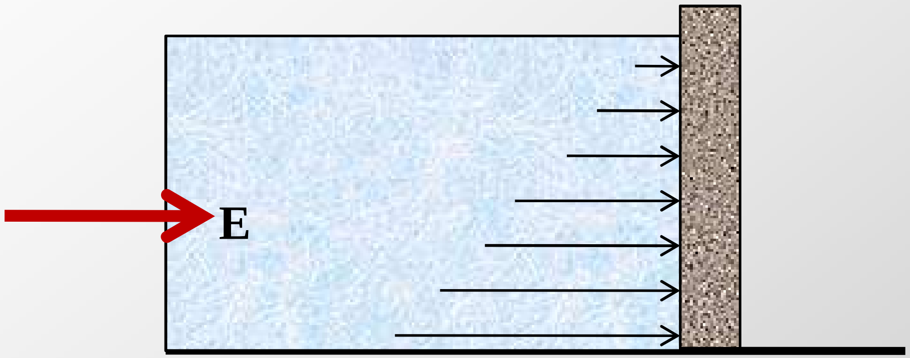
Estudio de:

- Presas
- Diques
- Compuertas

(ESTÁTICA DE FLUIDOS)

Fuerzas sobre superficies sumergidas.

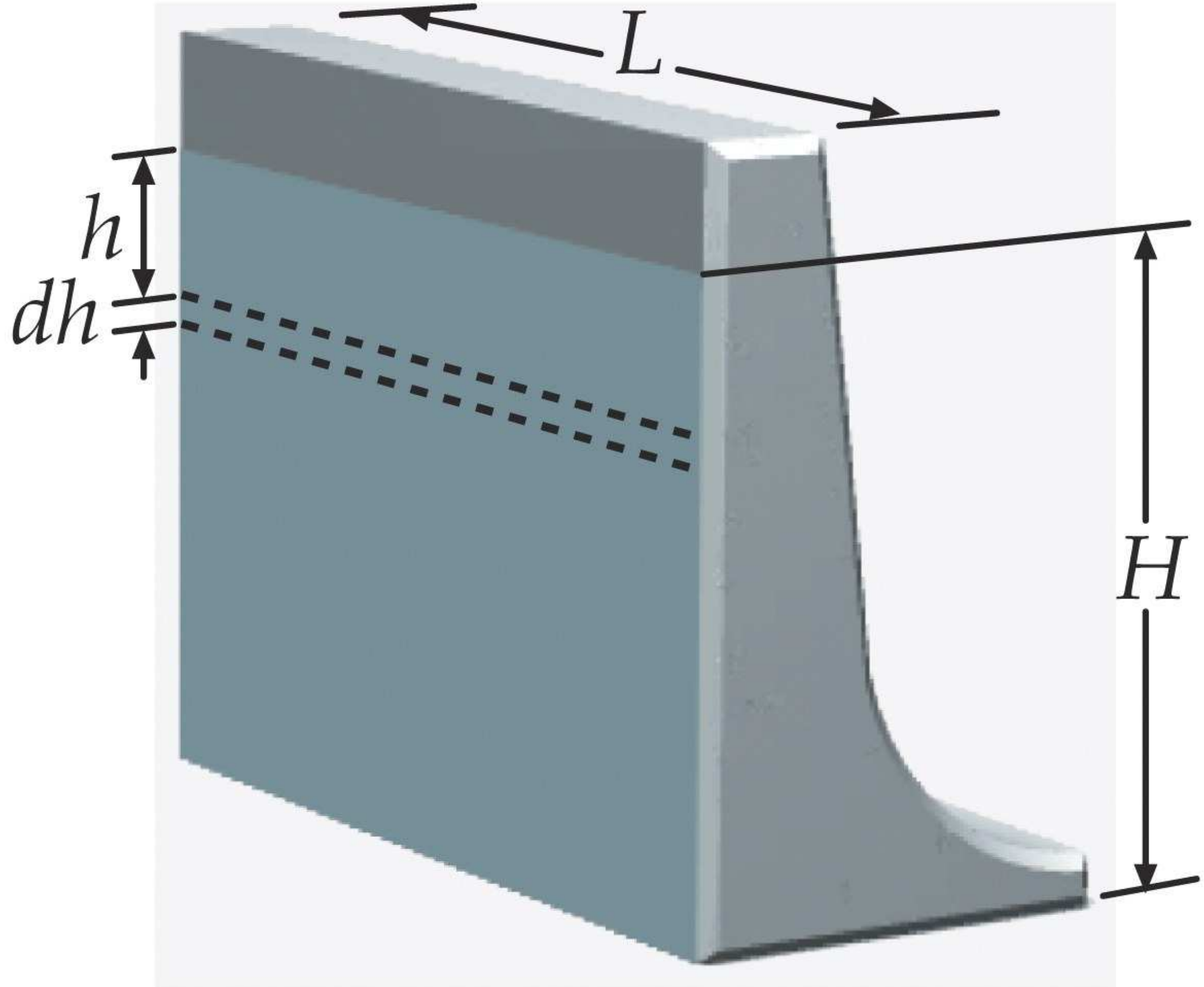
Un fluido en reposo solo puede ejercer, sobre una superficie sumergida, una fuerza compresiva normal: la **presión,** que varía linealmente con la profundidad.



Distribución del campo de presiones sobre una superficie sumergida.

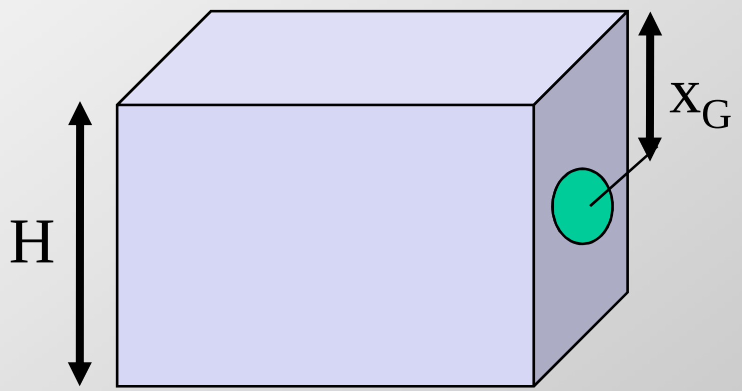
En el análisis de muchos problemas de ingeniería en los que intervienen fuerzas en fluidos es necesario determinar la **fuerza resultante** debido a la distribución de presiones sobre una superficie sumergida y localizar su punto de aplicación **E (centro de empuje)**: intersección de la recta soporte de la resultante con dicha superficie.

Sección de una presa

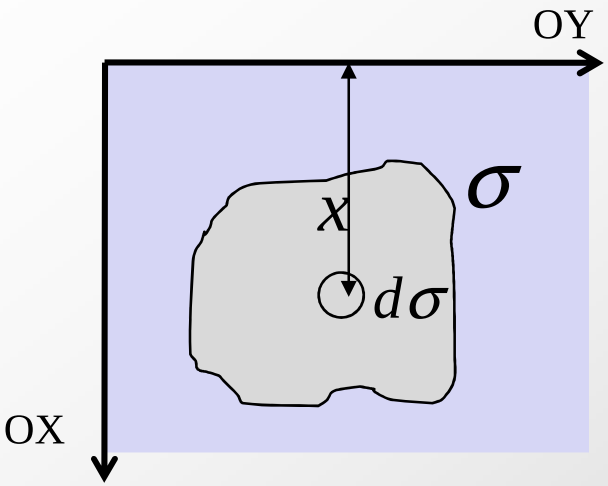


Compuertas. Consideraciones:

- Superficie plana (σ)
- Ejes cartesianos en la superficie libre del líquido (P_0)
- Presiones manométricas ($P - P_0$)
- Profundidad respecto a la superficie libre del líquido (x_G)



Compuertas: fuerza resultante debido a la presión



Fuerza interna (debida a la presión) sobre un elemento de superficie

$$df = p\,d\sigma;$$

$$f = \iint p\,d\sigma = \rho g \iint x\,d\sigma = \rho g x_G \sigma$$

Fuerza ejercida por el fluido sobre un área plana

$$\boxed{f = \rho g x_G \sigma}$$

Momento de las fuerzas debidas a la presión respecto al eje OY:

Compuertas: momento resultante debido a la presión

$$M_{OY} = \iint p d\sigma x = \rho g \iint x^2 d\sigma = \rho g\, I_{OY}$$

I_{OY} : Momento de inercia del área plana respecto OY

Se debe determinar el centro de empuje E (x_E, y_E) en el cual es preciso localizar la resultante de las fuerzas para que produzca el mismo momento respecto al eje OY

$$M_{OY} = \rho g x_G \sigma x_E$$

Igualando ambas expresiones de M_{OY} y despejando x_E se obtiene:

$$x_E = \frac{I_{OY}}{x_G \sigma} = \frac{I_{GY} + \sigma x_G^2}{x_G \sigma} = x_G + \frac{I_{GY}}{x_G \sigma}$$

Compuertas: coordenadas del centro de empuje

$$x_E = x_G + \frac{I_{GY}}{\sigma x_G} \qquad x_E > x_G$$

$$y_E = y_G$$

El centro de empuje está situado por debajo del centro de gravedad, sobre la misma vertical.

Notas:

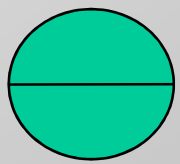
Momentos de inercia:

✓ Rectángulo respecto al eje GY:

$$I_{GY} = \frac{1}{12}\sigma l^2 \qquad \begin{cases} \sigma = \text{superfice sumergida} \\ \text{l= lado mojado} \end{cases}$$

✓ Círculo respecto a un diámetro:

$$I_{GY} = \frac{1}{4}\sigma R^2$$



Notas:

Densidad absoluta del agua: masa contenida en su unidad de volumen

$$\rho = 1g / cm^3 = 10^3 kg / m^3$$

(Agua pura a presión atmosférica y 4ºC)

Peso específico absoluto del agua: peso de su unidad de volumen

$$\gamma = \rho g = 1p / cm^3 = 10^3 kp / m^3 \approx 10^4 N / m^3$$

$$\gamma = \rho g = 10^3 kg / m^3 \cdot 9,8 m / s^2 \approx 10^4 N / m^3$$

Notas:

La densidad y el peso específico se pueden medir también en valores **relativos,** respecto a los de otra sustancia que se tome como comparación.

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \rho g \\ \gamma_c &= \rho_c g \end{aligned}\right\} \qquad \frac{\gamma}{\gamma_c} = \frac{\rho}{\rho_c} = d$$

El número adimensional ***d*** , cuyo valor es independiente de la constante gravitatoria *g* mide la **densidad y el peso específico relativos** de cualquier sustancia.

Paul A. Tipler • Gene Mosca

Physics for Scientists and Engineers

Fifth Edition

Chapter 13:

Fluids