

FLUIDS

MP02_transport de Sòlids i fluids
Uf1_control i transport de líquids
A1.2_Fluids

CONCEPTE FLUID

- A la indústria química el transport de fluids és molt important. El treball amb fluids (líquids o gasos) és molt més fàcil i més econòmic que el treball amb sòlids.
- Un fluid es pot definir com una substància que no resisteix de forma permanent una distorsió. Si s'intenta canviar la forma d'un fluid únicament s'aconseguirà un desplaçament del mateix.
- Els fluids estan formats per molècules en constant moviment. El concepte de medi continu (és aquell material que pot ser subdividit continuadament en elements infinitesimals que conserven les mateixes propietats del material) és la base de la hidrodinàmica, i per tant cada propietat d'un fluid, densitat, viscositat, temperatura, velocitat, ... té un valor definit en cada punt de l'espai.



CARACTERÍSTIQUES

- **Moviment no acotat de les molècules.** Són infinitament deformables, les seves molècules no tenen una posició d'equilibri, com succeeix en els sòlids on la majoria de molècules executen petits moviments al voltant de les seves posicions d'equilibri.
- **Compressibilitat.** Tots els fluids són compressibles en cert grau. No obstant això, els líquids són altament incompressibles a diferència dels gasos que són altament compressibles.
- **Viscositat,** tot i que la viscositat en els gasos és molt menor que en els líquids. La viscositat fa que la velocitat de deformació pot augmentar les tensions en el si del medi continu.
- **Distància Molecular Gran:** Aquesta permet canviar molt fàcilment la seva velocitat a causa de forces externes i facilita la seva compressió.
- **Forces de Van der Waals:** Aquesta força va ser descoberta pel físic holandès Johannes Van der Waals, el físic va trobar la importància de considerar el volum de les molècules i les forces intermoleculares. També la distribució de càrregues positives i negatives en les molècules establint la relació entre pressió, volum i temperatura dels fluids.
- **Absència de memòria de forma,** és a dir, prenen la forma del recipient que el contingui

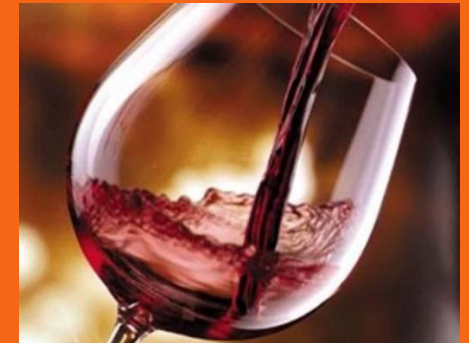
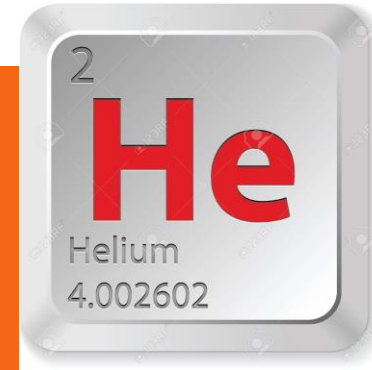


TIPUS DE FLUIDS



TIPUS DE FLUIDS

- **Superfluids (fluids perfectes):** és un estat de la matèria caracteritzat per l'absència total de viscositat (la qual cosa el diferencia d'una substància molt fluida, la qual tindria una viscositat pròxima a zero), de manera que, en un circuit tancat, fluiria interminablement sense fricció
- **Fluids newtonians:** és un fluid la viscositat del qual es pot considerar constant en el temps
- **Fluids no newtonians:** és aquell fluid la viscositat del qual varia amb la temperatura i la tensió tallant que se li aplica. Un fluid no newtonià no té un valor de viscositat definit i constant



FLUX DEL FLUID

El flux és la quantitat de fluid que passa en la unitat de temps. Així podem definir:

- Cabal o flux màssic: massa de fluid que passa per una canonada en un determinat moment.

$$C_m = m/t$$

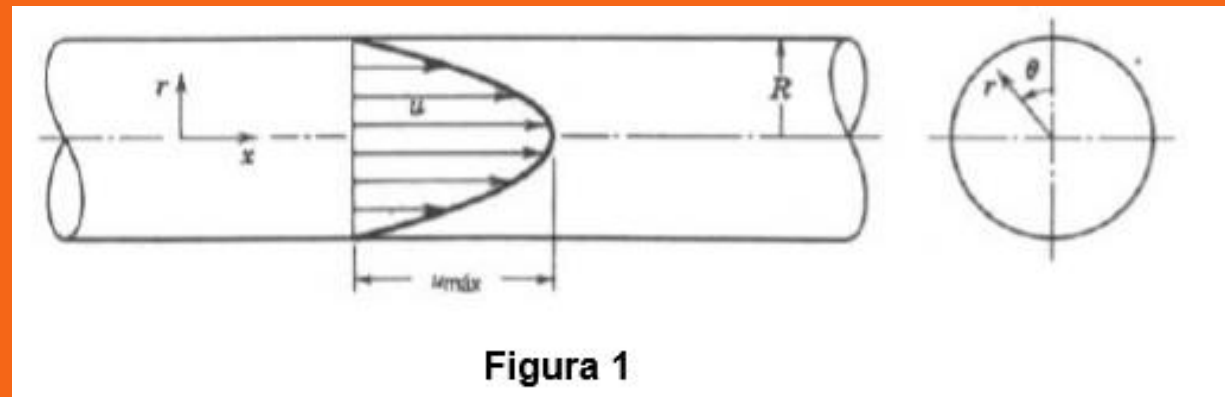
El cabal es mesura en sistema internacional en **kg/s**

- El cabal o flux molar: nombre de mols que circula en la unitat de temps (**mols/s**)
- El cabal volumètric: volum que circula en la unitat de temps (**m³/s**)

Els instruments per mesurar el cabal poden ser volumètrics (mesuren volums) o màssics (mesuren massa).

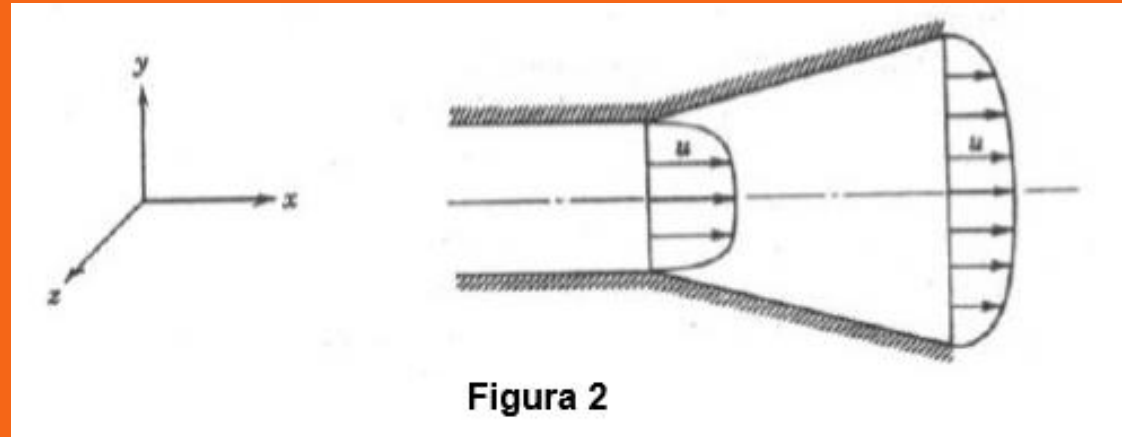
FLUX DEL FLUID

- **Estacionari:** no hi ha variació de les propietats del fluid respecte al temps
- **Unidimensional, bidimensional, tridimensional:** nombre de coordenades espacials necessàries per a especificar la velocitat del fluid.



El flux és unidimensional ja que per definir el flux només cal una coordenada, el radi r .

FLUX DEL FLUID



En canvi en aquest cas calen dos dimensions, x , y , per definir la velocitat

- **Permanent:** no hi ha variació de la velocitat del fluid en un punt amb respecte al temps. Quan en un punt qualsevol d'una massa de fluid la velocitat de les seves partícules en cada instant és la mateixa. Això no vol dir que en tots els punts del líquid la velocitat sigui la mateixa.
- **Uniforme:** té lloc quan el mòdul, la direcció i el sentit de la velocitat no varien d'un punt a un altre del fluid.
- **Compressible:** aquell fluid que té una densitat que pot variar considerablement

PROPIETATS DELS FLUIDS: DENSITAT

És el quocient entre la massa i el volum d'una substància.

$$\text{Densitat} = (\text{massa}/\text{volum})$$

Per representar matemàticament la densitat s'utilitza la lletra grega ρ (rho).

$$\rho = (m/V)$$

Al sistema internacional d'unitats la massa es mesura amb kg i el volum amb m³. Per tant la densitat es mesurarà en kg/m³.

Normalment la densitat del gasos s'expressa en kg/m³, aire (4°C)=1,20 kg/m³, mentre que la densitat dels líquids s'expressa en sistema cegesimal cgs, $\rho_{\text{aigua}}(4^\circ\text{C})=1 \text{ g/cm}^3$.

PROPIETATS DELS FLUIDS: DENSITAT

La **densitat relativa** es defineix com la relació entre la densitat d'una substància i la densitat d'una altra substància que es pren com a referència.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$$

on ρ_r és la densitat relativa, ρ_0 és la densitat absoluta i ρ és la densitat de substància.

Per a sòlids i líquids la substància de referència és l'aigua a 4°C, $\rho_{\text{aigua}}=1000 \text{ kg/m}^3$,

Per els gasos és l'aire a 0°C i 1 atm de pressió. $\rho_{\text{aire}}=1,29 \text{ kg/m}^3$.

Per tant la densitat relativa és un nombre adimensional, $\rho_{\text{aigua}}=1$.

La variació de la densitat amb la temperatura depèn de la substància. Així per exemple l'aigua té una densitat màxima de 1 g/cm³ a 4°C disminuint a partir d'aquest valor a mesura que augmenta la temperatura.

PROPIETATS DELS FLUIDS: PES ESPECÍFIC

El pes específic γ es defineix com el pes d'una substància per unitat de volum.

$$\gamma = (P/V) = m \cdot g / V$$

Les unitats del pes específic en el sistema internacional és N/m³.

PROPIETATS DELS FLUIDS: PES ESPECÍFIC

Relació entre la densitat i el pes específic

D'acord amb les definicions anteriors tenim:

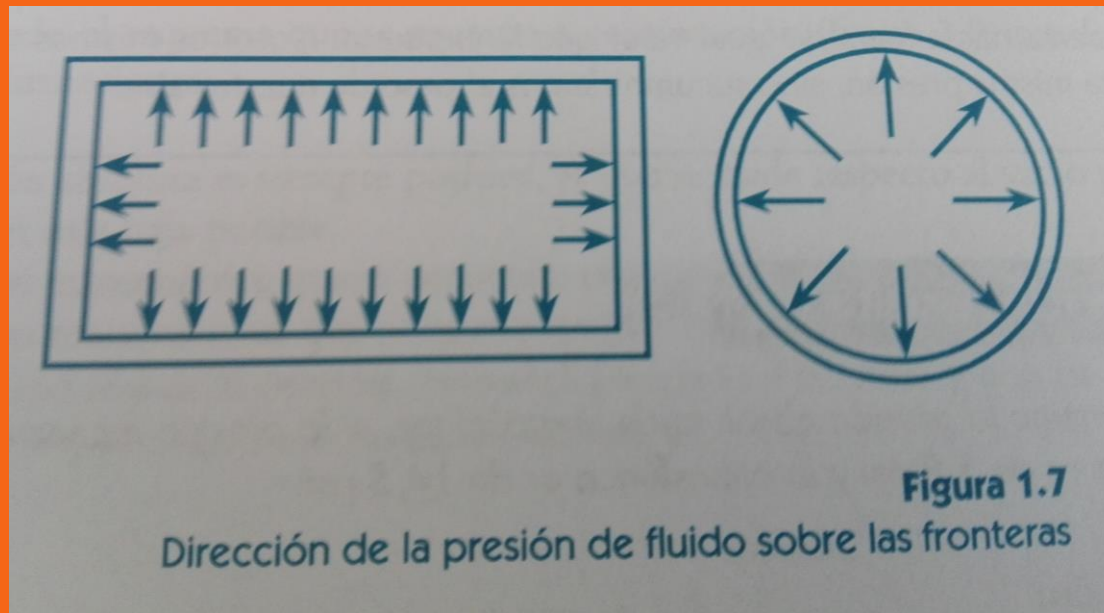
$$\gamma = \rho \cdot g$$

PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

És la relació entre la força que s'exerceix sobre una determinada superfície i l'àrea d'aquesta superfície. En el nostre cas serà la força que fa un fluid sobre una superfície, per exemple les parets d'un reactor o d'una canonada.

$$P=F/S$$

Les unitats de la pressió depenen de les unitats de la força i de la superfície



PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

Al sistema internacional s'utilitza el Pascal (Pa). La força ve donada en Newtons N i la superfície en m^2 .

$$Pa = 1 N / 1 m^2$$

Al sistema tècnic s'utilitza quilogram-força (kilopondi – kp) per metre quadrat, $1 kp/m^2$:

$$1 kp/m^2 \cdot (9,8 N / 1kp) = 9,8 N/m^2 = 9,8 Pa$$

Existeixen altres sistemes d'unitats per mesurar la pressió. Així en meteorologia s'utilitza atm, mmHg, els bars o milibars.

$$1 atm = 760 mmHg \text{ o torricellis} = 1 kp/cm^2 = 10^5 Pa = 10^3 \text{ milibars} = 1 bar$$

$1 kp/cm^2$ s'utilitza normalment en utilitzacions industrials. Com que hi ha molt poca diferència entre $1 atm$ i $1 kp/cm^2$, s'utilitza el nom d'Atmosfera Tècnica per a diferenciar-la.

En bombes trobarem una unitat anomenada psi

$$1 psi = 6895 Pa = 704 kgf/m^2 ; 1 atm = 14,6 psi$$

PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

La pressió atmosfèrica: és la pressió que exerceix l'atmosfera. L'atmosfera és un fluid gasós i per tant fa una determinada força sobre tota la superfície terrestre i en definitiva sobre nosaltres. Per mesurar la pressió atmosfèrica s'utilitza un baròmetre. A nivell de mar la pressió atmosfèrica normal és la que equilibra una columna de 760 mmHg o 1 atm.

PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

Pressió manomètrica: és la pressió que mesura un manòmetre a partir d'una diferència de pressions. S'utilitza per mesurar la pressió de fluids a l'interior de reactors, material de laboratori.

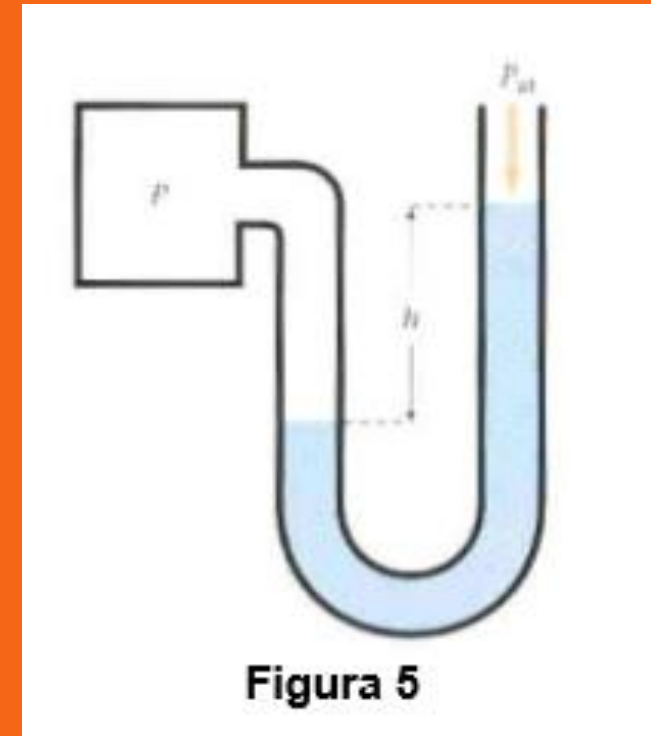
En un recipient buit diem que no hi ha pressió. Això no és del tot cert ja que la pressió atmosfèrica està actuant. El que realment volem dir és que no hi ha diferència de pressió amb l'atmosfera. Si en un recipient tancat poguéssim eliminar totes les molècules al seu interior no hi hauria molècules que xoquessin i per tant la pressió seria igual a zero, tindríem el buit absolut. Al mesurar la pressió podem prendre com a referència el zero absolut o la pressió atmosfèrica.

Pressió absoluta: és la suma de la pressió atmosfèrica i la pressió manomètrica

Pressió relativa: és la diferència entre pressió atmosfèrica i pressió manomètrica

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{manomètrica}} + P_{\text{atm}}$$

La pressió del fluid és igual a la pressió atmosfèrica més la pressió manomètrica. La pressió manomètrica ve determinada per l'alçada de la columna.



PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

Un exemple és la mesura de la pressió dels pneumàtics d'un cotxe. Si els pneumàtics estan desinflatats la pressió interior és igual a la pressió exterior i per tant, la pressió manomètrica és igual a zero. En canvi quan s'inflen la pressió interior és superior a la pressió exterior (quan s'obre la vàlvula surt aire) i per tant la pressió manomètrica que és la que mesuren, és diferent de zero.

Per tant, si a la indústria tenim un manòmetre que mesura a l'interior d'un recipient 4 kgf/cm^2 de pressió indicada o relativa, la pressió absoluta a l'interior del recipient serà 5 kgf/cm^2

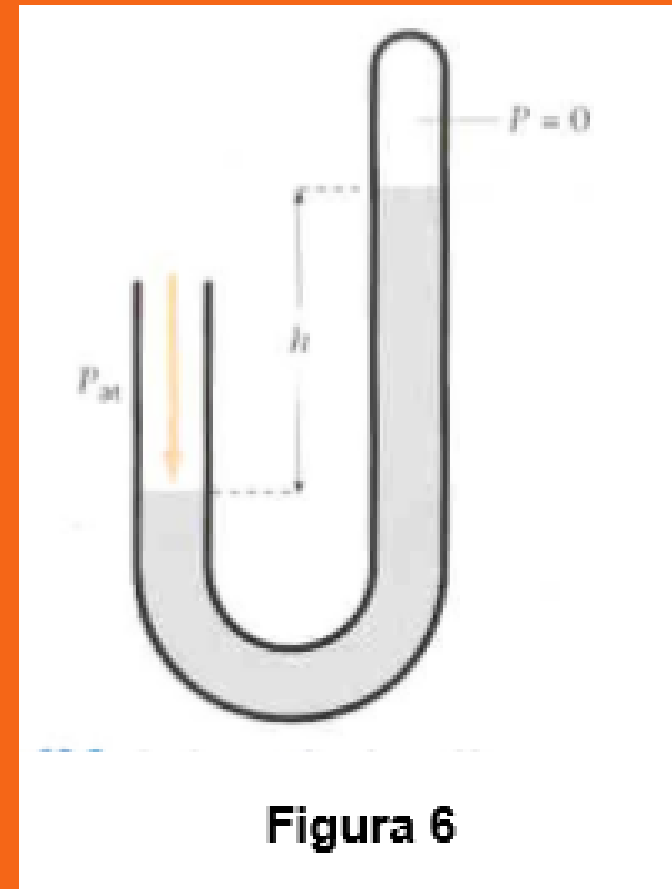


Figura 6

- La presión absoluta es siempre positiva, ya que se mide respecto al vacío perfecto, que es la presión más baja posible.
- La presión manométrica que se encuentra por encima de la presión atmosférica es positiva.
- La presión manométrica que se encuentra por debajo de la atmosférica es negativa.
- La magnitud real de la presión atmosférica varía con la altura y con las condiciones climatológicas y se indica con la *presión barométrica*.

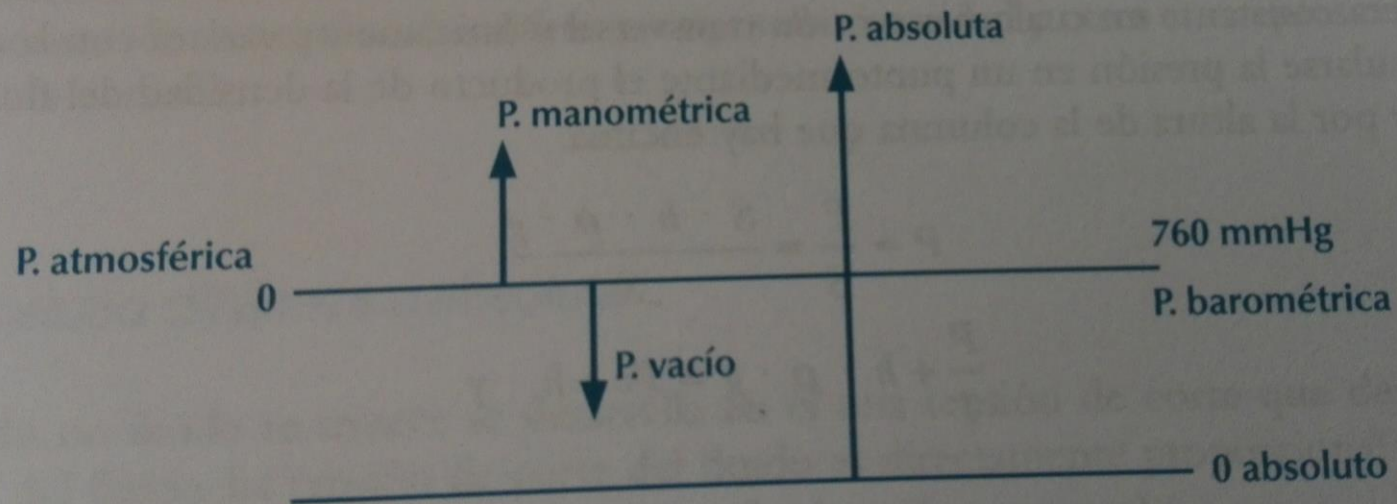


Figura 1.9
Comparación entre presión absoluta, atmosférica y manométrica

PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

La pressió hidrostàtica és la pressió que exerceix un líquid. En una columna estacionària d'un fluid estàtic, la pressió en qualsevol punt és la mateixa en totes les direccions. La pressió també serà constant en qualsevol secció transversal i només variarà amb l'alçada.

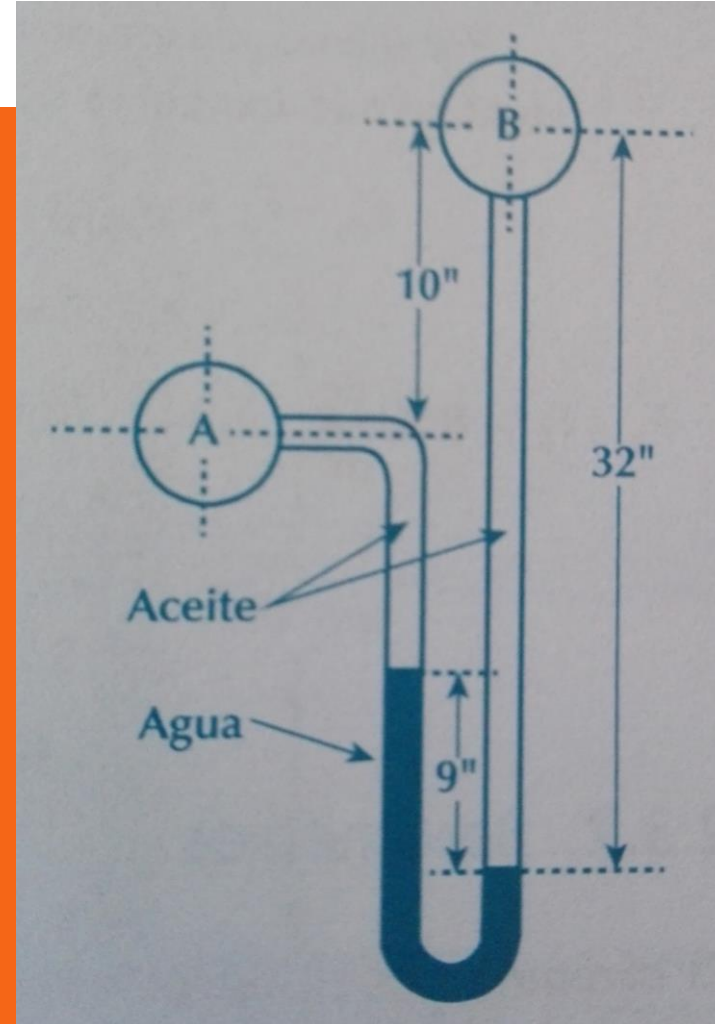
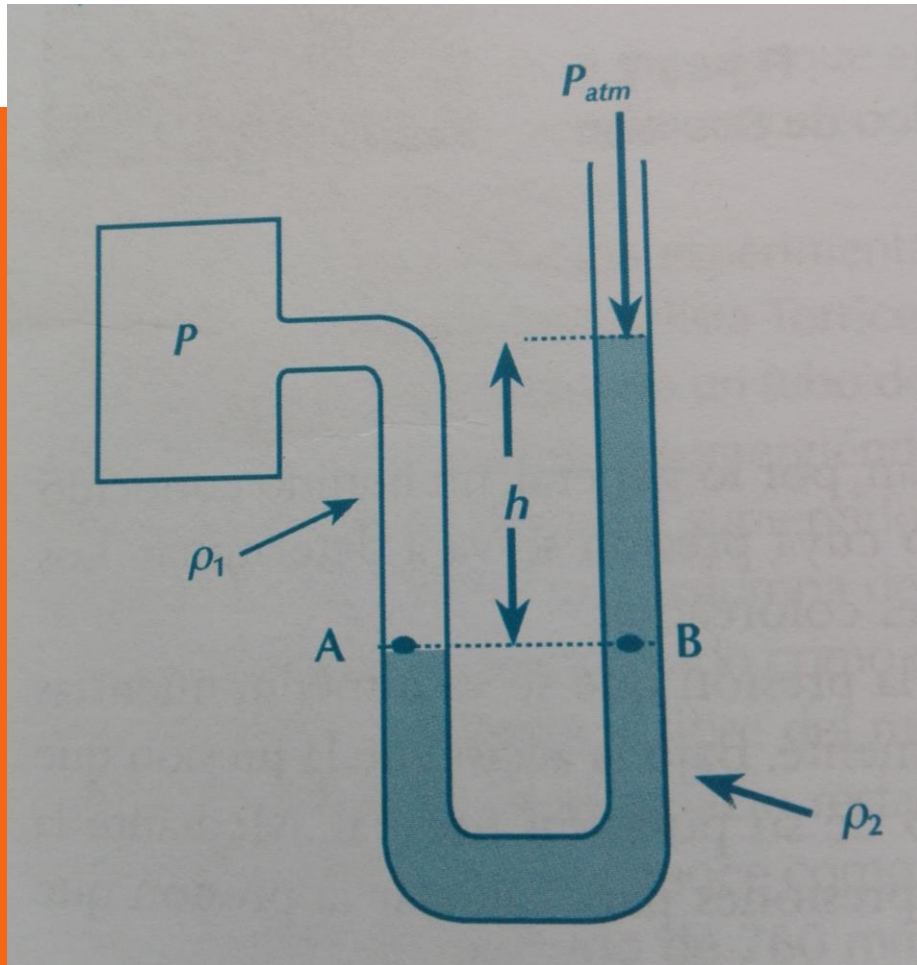
$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h = P_0 + \gamma \cdot h$$

On P_0 és la pressió en la part superior.



Es pot veure com per un determinat fluid (la densitat la podem considerar constant amb la profunditat) la pressió només depèn de l'alçada i per tant és independent de la forma del recipient.

https://www.youtube.com/watch?v=S4zAkHA_AkQ



PROPIETATS DELS FLUIDS: PRESSIÓ

Imagina que volem mesurar la pressió P_2 si ja coneixem la pressió P_1 .

La pressió en el punt 2 és:

$$P_{(2)} = P_1 + \rho_b \cdot g \cdot (m+R)$$

La pressió en el punt 3 és igual a la pressió en 2:

$$P_{(3)} = P_{(2)}$$

La pressió al punt 4 és inferior a la pressió al punt 3:

$$P_{(4)} = P_{(3)} - \rho_a \cdot g \cdot (R)$$

I la pressió al punt 5 que és igual a la pressió P_2 es pot trobar a partir de l'equació:

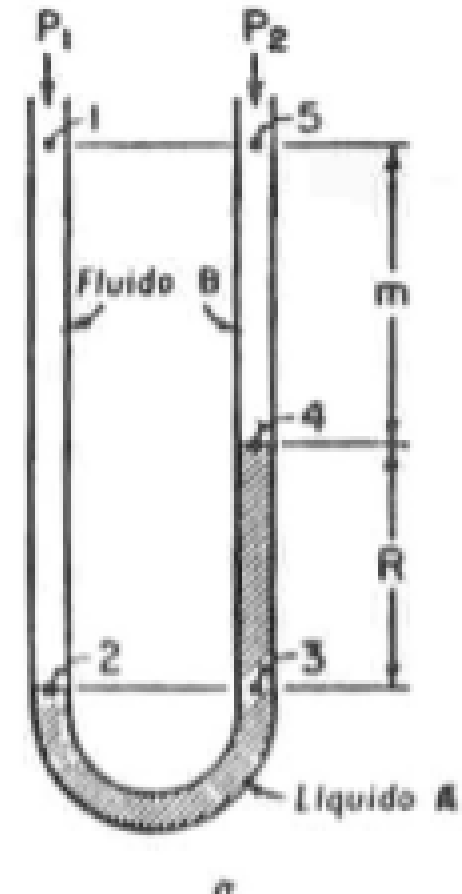
$$P_{(2)} = P_{(3)}$$

$$P_1 + \rho_b \cdot g \cdot (m+R) = P_2 + \rho_b \cdot g \cdot (m) + \rho_a \cdot g \cdot (R)$$

Simplificant la fórmula tenim:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (\rho_a - \rho_b) \cdot g \cdot R$$

Es pot veure com a aquesta equació és independent de la distància m i de les dimensions del tub.



PROPIETATS DELS FLUIDS: VISCOSITAT

- És la propietat d'un fluid que ofereix resistència al moviment relatiu de les seves molècules.

Viscositat dinàmica

Quan un fluid es mou es desenvolupa en ell una tensió de tall que depèn de la viscositat del fluid. La tensió de tall és directament proporcional al gradient de velocitat i la viscositat del fluid.

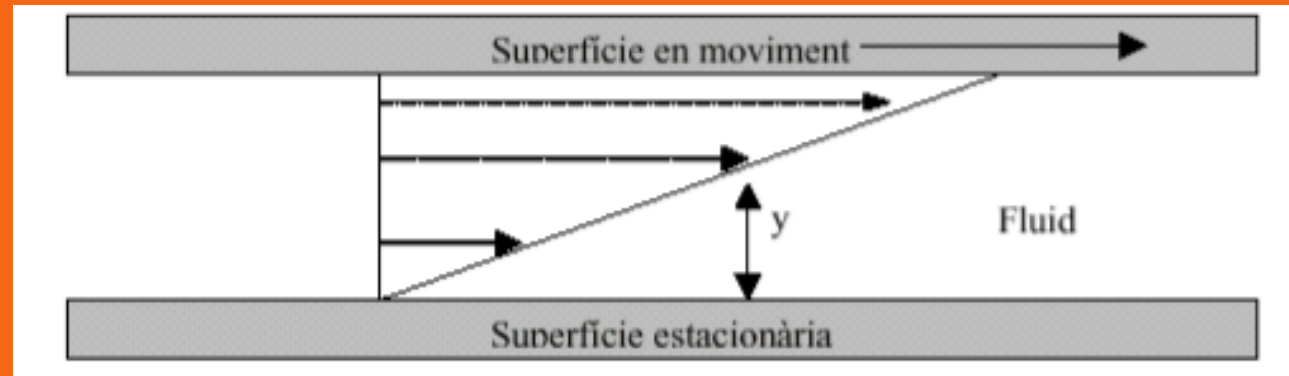
Una condició fonamental que presenta un fluid es que, quan es troba en contacte amb una superfície frontera, el fluid té la mateixa velocitat que la frontera, és a dir, a les parets de la canonada el fluid té una velocitat de valor 0.

$$\tau = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

τ = tensió de corte del fluido.
 μ = viscosidad dinàmica del fluido.
 v = velocidad del fluido.
 y = altura media del fluido.

PROPIETATS DELS FLUIDS: VISCOSITAT

- La tensió de tall pot definir-se com la força necessària per fer relliscar una capa d'una substància sobre un altra capa de la mateixa substància. Així que τ és una força dividida entre un àrea i pot mesurar-se en N/m².



PROPIETATS DELS FLUIDS: VISCOSITAT

Una condició fonamental que presenta un fluid és que quan es troba en contacte amb una superfície frontera el fluid té la mateixa velocitat que la frontera, o sigui en les parets de la canonada el fluid té una velocitat de zero.

- La viscositat dinàmica també es pot mesurar en unitats de massa/(longitud·temps).
- Per tant en el sistema cgs la viscositat es mesurarà en g/cm·s. Aquesta unitat es coneix amb el nom de poise, en honor al científic francès Poiseuille. Aquesta unitat és massa gran i per tant s'acostuma a utilitzar el centipoise. Per exemple la viscositat de l'aigua és 0,0100 poise o 1 centipoise (20°C).

En sistema internacional s'utilitza kg/m·s.

- La relacions entre aquestes unitats són:

$$\begin{aligned} 1 \text{ cP} &= 10^{-2} \text{ P} = 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s} \\ 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} &= 10 \text{ P} = 10^3 \text{ cP} \end{aligned}$$

$$\left[\mu = \frac{\tau}{\frac{\Delta v}{\Delta y}} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{m/s}}{\text{m}}} = \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa}\cdot\text{s} \right]$$

$$\left[1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = \frac{1 \text{ N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right]$$

PROPIETATS DELS FLUIDS: VISCOSITAT

Viscositat cinemàtica

En molts càlculs de mecànica de fluids s'utilitza el quocient entre la viscositat dinàmica i la densitat del fluid. Com a convenció la viscositat cinemàtica es defineix com:

Les unitats de la viscositat cinemàtica:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Las unidades de la viscosidad cinemática en el Sistema Internacional son:

$$\left[\nu = \frac{\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

PROPIETATS DELS FLUIDS: VISCOSITAT

Variació de la viscositat amb la temperatura

No tots els fluids tenen el mateix comportament. Així l'índex de viscositat ens dóna una mesura de la variació de la viscositat amb la temperatura. Així un fluid amb un índex de viscositat alt mostra un canvi petit de la viscositat amb la temperatura, en canvi si l'índex de viscositat és petit la viscositat varia molt amb els canvis de temperatura.

La viscositat depèn de la temperatura per tant s'acostuma a donar la viscositat com a viscositat relativa respecte a la de l'aigua a 20°C. Tothom sap que l'oli del motor d'un cotxe és bastant difícil buidar-lo quan està fred, i en canvi quan es va escalfant la seva viscositat va disminuint notablement.

Per tant la viscositat en líquids disminueix quan augmenta la temperatura.

En canvi els gasos es comporten de forma diferent, la seva viscositat augmenta a mesura que disminueix la temperatura. També es dóna que la magnitud del canvi, variació de la viscositat amb la temperatura, és menor que en el cas dels líquids.

- ✓ La viscosidad de los líquidos disminuye cuando aumenta la temperatura.
- ✓ La viscosidad de los gases es mayor a medida que aumenta la temperatura (figura 1.14).

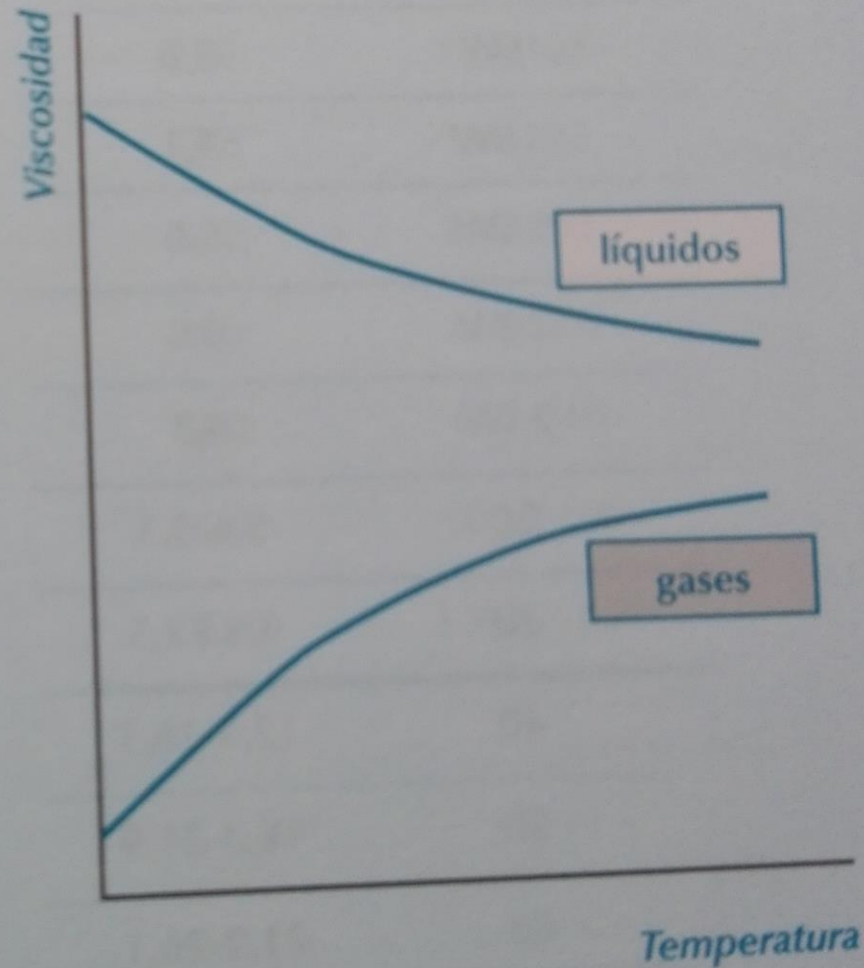


Figura 1.14
Variación
de la viscosidad
de líquidos y gases

PROPIETATS DELS FLUIDS: NIVELL

És l'alçada que assoleix un líquid en un recipient. La mesura del nivell és de gran importància en els processos en continu on s'han de conèixer en tot moment les quantitats de matèries primeres consumides i productes realitzats.

Recipients industrials:

Segons el seu ús podem tenir:

- Tancs d'emmagatzematge: guardar temporalment quantitats importants de productes (matèries primeres o productes finals). Aquí és important conèixer la quantitat de producte emmagatzemat.
- Tancs de procés: intervenen directament en el procés de fabricació. Aquí el producte circula de forma permanent i per tant és important conèixer el nivell

PROPIETATS DELS FLUIDS: NIVELL

Unitats de mesura de capacitats

- Tant per cent sobre el total
- Unitats de longitud en tanc d'emmagatzematge (m, cm)
- Unitats de volum (L, m³)
- Unitats de pes en tanc d'emmagatzematge (kg, t)

(En gasos líquids LPG s'ha de tenir en compte el Grado Màxim de Llenado, que és el percentatge màxim de la capacitat total del recipient que és pot omplir per raons de seguretat)

PROPIETATS DELS FLUIDS: NIVELL

Fórmules de volum d'alguns recipient

Cilindre: $\text{base} * h = \pi r^2 \cdot h$

Esfera : $4 * 3.1416 * r^3 / 3$

Casquet semiesfèric: $2 * 3.1416 * r^3 / 3$

Casquet semielíptic: $3.1416 * r^3 / 3$