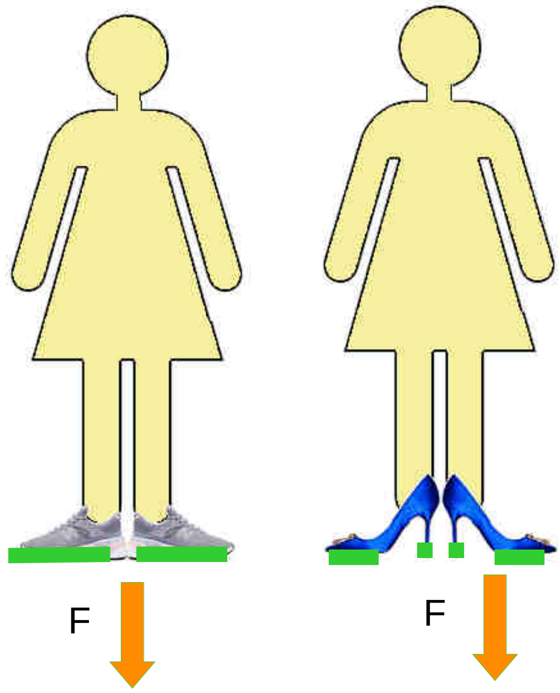
Concepto de presión

Ejemplo

Una misma persona parada sobre un suelo de barro se hunde más si usa tacos en vez de zapatillas.



La persona ejerce la misma fuerza sobre el piso en ambos casos.

Pero en el segundo caso, la fuerza está "concentrada" en una superficie más chica

Definimos presión como la fuerza ejercida por unidad de superficie

$$p = \frac{|F|}{S}$$

- Tomamos la intensidad de F, o sea: su módulo

- S es la superficie sobre la cual actúa la fuerza F

Esto es válido si F es perpendicular a la superficie; si no, habría que tomar la componente perpendicular solamente. Pero en hidrostática, las fuerzas que hacen los fluidos siempre serán perpendiculares a las superficies.

Por lo tanto, en las situaciones de arriba: p(con zapatillas) $<$ p (con tacos)

Unidades en el sistema internacional (SI)

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} \rightarrow \frac{N}{m^2} \rightarrow \text{Pascal}$$

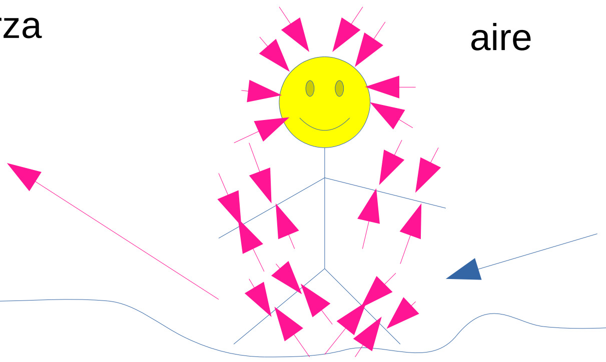
$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{N}{m^2}$$

Apliquemos esto a los fluidos, es decir: a los líquidos y a los gases.
Vamos a estudiar fluidos en reposo, es decir, que están "quietos".

"quietos"

Presión atmosférica

El aire ejerce fuerza sobre nosotros

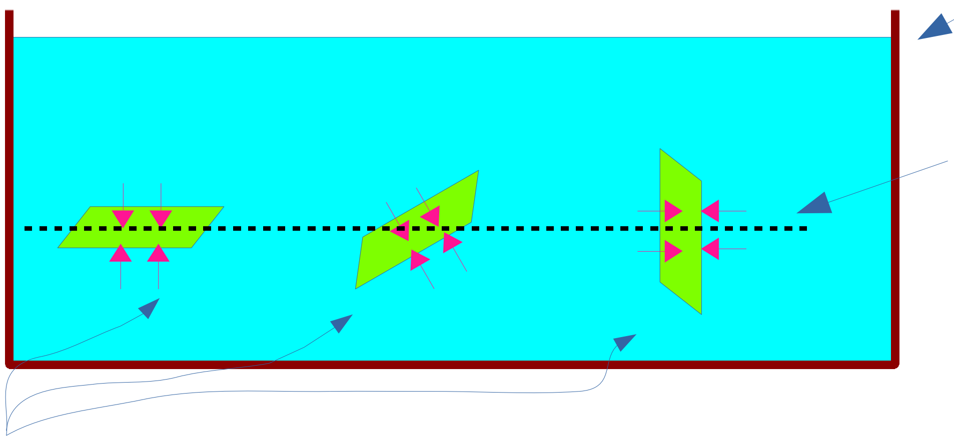


El aire ejerce fuerzas sobre cada parte de nuestro cuerpo, perpendicular a la superficie

A la presión atmosférica la llamaremos: p_{atm}

¿Cómo son las fuerzas en un fluido en reposo?

Recipiente con líquido



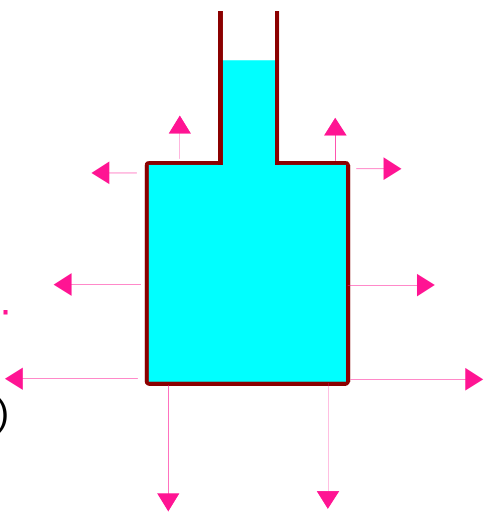
Colocamos un pequeño objeto dentro del líquido, en distintas orientaciones

El fluido ejerce fuerza sobre las caras del cuerpo, siempre perpendicular a ellas,y hacia dichas caras

La intensidad de esas fuerzas depende de la profundidad del objeto, pero no de la orientación de sus caras

Las fuerzas que ejerce el fluido sobre las paredes de un recipiente, tienen la misma propiedad: en cada punto de la pared del recipiente, el fluido ejerce fuerzas perpendiculares a la pared, y contra la pared.

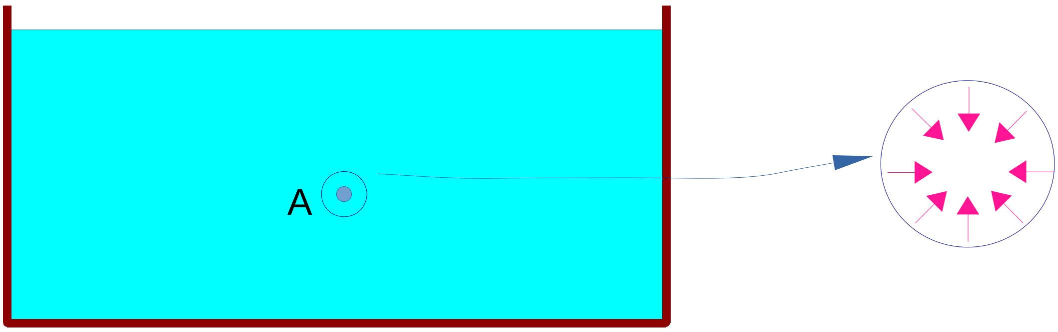
Las flechitas indican fuerzas aplicadas en el recipiente.



Las intensidad de las fuerzas (por unidad de superficie) que el fluido ejerce sobre las paredes del recipiente, aumenta con la profundidad

¿A qué le llamamos presión en un punto de un fluido?

Tenemos un punto A dentro de un fluido. ¿Qué fuerza y qué superficie tendríamos que tomar para calcular $p_{A?}$



Imaginemos una "esferita" dentro de un fluido: un "trocito" muy chiquito de fluido, alrededor del punto A.

Todos los "trocitos" de fluido que limitan con la "esferita" que elegimos, ejercen fuerzas sobre ella

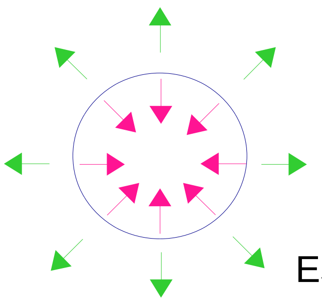
Llamamos "presión en el punto A" a: la suma de las **intensidades** de las fuerzas ejercidas sobre la esferita (no es suma de vectores), dividida por el área de la esferita:

$$p_A = \frac{\sum |Fi|}{\text{Area esferita}}$$

presión absoluta en el punto A

¡Atención! Cada fuerza es un vector (tiene dirección, sentido y módulo), pero la presión es un escalar.

Esto lo hicimos para definir la presión en un punto, pero en la práctica, la calcularemos de otra forma



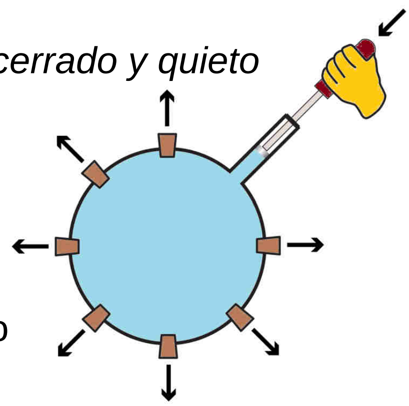
La "esferita" de fluido que habíamos considerado, recibe fuerza de todas las partículas que la rodean

Por lo tanto, por la 3ra. Ley de Newton, la "esferita" ejerce fuerzas sobre todas las partículas que la rodean.

Es decir que las presiones se transmiten en todas las direcciones.

Principio de Pascal

Los cambios de presión en cualquier parte de un fluido encerrado y quieto se transmiten sin alteración a todo el fluido.

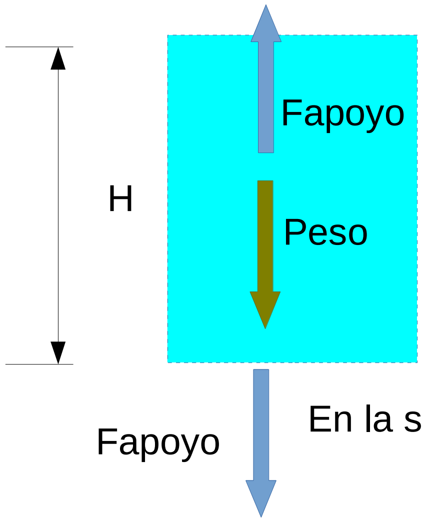


Experiencia: esfera llena de líquido. Tiene un émbolo en el cuello de la botella, y tiene varios orificios tapados con corchitos.

Si vamos aumentando la presión sobre el émbolo, en cierto momento todos los corchitos salen simultáneamente.

El cambio de presión se transmitió en todas las direcciones y sentidos a todo el fluido.

Presión ejercida por una columna de fluido



Veamos cómo podemos calcular la presión que ejerce una porción de fluido sobre la superficie que está debajo de él. Atención: aquí sólo estamos considerando la columna de fluido, <u>sin contar el efecto de la presión que puede haber arriba de la misma</u>.

Pensemos a todo el fluido como si fuera un objeto. Fuerzas aplicadas en el líquido: Fapoyo y Peso

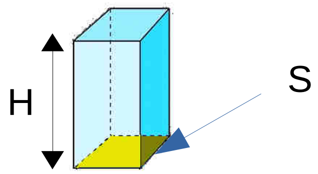
En equilibrio: Fapoyo - Peso = 0

En la superficie inferior, está el par de interacción de la Fapoyo

Presión de la columna: $p_{CL} = \dfrac{\text{Fapoyo}}{S} = \dfrac{P}{S} = \dfrac{m.g}{S} = \dfrac{\delta\,.\,V\,.g}{S}$

Auxiliar: δ : densidad

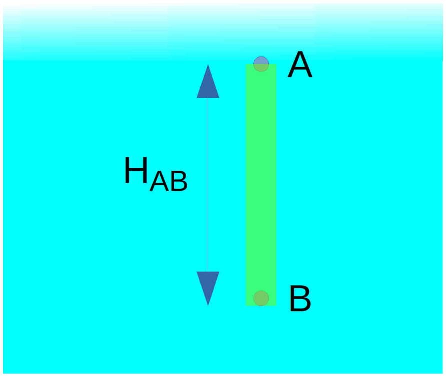
δ = masa / Volumen $V = S\,.\,H$



$p_{CL} = \dfrac{\delta\,.\,\cancel{S}\,.\,H\,.g}{\cancel{S}} = \underline{\delta\,.\,g\,.\,H}$

Esta expresión da la presión que ejerce **<u>sólo</u>** una columna de fluido en reposo sobre los puntos justo debajo de la misma

Cómo relacionamos entre sí las presiones absolutas en dos puntos A y B



$p_B = \ p_A$ + presión columnaAB

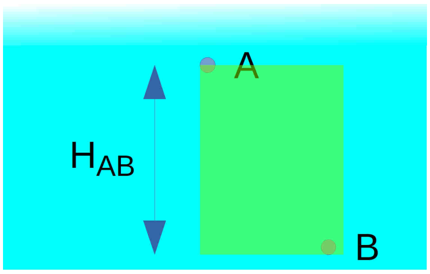
Teorema fundamental de la hidrostática

$\boxed{p_B = p_A + \delta\,.\,g\,.\,H_{AB}}$ $H_{AB} \geq 0$, $g > 0$

El teorema fundamental de la hidrostática relaciona las presiones absolutas en dos puntos dentro de un mismo fluido, y en un mismo recipiente, de densidad δ

A y B: deben estar en un mismo fluido,
y en un mismo recipiente

B puede ser cualquier punto más abajo que A
No hace falta que A y B estén sobre una misma recta vertical.



En particular: Si $H_{AB} = 0$: $p_A = \ p_B$

Dos puntos a igual altura, en un mismo líquido, tienen igual presión

Ejemplo sencillo de aplicación del teorema fundamental

Se tiene un tanque de 2 metros de profundidad, completamente lleno con agua, y abierto a la atmósfera en su cara superior.

Sabiendo que la densidad del agua es de 1000 kg/m^3, y considerando que la presión atmosférica es de 100 000 Pa, calcular la presión en un punto ubicado a 50 cm del fondo.

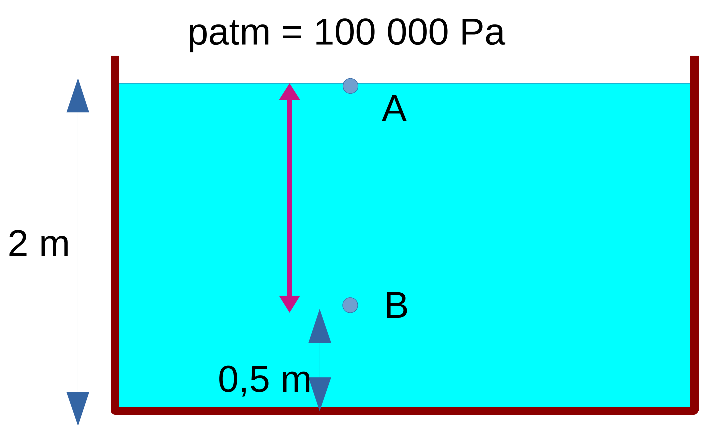
El Teorema Fundamental de la hidrostática dice que, si A y B son puntos dentro de un mismo fluido en reposo:

$$\boxed{p_B = p_A + \delta \cdot g \cdot H_{AB}}$$

donde B es un punto ubicado más abajo que el punto A, y H_{AB} es la diferencia de altura entre A y B, en módulo

Conocemos la presión arriba → punto A

Queremos calcular la presión en el punto marcado abajo → punto B



¡Atención! El valor de H_{AB} es 2m - 0,5 m = 1,5 m

p_B = 100 000 Pa + 1000 kg/m^3 . 10 m/s^2. 1,5 m

p_B = 100 000 Pa + 15 000 Pa = 115 000 Pa

Obviamente, $p_B > p_A$, ya que B es un punto que está más abajo que A.

Presión atmosférica

El AIRE que nos rodea ejerce presión sobre nosotros y sobre todos los objetos

Si subimos a una montaña, tendremos menos "columna de aire" sobre nuestra cabeza, que cuando estamos a nivel del mar.

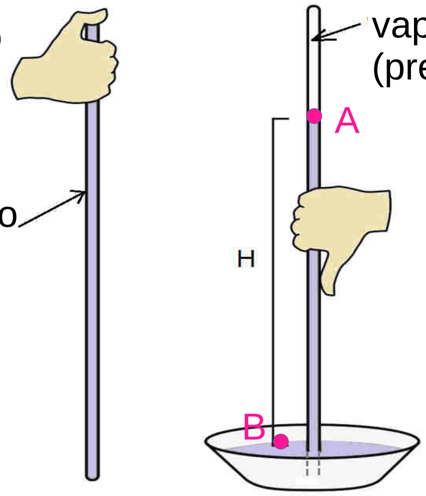
Por eso, la presión atmosférica disminuye con la altura.

Medición de la presión atmosférica *Experimento de Torricelli*

1) Se llena completamente de mercurio un tubo largo, cerrado en el extremo inferior.

Transitoriamente, se cierra también el otro extremo.

2) Luego se da vuelta el tubo 180°, se lo introduce en un recipiente con mercurio (abierto a la atmósfera), y luego se abre el extremo sumergido. (de esta manera, no entra aire)



3) Luego de abrir el extremo sumergido, se observa que el mercurio (que antes llenaba el tubo), baja, pero no todo... queda a una altura H por encima del nivel del recipiente.

La presión en A es muy pequeña; hay casi vacío (no entró aire) ➡ p_A = aprox. 0

Teorema de la hidrostática: $p_B = p_A + \delta \,.\, g \,.\, H$ $\quad p_B = p_{atm} = ??$

Se mide H y se calcula patm: Al nivel del mar y 0°C, H = 0,76 m

$p_{atm} = 0 + 13595{,}1 \,.\, 9{,}80665 \,.\, 0{,}76$ Pa $\quad \boxed{p_{atm} = 101\,325 \text{ Pa}}$ Al nivel del mar y 0°C

Algunas unidades

Esto es una definición de una unidad, ¡no significa que la presión atmosférica tenga que valer esto!

Atmósfera Se define: 1 atm = 101 325 Pa

"Milímetro de mercurio" (como medida de presión):

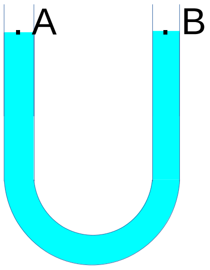
Se define como la presión ejercida por una columna de mercurio (Hg) de un milímetro de altura, sobre su base. Equivalencia: 760 mm Hg = 101 325 Pa

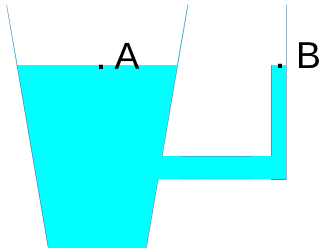
Torr: Se define: 1torr = 1 mm Hg

Vasos comunicantes - Tubos en U - Cómo relacionar las presiones y alturas

* Con un mismo líquido

Si ambas ramas están abiertas a la atmósfera, el nivel del líquido es el mismo en ambas





Sabemos que $p_B = p_A + \delta \cdot g \cdot H_{AB}$

Y como $p_A = p_B \longrightarrow H_{AB} = 0$

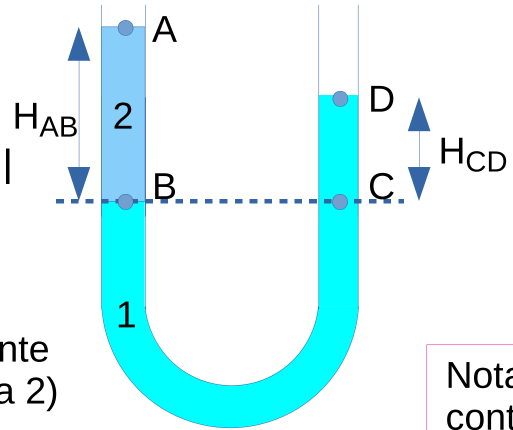
* Con distintos líquidos:

Supongamos que tenemos un tubo en U que contiene un líquido 1. Luego volcamos un cierto volumen de líquido 2 sobre la rama izquierda del tubo, sobre el líquido 1

Si dos puntos en un mismo líquido están a igual altura, tienen igual presión, por eso:

$p_C = p_B$ (1)

(Al punto B lo podemos pensar como perteneciente tanto al líquido 1, como a 2)



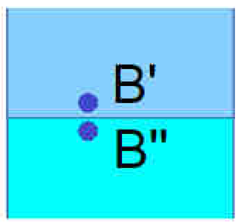
Como ambas ramas están abiertas a la atmósfera, se cumple:

$p_A = p_{atm}$

$p_D = p_{atm}$

Nota: como la presión es continua, la presión en los puntos B' y B" indicados en la figura es la misma.
Así que directamente llamamos "B" a cualquiera de ellos dos, según nos convenga

$p_{B'} = p_{B''}$



<u>Líquido 2:</u> $p_B = p_A + \delta_2 \cdot g \cdot H_{AB}$ (2)

A y B en el líquido 2

<u>Líquido 1:</u> $p_C = p_D + \delta_1 \cdot g \cdot H_{CD}$ (3)

C y D en el líquido 1

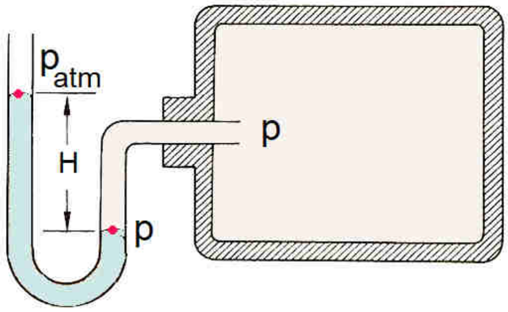
Reemplazando las expresiones (2) y (3) en la ecuación (1):

$$\cancel{p_A} + \delta_2 \cdot g \cdot H_{AB} = \cancel{p_D} + \delta_1 \cdot g \cdot H_{CD}$$

Con las dos ramas abiertas, queda: $\boxed{\delta_2 \cdot H_{AB} = \delta_1 \cdot H_{CD}}$

Instrumento para medir la presión: manómetro

Un manómetro mide la diferencia entre cierta presión de interés (p) y la presión atmosférica (patm):



De acuerdo al teorema de la hidrostática:

$$p = p_{atm} + \delta \cdot g \cdot H$$

$$p - p_{atm} = \delta \cdot g \cdot H$$

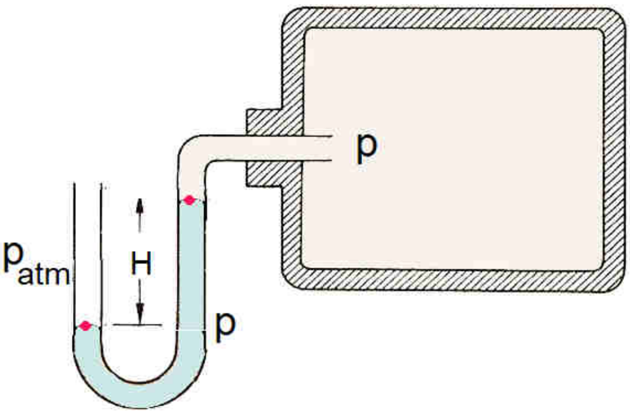
Definición de presión manométrica

Presión manométrica en un punto: es la diferencia entre la presión absoluta en ese punto y la presión atmosférica:

$$\mathbf{p_{manom}\ (punto\ A\ ) = p\ (en\ A) - p_{atm.}}$$

ATENCION: ¡¡esa resta NO SIEMPRE DA δ . g . H !! La presión absoluta en A debe hallarse primero con el teorema fundamental de la hidrostática, y después se le resta la presión atmosférica.

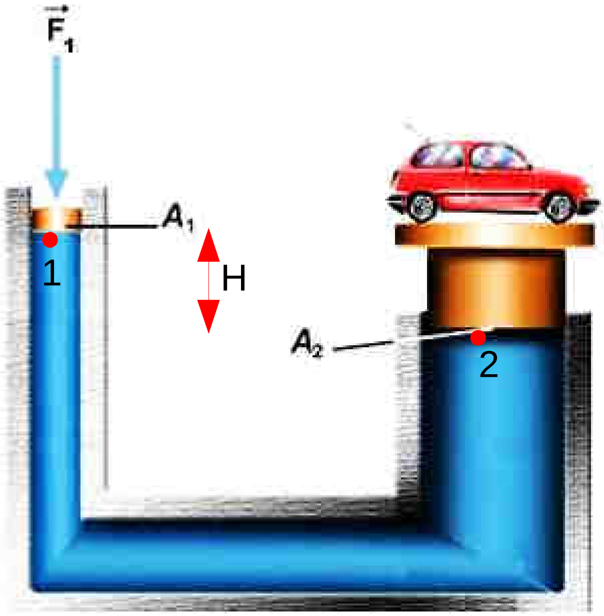
Para pensar:



¿Cómo relacionarías a la presión p con la presión atmosférica en esta situación?

Aplicación del teorema de la hidrostática y del principio de Pascal

Prensa hidráulica



El dispositivo consiste en:
- Dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí
- Interior lleno de líquido
- Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido
- Se ejerce una fuerza externa F1 sobre el cilindro de menor diámetro; la presión se transmite hacia 2

Punto 1: en el líquido, pegado al émbolo pequeño
Punto 2: en el líquido, pegado al émbolo grande

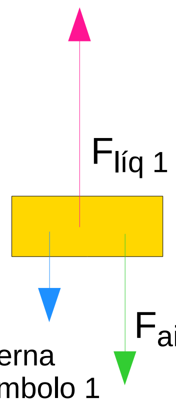
De acuerdo al teorema de la hidrostática, la relación entre presiones es:

$$\boxed{p_2 = p_1 + \delta \,.\, g \,.\, H \qquad (1)}$$

H = dif. de altura entre émbolos

Para relacionar las presiones y las fuerzas, realizamos los diagramas de cuerpo libre para los **émbolos**. Despreciamos el peso de cada émbolo y el rozamiento.

Planteamos Suma de fuerzas = 0 para cada émbolo.



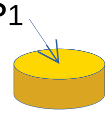
$F_{líq\ 1} = p_1 . S_1$

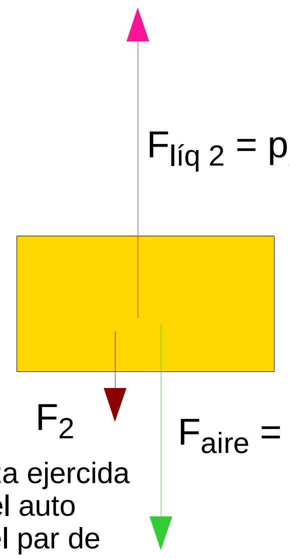
F_1

fuerza externa sobre el émbolo 1

$F_{aire} = p_{atm} . S_1$

$$\begin{cases} p_1 \,.\, S_1 - p_{atm} .\, S_1 - F_1 = 0 \\ p_1 = p_{atm} + F_1/S_1 \qquad (2) \end{cases}$$





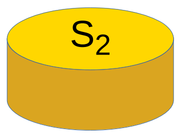
$F_{líq\ 2} = p_2 . S_2$

F_2

fuerza ejercida por el auto (es el par de interacción de la "normal" que le hace el émbolo)

$F_{aire} = p_{atm} \,.\, S_2$

$$\begin{cases} p_2 \,.\, S_2 - patm.\, S_2 - F_2 = 0 \\ p_2 = p_{atm} + F_2/S_2 \qquad (3) \end{cases}$$



Reemplazando (2) y (3) en (1):

$$\cancel{p_{atm}} + F_2/S_2 = \cancel{p_{atm}} + F_1/S_1 + \delta \,.\, g \,.\, H$$

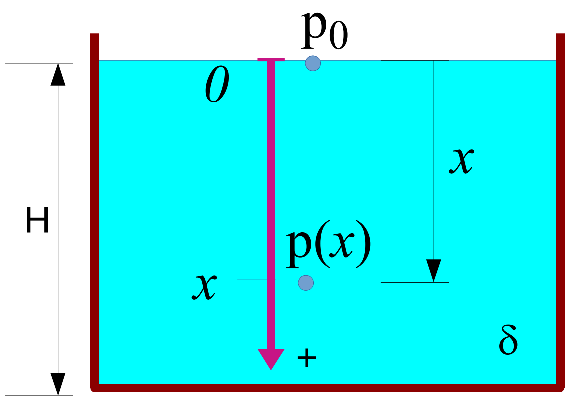
$$\boxed{F_1 = (S_1/S_2).\, F_2 - \delta \,.\, g \,.\, H \,.\, S_1}$$

Observar que F_1 es menor que F_2

Gráficos de presión en función de profundidad

Ejemplo: un recipiente con un sólo líquido, abierto en su superficie superior

Líquido de densidad δ



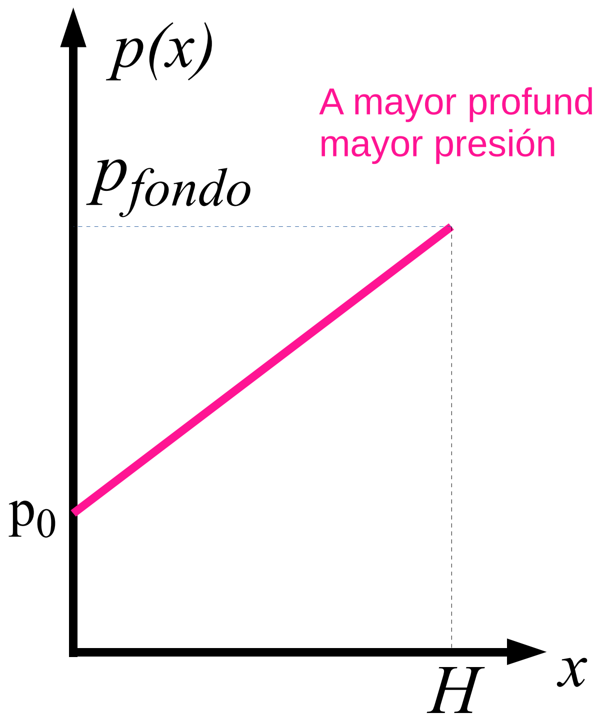
Tomamos un eje x con x = 0 sobre la superficie superior, y positivo hacia abajo.
Es decir que x indica la **profundidad** de un cierto punto cuya presión es p(x)

x = profundidad

Relacionamos, mediante el teorema de la hidrostática, a un punto en la superficie del líquido -con presión p_0- con un punto arbitrario en el líquido a profundidad x, con presión p(x).
Como x = 0 está en la superficie, la diferencia de altura entre ambos puntos considerados es x.

$$p(x) = \underbrace{p_0}_{\text{ordenada al origen}} + \underbrace{\delta \cdot g}_{\text{pendiente}} \cdot x$$

El gráfico de la presión en función de la profundidad (x) queda:



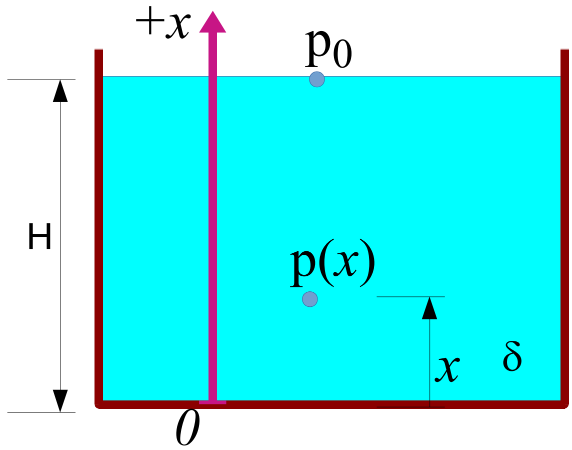
A mayor profundidad, mayor presión

δ ⟶ asociada a la pendiente

A mayor densidad, mayor pendiente

Variante: para la situación anterior, podemos graficar en función de la altura

Líquido de densidad δ



Tomamos un eje x con x = 0 sobre el fondo del recipiente, positivo hacia arriba.
Es decir que x indica la **altura** de un cierto punto cuya presión es p(x)

x = altura

Relacionamos, mediante el teorema de la hidrostática, a un punto en la superficie del líquido -con presión p_0- con un punto arbitrario en el líquido cuya presión es p(x).
Como x = 0 está sobre el fondo, la diferencia de altura entre ambos puntos considerados es (H - x).

$$p(x) = p_0 + \delta \,.\, g \,.\, (H - x)$$

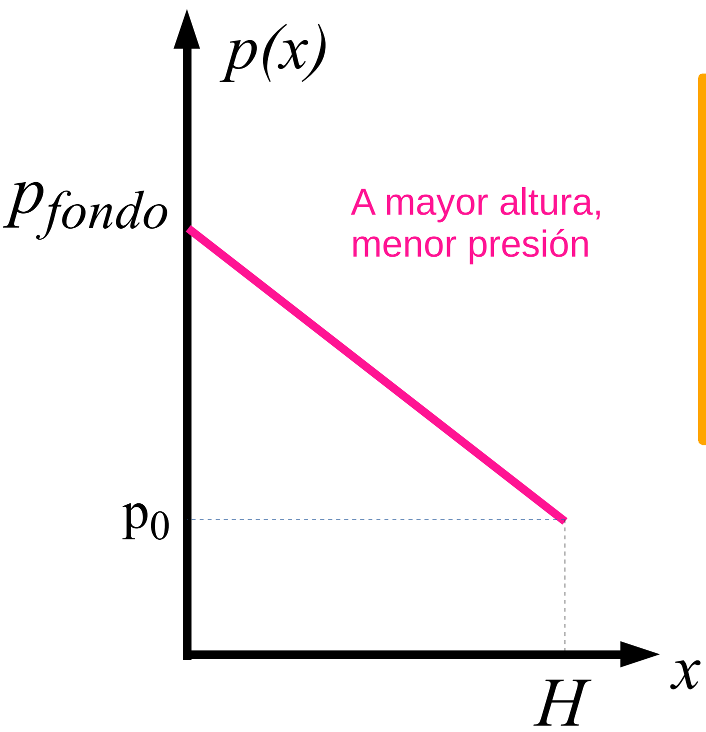
$$p(x) = \underbrace{p_0 + \delta \,.\, g \,.\, H}_{p_{fondo}} - \delta \,.\, g \,.\, x$$

$$p(x) = p_{fondo} - \delta \,.\, g \,.\, x$$

ordenada al origen

pendiente

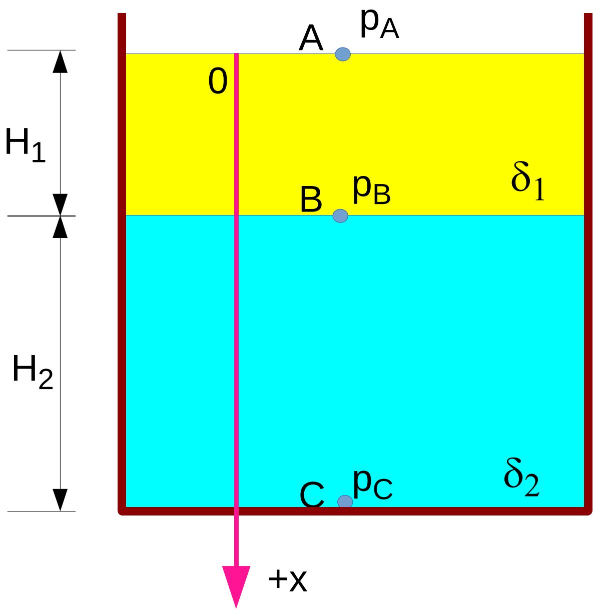
El gráfico queda:



δ → asociada al valor absoluto de la pendiente

A mayor densidad, mayor pendiente en valor absoluto

Recipiente con dos líquidos inmiscibles, abierto en su superficie superior
Graficaremos presión vs . profundidad



Datos:

p_A

H_1, H_2

δ_1, δ_2

$\delta_1 < \delta_2$

- La coordenada x de la figura indica la ***profundidad.*** Ubicamos x = 0 al nivel de A

- Relacionaremos a las presiones pB y PC, con pA, con el teorema de la hidrostática.

Entre A y B:

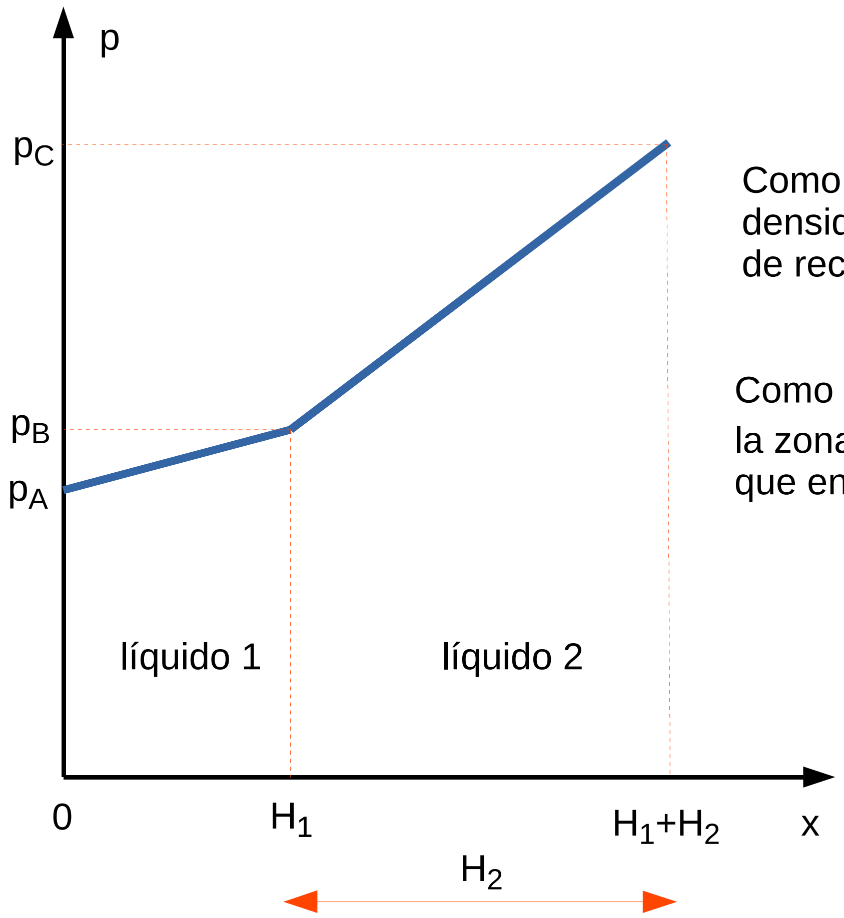
$$\boxed{p_B = p_A + \delta_1 \cdot g \cdot H_1} \quad (1)$$

Entre B y C: $p_C = p_B + \delta_2 \cdot g \cdot H_2$

Reemplazando la expresión (1) en p_B: $\rightarrow$ $\boxed{p_C = p_A + \delta_1 \cdot g \cdot H_1 + \delta_2 \cdot g \cdot H_2}$

En las expresiones anteriores, p_A, p_B y p_C son presiones absolutas

Si se conocen p_A, H_1, H_2, δ_1, y δ_2, se pueden calcular p_A, p_B y p_C, y entonces el gráfico queda:



Como hay dos zonas con distinta densidad, quedan dos segmentos de recta con distinta pendiente.

Como $\delta_1 < \delta_2$, la pendiente en la zona del líquido 2 es mayor que en la zona del líquido 1