# Hidrostática: Fluidos en Reposo

Henry R. Moncada

Universidad Nacional del Mayor de San Marcos
Facultad de Ciencia Física

6 de agosto de 2025

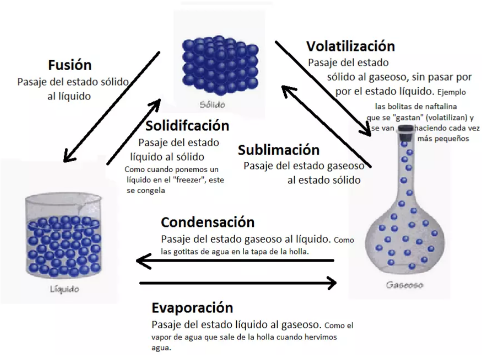
# Contenido

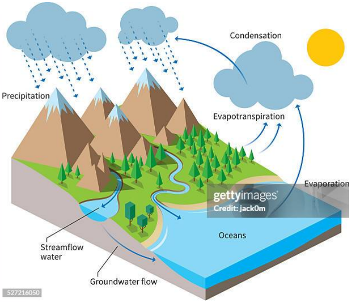
# HIDROSTÁTICA: FLUIDOS EN REPOSO

# Estados de la Materia

- Un **sólido** tiene forma y tamaño definidos.
- Un **líquido** posee volumen fijo, pero su forma puede cambiar. Adopta la forma del recipiente que lo contiene.
- Un **gas** no tiene forma ni volumen definidos. Se adapta por completo al recipiente y puede comprimirse fácilmente.

**Tanto lo gases como los líquidos pueden fluir, por ello se los denomina fluidos.**



# Densidad

Aplicaremos las Leyes de la Mecánica a los fluidos.

Dadas sus características, conceptos como masa o fuerza no resultan adecuados para describirlos.

Por ello, es necesario introducir los conceptos de densidad y presión.

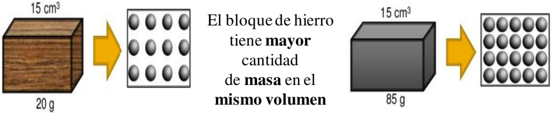
**Densidad:** La densidad de un objeto o sustancia se define como su masa por unidad de volumen:

$$\rho = \frac{masa}{Volumen} = \frac{m}{V}$$

$$[\rho] \equiv \underbrace{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}_{\text{SI}} \equiv \underbrace{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}}_{\text{CGS}} \equiv \underbrace{\frac{\mathrm{lb}}{\mathrm{ft}^3}}_{\text{Sistema inglés}} \equiv \underbrace{\frac{\mathrm{slug}}{\mathrm{ft}^3}}_{\text{Sistema inglés}} \equiv \frac{[M]}{[L^3]}$$

# Densidad

Dos bloques uno de madera y otro de hierro tienen el mismo volumen (Sin embargo no presentan la misma masa)




**La densidad es una medida de cuán compacto es un material.**

## Peso Específico (PE)

El peso específico de una sustancia es el cociente entre su densidad y la densidad del agua a $4^oC$.

$$P_E = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

**Tabla de densidades de sólidos, líquidos y gases**

| Sustancia | Densidad (kg/m³) | Sustancia | Densidad (kg/m³) |
|---|---|---|---|
| Aluminio | $2{,}7 \times 10^3$ | Agua | $1{,}00 \times 10^3$ |
| Hierro | $7{,}8 \times 10^3$ | Mercurio | $13{,}6 \times 10^3$ |
| Plomo | $11{,}3 \times 10^3$ | Alcohol | $0{,}79 \times 10^3$ |
| Oro | $19{,}3 \times 10^3$ | Gasolina | $0{,}68 \times 10^3$ |
| Concreto | $2{,}3 \times 10^3$ | Aire | 1,29 |
| Madera | $0{,}3 - 0{,}9 \times 10^3$ | Helio | 0,179 |
| Hielo | $0{,}917 \times 10^3$ | Vapor de Agua | 0,518 |

# Ejemplo

Un estudiante mide la masa y el diámetro de una esfera hecha de aluminio, obteniendo los siguientes datos:

- Masa: $m = 94{,}2\,\mathrm{g}$
- Diámetro: $d = 3{,}00\,\mathrm{cm}$

Halle:

a) La densidad media de la esfera.

b) El volumen ocupado por el aluminio.

c) El espesor de la pared si se trata de una esfera hueca de aluminio.

**Solución:**

(a) **Volumen de la esfera:**

$$\begin{aligned} d &= 3{,}00\,\mathrm{cm} \Rightarrow r = \frac{d}{2} = 1{,}50\,\mathrm{cm} \\ V &= \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(1{,}50)^3 = \frac{4}{3}\pi(3{,}375) \approx 14{,}14\,\mathrm{cm}^3 \end{aligned}$$

**Densidad media:** Sabemos que $m = 94{,}2\,\mathrm{g}$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{94{,}2}{14{,}14} \approx 6{,}66\,\mathrm{g/cm}^3$$

**Densidad del aluminio (referencia):**

$$\rho_{\mathrm{Al}} \approx 2{,}70\,\mathrm{g/cm}^3$$

(b) **Volumen ocupado por el aluminio:**

$$V_{\mathrm{Al}} = \frac{m}{\rho_{\mathrm{Al}}} = \frac{94{,}2}{2{,}70} \approx 34{,}89\,\mathrm{cm}^3$$

(c) **Modelo: Esfera hueca.** Sea $R = 1{,}50\,\mathrm{cm}$ el radio exterior, y $r$ el radio interior. El volumen del material (aluminio):

$$\begin{aligned} V_{\mathrm{Al}} &= \frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3) \\ 34{,}89 &= \frac{4}{3}\pi(1{,}50^3 - r^3) \\ 34{,}89 &= 4{,}18879(3{,}375 - r^3) \\ \frac{34{,}89}{4{,}18879} &\approx 8{,}33 = 3{,}375 - r^3 \Rightarrow r^3 \approx -4{,}96 \end{aligned}$$

## Observación:

- El valor de $r^3$ es negativo, lo cual es físicamente imposible.
- La densidad calculada en (a) es mayor que la del aluminio puro, por lo tanto:

  ***La esfera NO es hueca, sino maciza, o está hecha de un material más denso que el aluminio puro.***

# Presión

Es la fuerza por unidad de área que se ejerce perpendicularmente a una superficie.

$$P = \frac{F}{A}$$

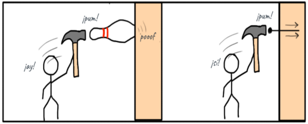
$$[Pa] \equiv \underbrace{\frac{N}{m^2}}_{SI} \equiv \underbrace{\frac{\frac{kg \cdot m}{s^2}}{m^2}}_{SI} \equiv \underbrace{\frac{dina}{cm^2}}_{CGS} \equiv \underbrace{\frac{lb}{ft^2}}_{S.Ingles} \equiv \frac{[MLT^{-2}]}{[L^2]} = \frac{[M]}{[LT^2]}$$

**$\vec{F}$ es la fuerza perpendicular al área A.**
**La presión P es una cantidad escalar**

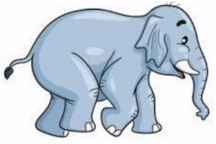
## Nota:

Es importante distinguir que la **fuerza es un vector** mientras que la **presión es un escalar**. La presión no tiene dirección asociada, pero la dirección de la fuerza asociada con la presión es perpendicular a la superficie sobre la que actúa la presión.

Esto muestra que algunas veces no es suficiente con solo **saber la magnitud de la fuerza**, también tienes que **saber cómo está distribuida esa fuerza en la superficie de impacto**.



¿Cual debe doler más, la pisada de un elefante o la de una mujer con tacones?



**Ejemplos:**

(a) Supongamos que un elefante posee una masa de 6200 $kg$, por lo que su peso será 62000 $N$ (Supongamos que $g = 10\ m/s^2$ ). Este peso se reparte sobre cada una de sus cuatro patas. Si la superficie de una pata de elefante es de 0,16 $m^2$, la presión que ejerce sobre el suelo será.

**Solución:**

- El peso que aguanta una pata: $\frac{mg}{4} = \frac{62000\ N}{4} = 15500\ N$
- Presión que ejerce sobre una pata: $\frac{15500\ N}{0{,}16\ m^2} = 96875 \frac{N}{m^2} = 96875\ Pa$

(b) Una mujer elegante que tiene una masa de 50 $kg$, es decir pesa 500 $N$, lleva unos zapatos de tacón muy puntiagudo (tacón de aguja). Si la superficie del tacón es de 0,5 $cm^2 (0,00005\ m^2)$ la presión que ejercerá será.

**Solución:**

- Peso en una pierna: $\frac{mg}{2} = \frac{500\ N}{2} = 250\ N$
- Presión que ejerce con el tacón: $\frac{250\ N}{0{,}00005\ m^2} = 500000\ \frac{N}{m^2} = 500000\ Pa$

(c) **¿Cual debe doler más?**

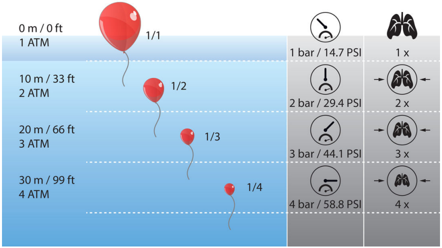
$$\frac{\text{presión mujer}}{\text{presion elefante}} = \frac{500000\ Pa}{96875\ Pa} = 5{,}16$$

La presión de la mujer es **5 veces** la del elefante

# Presión de un Fluido en reposo

## Presión y profundidad

- La presión aumenta con la profundidad.
- Cuando un fluido se encuentra en reposo en un contenedor, todas las partes del fluido deben permanecer en equilibrio estático.
- Todos los puntos a la misma profundidad deben estar a la misma presión. Si éste no fuera el caso, un fluido podría fluir de una región de mayor presión a una de menor presión.




## Definición Presión Atmosférica

La **presión atmosférica** es la presión que ejerce el aire de la atmósfera sobre un metro cuadrado de la superficie terrestre al nivel del mar. El valor estándar de la presión atmosférica al nivel del mar es:

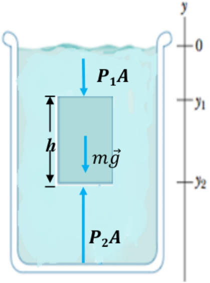
$$P_o = 101{,}3\ kPa = 101{,}3 \times 10^3\ kPa$$

## Medición

El físico italiano **Evangelista Torricelli**, barón y discípulo de Galileo, fue el primero en medir esta presión utilizando una columna de mercurio en un tubo vertical.

Puesto que el fluído está en reposo la fuerza neta sobre un elemento de fluído debe ser cero.

$$\sum F_y = P_2\ A - P_1\ A - m\ g = 0$$




$$P_2\ A = P_1\ A + m\ g \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{La fuerza } P_2\ A \text{ es mayor que la} \\ \text{fuerza } P_1\ A \text{ debido al peso del agua} \\ \text{que hay entre los dos puntos.} \end{array} \right.$$

De la definición de densidad se tiene

$$m = \rho\ V = \rho\ A(y_2 - y_1) = \rho\ A\ h$$

$$P_2 \cancel{A} = P_1 \cancel{A} + \rho \cancel{A}\ h\ g$$

## Teorema Fundamental de la Hidrostática

$$P_2 = P_1 + \rho\ h\ g$$

**Nota :** Si el líquido está expuesto a la atmósfera y $P_1$ representa la presión en la superficie del mismo, entonces se tiene que:

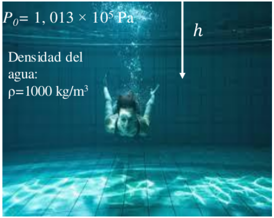
$$P_1 = P_o,$$

donde $P_o$ es la presión atmosférica.

$$P_o = 1\ \text{atm} = 1{,}013 \times 10^5\ Pa$$

# Ejemplo: Fuerza neta sobre el tímpano

Calcule la fuerza neta ejercida por el agua sobre el tímpano cuando una persona nada en el fondo de una piscina de 5,0 $m$ de profundidad. Considere el área del tímpano como 1 $cm^2$.




**Solución:** Debemos:

1) Hallar la diferencia de presión en el tímpano a esa profundidad.
2) Calcular la fuerza neta ejercida por el agua.

Recordemos que el aire dentro del oído está generalmente a presión atmosférica $P_o$. **Presión en el punto sumergido:**

$$P_2 = P_o + \rho g h$$

**Diferencia de presión:**

$$\Delta P = P_2 - P_o = \rho g h$$
$$= (1000\ \frac{kg}{m^3})(9{,}8\ \frac{m}{s^2})(5{,}0\ m) = 49000\ Pa$$

**Cálculo de la fuerza neta:** Área del tímpano:

$$A = 1\ cm^2 = 1 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$F_{\text{neta}} = \Delta P \cdot A = (49000\ Pa)(0{,}0001\ m^2) = 4{,}9\ N$$

### Igualando la presión en el oído

Debido a que la presión ejercida sobre el tímpano puede resultar incómoda, los nadadores suelen **destapar sus oídos** tragando saliva o abriendo la mandíbula mientras están bajo el agua.

Estas acciones permiten que el aire fluya desde los pulmones hacia el oído medio, **igualando la presión a ambos lados del tímpano** y aliviando así la molestia.

# Principio de Pascal

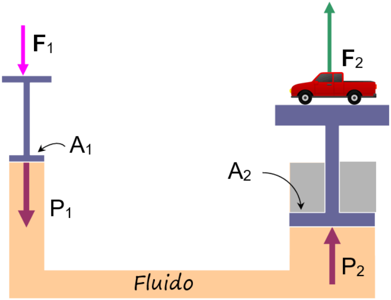
## Paradoja Hidrostática

Pese a que cada recipiente tiene forma diferente y por lo tanto es diferente la cantidad de fluido en cada uno, sin embargo el nivel del agua es el mismo en todos los casos.

## Principio de Pascal

La presión aplicada a un fluido en un punto, se transmite a todos los puntos del fluido con igual intensidad

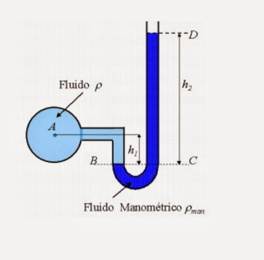
$$P_2 = P_1$$
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$
$$F_2 = \frac{F_1}{A_1} A_2$$
$$A_2 > A_1 \Rightarrow F_2 > F_1$$



# Medición de la Presión:

## Manómetro de tubo abierto

La presión del gas en el recipiente se equilibra con la presión de la columna de líquido y con la presión atmosférica que actúa sobre la superficie libre del líquido en el extremo abierto del tubo.



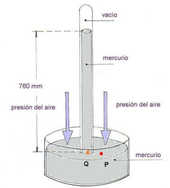

La **presión absoluta** $P_{\text{abs}}$ del gas es igual a la suma de la **presión atmosférica** $P_o$ y la **presión ejercida por la columna de líquido**, $\rho g h$:

$$P_{\text{abs}} = P_o + \rho g h$$

- $P_o$: Presión atmosférica
- $\rho$: Densidad del líquido
- $g$: Aceleración debida a la gravedad
- $h$: Altura de la columna de líquido

## Barómetro

Un barómetro es un manómetro de tubo cerrado que se expone a la atmósfera y, por lo tanto, solo **mide la presión atmosférica**.



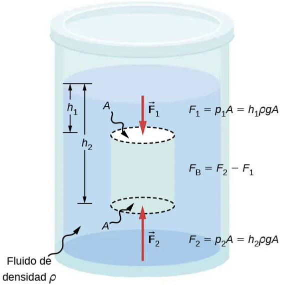

Para su funcionamiento, se llena el tubo con mercurio y luego se invierte sobre un tazón que también contiene mercurio. Al invertirlo, el mercurio dentro del tubo desciende, creando un vacío en la parte superior.

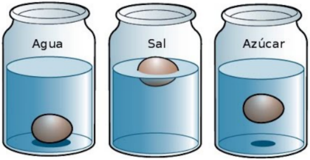
La **altura de la columna de mercurio** genera una presión en la superficie del líquido dentro del tazón que iguala a la presión atmosférica.

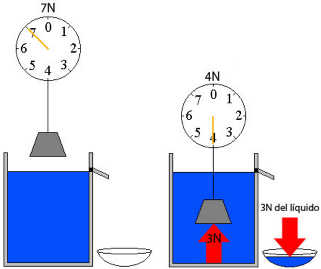
Por esta razón, la presión se expresa comúnmente en **milímetros de mercurio (mmHg)**.

# Principio de Arquímedes

Cualquier objeto sumergido parcial o totalmente en un fluido recibe una fuerza de empuje ascendente de igual magnitud al peso del fluido desplazado por el objeto, $\rho$ **es la densidad del liquido** y $V_s$ **es el volumen sumergido**.




$$E = F_2 - F_1$$

$$\left.\begin{array}{lcl} F_2 & = & P_2\ A \\ F_1 & = & P_1\ A \end{array}\right\} \Rightarrow E = P_2\ A - P_1\ A$$

$$\begin{aligned} E &= (P_o + \rho g h_2)\ A - (P_o + \rho g h_1)\ A \\ &= \rho g \quad \underbrace{(h_2 - h_1)\ A}_{\text{volumen sumergido}} \quad = \rho g V_s \end{aligned}$$

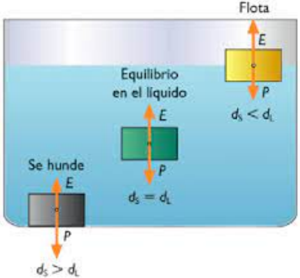
Si P es el peso del cuerpo, entonces si:

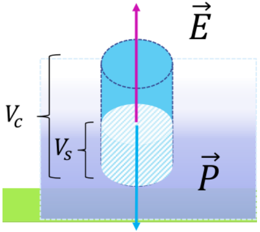
- $E < P$ el cuerpo se hunde
- $E = P$ el cuerpo está en equilibrio
- $E > P$ el cuerpo flota

Fracción de cuerpo sumergido

$$\begin{aligned} E &= P \\ \rho g V_s &= \rho_c g V_c \end{aligned}$$

$$\frac{V_s}{V_c} = \frac{\rho_c}{\rho} = \text{Fracción sumergida}$$



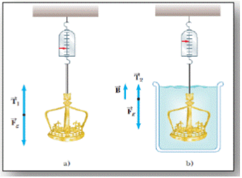



# Ejemplo: Principio de Arquímedes

Según la tradición, a Arquímedes se le pidió determinar si una corona hecha para el rey estaba compuesta de oro puro. De acuerdo con la leyenda, resolvió este problema pesando la corona primero en el aire y luego sumergida en agua.

Suponga que la lectura en la balanza fue de 7,84 $N$ cuando la corona estaba en el aire, y de 6,84 $N$ cuando estaba sumergida en agua.

**¿Qué dijo Arquímedes al rey?**




**Nota:** Densidad de oro puro $\rho = 19{,}3 \times 10^3\ kg/m^3$

Debido al empuje, la lectura de la balanza es menor cuando está sumergido.

- Cuando la corona esta suspendida en aire, la lectura en la balanza es el peso real.

$$\sum F_y = T_1 - P = 0 \Rightarrow T_1 = P = mg = 7{,}84\ N$$

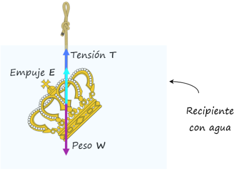
- Cuando la corona se sumerge en agua, la fuerza de empuje reduce la lectura de la balanza a un peso aparente.

$$\sum F_y = T_2 - P - E = 0 \Rightarrow T_2 = P - E = 6{,}84\ N$$

- Entonces el empuje es igual a:

$$E = P - 6{,}84\ N = 7{,}84\ N - 6{,}84\ N = 1\ N$$

# Ejemplo: Principio de Arquímedes





$$E = \rho g V_s \Rightarrow Vs = \frac{E}{\rho g} = \frac{1\ N}{(1000\ \frac{kg}{m^3}) \cdot (9{,}8\ \frac{m}{s^2})} = 0{,}0001\ m^3$$

Determinamos la densidad de la corona

$$V_s = V_{\text{corona}} \Rightarrow \rho_{\text{corona}} = \frac{m}{V_{\text{corona}}}$$

$$\rho_{\text{corona}} = \frac{m}{V_{\text{corona}}} = \frac{7{,}84\ N}{(0{,}0001\ m^3) \cdot (9{,}8\ \frac{m}{s^2})} = 8000\ \frac{kg}{m^2}$$

Densidad de oro puro $\rho = 19{,}3 \times 10^3\ kg/m^3$

**La corona NO es oro puro o está hueca.**

## Pregunta:

¿Cuál debería ser el peso aparente de la corona (suponiendo el mismo peso) si fuera macisa de oro puro?

# Conceptos

- **Densidad:** Es la masa por unidad de volumen.
- **Presión:** Es la fuerza por unidad de área.
- **Peso Específico:** Es el cociente entre la densidad de un material y la densidad del agua.

$$P_E = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

- **La Presión en un fluido en reposo:**

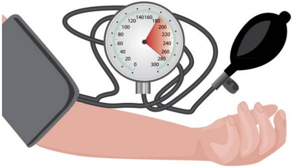
$$P = P_o + \rho g h$$

- **La Presión atmosférica :** La presión atmosférica $P_o$ es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre.
- **Principio de Pascal:** En un fluido confinado una presión externa se trasmite por igual a todo el fluido.

$$P_2 = P_1$$

- **Principio de Arquímedes:** Un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.

$$E = \rho g V_s$$




## Aplicaciones

- Diseño de presas y represas
- Medición de presión arterial
- Flotabilidad de embarcaciones
- Instrumentos de medición: manómetros y barómetros

## Reflexión Final

La hidrostática no solo describe cómo actúan los líquidos en reposo, sino que permite diseñar estructuras y dispositivos que salvan vidas y hacen posible el desarrollo humano **??**.

***Comprender la presión es comprender el equilibrio invisible de las cosas.***

**¿Preguntas?**