

Unidad 7. Introducción a los Fluidos.

Introducción

La mecánica de Fluidos es la rama de la física que estudia el movimiento de los fluidos (tanto gases como líquidos) y también cuales son las fuerzas que los provocan. Para ello, se separa en varias ramas, por un lado la *hidrostática* que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio (reposo), y la *hidrodinámica* que estudia que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en movimiento.

Se va a tratar, únicamente fluidos incompresibles.

Un poco de historia

El deseo de los hombres por adquirir conocimientos acerca de los fenómenos de los fluidos, tuvo sus comienzos al tratar de resolver los problemas de abastecer sus poblaciones de agua, de irrigar sus campos de cultivo, con la navegación, y la derivación de energía de las corrientes de agua.

Con conocimientos muy rudimentarios, desde tiempos muy remotos ya tanto en Mesopotamia como en Egipto alrededor del año 4000 A.C. se construyeron pozos, canales y ruedas hidráulicas que aseguraban el regadío de vastas zonas, destacándose los jardines colgantes de Babilonia y el aprovechamiento de zonas de riego en las riberas del río Nilo.

Durante el imperio romano (29 A.C. – 395 D.C.) se construyeron canales para el abastecimiento y distribución del agua a la población, así como también la construcción de redes para la eliminación de las aguas servidas.

Sin embargo, con excepción de Arquímedes (287 – 212 A.C.), quien crea el tornillo helicoidal y enuncia el principio de flotación, es de muy escaso valor la contribución de esa época, a nuestro conocimiento actual.

Desde la caída de Roma (476 D.C.) hasta el Renacimiento (Siglos XV y XVI), no hubo ningún progreso, ni en la construcción de obras, ni en el pensamiento científico que se reflejara en la hidráulica actual. Así en realidad esta ciencia se inicia de nuevo con los diseños de Leonardo da Vinci (1452 – 1519), quien entre otras cosas, estudio el vuelo de las aves, muestra la aparición de vórtices (flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas) en la zona de separación del flujo y construyó un canal con exclusas en Milán.

Después del tiempo de Leonardo, la acumulación de conocimientos hidráulicos, se hace cada vez mayor, especialmente con los aportes de Galileo, Torricelli, Mariotte, Pascal, Newton, Pitot, Bernoulli, Euler y D'Alembert.

A pesar de que las teorías propuestas por estos hombres de ciencia se podrían confirmar aproximadamente por experimentos rudimentarios, las muchas divergencias entre teoría y realidad hicieron decir a D'Alembert (1717 – 1783): "La teoría de los fluidos necesariamente, se debe basar en experimentos":

Este conflicto entre teoría y experimentación dio origen a dos corrientes en el estudio de los fluidos: una que trata del aspecto teórico en el estudio de los fluidos y crea una ciencia esencialmente matemática, alrededor de un fluido ideal; y la segunda, que se interesaba en los aspectos prácticos y de aplicación inmediata a los problemas de Ingeniería, y cuyo método era la experimentación. La primera dio lugar a la Ciencia Matemática Llamada Hidrodinámica; y la segunda a una ciencia práctica, la Hidráulica. Esta última estudio primordialmente el agua, de allí su nombre.

Hasta fines del siglo XIX, se encuentran investigadores muy notables en ambas corrientes, así, para mencionar sólo algunos se encuentran Euler, D'Alembert, Navier, Saint Venant, Stokes, Rankine, Kelvin y Lamb, en el primer grupo, y a Chezy, Borda, Coulomb, Venturi, Prony, Hagen, Poiseville, Darcy, Bazin, Weishach, Ganguillet, Kutter, Manning, Reynolds y Francisen el segundo.

Ya hacia finales del siglo XIX, el surgimiento de nuevas industrias, especialmente de procesos químicos, que necesitaban información acerca de otros fluidos, además del agua, hizo necesario la investigación generalizada para evitar la gran multiplicidad de fórmulas de aplicación muy limitada. Esto, junto con el desarrollo de la Aeronáutica y los nuevos avances en el estudio de los fluidos dieron lugar a un nuevo acercamiento entre la corriente teórica y la práctica, fusionando elementos de ambas para dar lugar a la ciencia que actualmente se denomina Mecánica de los Fluidos y que trata de eliminar en lo posible el empirismo de la Hidráulica y a través de la teoría generalizar lo más posible para que las conclusiones no sólo sean aplicables dentro de los límites de los experimentos realizados.

Esta situación de fusión y complemento entre análisis teórico e investigación experimental, originó durante el siglo pasado resultados tan beneficiosos y útiles que el avance y crecimiento de la Mecánica de los Fluidos es cada vez mayor.

Unidades

En física, cuando se expresa un número siempre debe ir acompañado de sus correspondientes unidades. Para ello se han definido los sistemas de unidades.

Para el estudio de la mecánica de fluidos, si se escogen tres iniciales, denominadas *magnitudes básicas o fundamentales*, las restantes pueden ser expresadas en función de ellas. A las magnitudes restantes se las denomina *magnitudes derivadas*.

Los sistemas de unidades que más se utilizan son dos:

- Sistema internacional (S.I.) o MKS, cuyas magnitudes fundamentales son *la masa, el tiempo y longitud*, y sus unidades fundamentales correspondientes son el *kilogramo, el segundo y el metro*.
- Sistema Técnico (S. T.) cuyas magnitudes fundamentales son *la fuerza, el tiempo y longitud*, y sus unidades fundamentales correspondientes son el *kilopondio, el segundo y el metro*. La masa es una unidad derivada en este sistema

El sistema internacional de medida consta de siete magnitudes fundamentales con sus correspondientes unidades que se presentan en la siguiente tabla

Magnitud	Nombre unidad	Símbolo unidad
Masa	Kilogramo	kg ⁽¹⁾
Tiempo	Segundo	m
Longitud	Metro	s ⁽²⁾
Intensidad eléctrica	Amperio	A
Temperatura	Kelvin	K ⁽³⁾
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

Las unidades derivadas se expresan como producto de las unidades fundamentales elevadas a un exponente (que puede ser positivo o negativo, entero o fraccionario, y a veces estas reciben nombres especiales).

Ecuaciones de dimensiones

Normalmente utilizaremos el sistema internacional de dimensiones, ya que es obligatorio en los principales países y desde el año 2009 bajo la norma ISO 31 (ISO/IEC 80000, con las siglas ISQ).

Para la conversión de cualquier sistema de unidades al sistema internacional se utilizará la *ecuación de dimensiones*, en la cual se expresan las magnitudes en función de las magnitudes fundamentales elevadas a su correspondiente exponente. Como ya hemos dicho, vamos a utilizar como magnitudes fundamentales masa M, longitud L y tiempo T, cuyas dimensiones serán [M], [L] y [T] respectivamente.

Así por ejemplo si buscásemos la ecuación de dimensiones del peso específico sería

$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

$$[\gamma] = \frac{[F]}{[V]} = \frac{[M][a]}{[L]^3} = \frac{[M][L]}{[L]^3[T]^2} = [M][L]^{-2}[T]^{-2}$$

Por tanto, se trata de conseguir expresar la dimensión derivada a tratar en función de las dimensiones fundamentales [M], [L] y [T]. Hay magnitudes que carecen de dimensiones, debido a que es una relación entre dos magnitudes que poseen las mismas dimensiones, y se denominan *magnitudes adimensionales*.

1 Se expresa con k minúscula (no se pone como Kg) y los gramos se expresan como g (NUNCA gr)

2 Se expresa como s (no se pone seg)

3 Se expresa como Kelvin (no se expresa como grado Kelvin) y su símbolo es K y no °K

Lo mismo sucede con lo que denominaremos *números adimensionales*, que son cocientes de cantidades que presentan las mismas unidades de forma que se simplifican. Como ya veremos en un tema posterior, dependiendo de su valor estos números adimensionales el comportamiento del sistema varía. Tienen un significado físico importante y que determina algunas de las propiedades de esos sistemas.

En mecánica de fluidos las magnitudes que se suelen manejar aparecen en la tabla siguiente con sus correspondientes magnitudes.

Magnitud	Símbolo	Ecuación de dimensiones	Unidades en el SI
Magnitudes fundamentales			
Masa	M, m	[M]	kg
Longitud	L	[L]	m
Tiempo	t	[T]	s
Magnitudes geométricas			
Ángulo		Adimensional	rad
Área	A	[L] ²	m ²
Volumen	V	[L] ³	m ³
Primer momento de área	S _(eje)	[L] ³	m ³
Segundo momento de área	I _(eje)	[L] ⁴	m ⁴
Magnitudes cinemáticas			
Velocidad angular	ω	[T] ⁻¹	rad/s
Velocidad lineal	v	[L] [T] ⁻¹	m/s
Aceleración angular	α	[T] ⁻²	rad/s ²
Aceleración lineal	a	[L] [T] ⁻²	m/s ²
Caudal volumétrico	Q	[L] ³ [T] ⁻¹	m ³ /s
Caudal mísico	G	[M] [T] ⁻¹	kg/s
Viscosidad cinemática	ν	[L] ² [T] ⁻¹	m ² /s
Magnitudes dinámicas			
Densidad	ρ	[M] [L] ⁻³	kg/m ³
Densidad relativa	δ	Adimensional	-
Fuerza	F	[M] [L] [T] ⁻²	N
Esfuerzo cortante	τ	[M] [L] ⁻¹ [T] ⁻²	Pa
Impulso. cantidad de movimiento	I	[M] [L] [T] ⁻¹	N.s
Módulo de elasticidad	E	[M] [L] ⁻¹ [T] ⁻²	Pa
Momento cinético	-	[M] [L] ² [T] ⁻¹	kg. m ² /s
Momento de inercia	I _x , I _y , I _z	[M] [L] ²	kg/m ²
Par	-	[M] [L] ² [T] ⁻²	N.m
Peso específico	γ	[M] [L] ⁻² [T] ⁻²	N/m ³
Potencia	P	[M] [L] ² [T] ⁻³	W
Presión	p	[M] [L] ⁻¹ [T] ⁻²	Pa
Trabajo, energía	W, E	[M] [L] ² [T] ⁻²	N.m
Tensión superficial	σ o γ	[M] [T] ⁻²	N/m
Viscosidad dinámica	η	[M] [L] ⁻¹ [T] ⁻¹	Pa.s

Cambios de unidades

Para proceder a cambiar de un sistema de unidades a otro cualquiera es bastante inmediato usando la ecuación de dimensiones, y nos bastará únicamente con conocer la conversión entre las *unidades fundamentales entre ambos sistemas*, es decir que conociendo la conversión entre las 7 unidades fundamentales de cualquier sistema de unidades podemos hacer esa conversión. Por tanto, no es excusa no saber la conversión entre magnitudes derivadas, siempre se puede acudir a la ecuación de dimensiones conocida la definición de dicha unidad para poder hacer la correspondiente conversión.

[programa de conversión de unidades](#)

Propiedades de los fluidos. Introducción.

Un *fluido* es una sustancia, que debido a las características de sus enlaces intermoleculares, presenta una baja cohesión entre moléculas, y por tanto carece de forma propia y se adapta a la forma del recipiente en que esta contenido.

Una de las características fundamentales que define a los fluidos, es su incapacidad para resistir esfuerzos cortantes, y esto provoca que carezcan de forma una definida. Cuando se les aplica un esfuerzo cortante empezará a fluir en vez de deformarse elásticamente como lo hacen los sólidos.

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características que presentan en:

- *Líquidos*, ocupan un volumen determinado, lo que significa que su volumen es aproximadamente constante dentro de un rango de presiones bastante amplio.
- *Gases*, ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene.

También se pueden clasificar en:

- *Newtonianos* que son fluidos cuya viscosidad es constante con el tiempo. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo cortante o cizalla en función de su velocidad de deformación es lineal. El ejemplo típico de este tipo de fluidos es el agua.
- *No newtonianos* son aquellos fluidos cuya viscosidad varía en función de distintas variables, normalmente con la temperatura y la tensión cortante que se les aplica. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo cortante o cizalla en función de su velocidad de deformación no es lineal. Por tanto, un fluido no-newtoniano no presenta un valor de viscosidad definido y constante, es decir que será una función de una o varias variables.

Numerosos fluidos comunes tienen un comportamiento no newtoniano. Dos ejemplos muy caros son la crema dental y la pintura. Esta última es muy espesa cuando se encuentra en su recipiente, pero se adelgaza cuando si se extiende con una brocha. De este modo, se toma una gran cantidad de pintura para no repetir la operación muchas veces. La crema dental se comporta como un "fluído" cuando se presiona el tubo contenedor. Sin embargo, no fluye por sí misma cuando se deja abierto el recipiente. Existe un esfuerzo límite, de cedencia, por debajo del cual la crema dental se comporta como un sólido. En rigor, nuestra definición de fluido es válida únicamente para aquellos materiales que tienen un valor cero para este esfuerzo de cedencia.

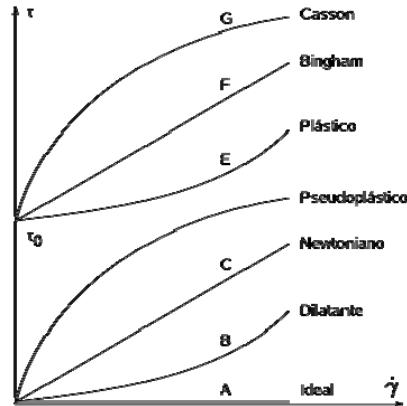


Figura 1. Representación de distintos tipos de fluidos en la gráfica de esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación.

Las características principales de los fluidos son

- **Compresibilidad.** Todos los fluidos son compresibles en cierto grado. No obstante, los líquidos son altamente incompresibles a diferencia de los gases que son altamente compresibles. Sin embargo, la compresibilidad no diferencia a los fluidos de los sólidos, ya que la compresibilidad de los sólidos es similar a la de los líquidos.
- **Viscosidad** (lo veremos más detalladamente [posteriormente](#)), es la oposición que experimenta un fluido ante una deformación tangencial. La viscosidad en los gases es mucho menor que en los líquidos.

En este capítulo abordaremos las distintas propiedades de los fluidos.

Densidad y peso específico

La densidad es la masa por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7.1)$$

Siendo m : masa (kg en el SI)

V : volumen (m^3 en el SI)

La ecuación de dimensiones es $[\rho] = [M][L]^{-3}$

La unidad de densidad se utiliza el agua a presión atmosférica a 4°C , cuando tiene su mayor densidad el agua y que se corresponde con

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

Peso específico es el peso por unidad de volumen,

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (7.2)$$

Siendo P : peso (N en el SI)

V : volumen (m^3 en el SI)

Sustancia	Densidad (g/cm ³)	Sustancia	Densidad (g/cm ³)
Aceite	0.8-0.9	Bromo	3.12
Ácido sulfúrico	1.83	Gasolina	0.68-0.72
Agua	1.0	Glicerina	1.26
Agua de mar	1.01-1.03	Mercurio	13.55
Alcohol etílico	0.79	Tolueno	0.866

El peso específico es función de la temperatura y de la presión aunque en los líquidos no varía prácticamente con la presión.

$$\text{La ecuación de dimensiones es } \gamma = \frac{P}{V} = [F][L]^{-3} = [M][L]^{-2}[T]^{-2}$$

De las ecuaciones (7.1) y (7.2), y sabiendo que el $\text{peso} = m.g$ se puede deducir que

$$\gamma = \rho g \quad (7.3)$$

A veces hablaremos de la densidad relativa que es la relación entre la masa del cuerpo y la masa de ese mismo volumen de agua destilada a la presión atmosférica y 4° C. Por tanto y según la ecuación (7.3), esta relación es igual a la de los pesos específicos del cuerpo y del agua en las mismas condiciones. Por tanto la densidad relativa es una magnitud adimensional. La densidad relativa es función de la temperatura y de la presión. He aquí la densidad relativa de algunos líquidos más interesantes para la técnica.

Líquido	Densidad relativa	T (°C)
Agua dulce	1	15
Aceite lubricante	0,89 - 0,92	15
Glicerina	1.26	0
Mercurio	13,6	0

El volumen específico se define en el sistema internacional como el inverso de la densidad absoluta, es decir el volumen que ocupa 1 kg de masa de la sustancia:

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (7.4)$$

$$\text{La ecuación de dimensiones es } [\rho] = [L]^3[M]^{-1}$$

Veamos algún ejemplo para que nos sea más intuitivo y comparar dos sustancias que nos son muy conocidas. El volumen específico del agua destilada a la presión atmosférica y 4° C es aproximadamente igual a 10⁻³ m³/kg. Como la densidad del aire a presión atmosférica y 4° C es aproximadamente 1,3 kg/m³ y su volumen específico será

$$\frac{1}{1,3} \frac{m^3}{kg}$$

es decir, 1 kg de aire a presión atmosférica ocupa unas 800 veces más espacio que 1 kg de agua.

Compresibilidad

En los fluidos, al igual en los sólidos se verifica la ley de Hooke o ley fundamental de la elasticidad y no es más que la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado

En nuestro caso, el esfuerzo unitario considerado es el de compresión, Δp ;

la deformación unitaria es la variación de volumen unitaria $\frac{\Delta V}{V}$

por tanto, la ley anterior se traduce en la siguiente expresión

$$\Delta p = -E \frac{\Delta V}{V} \quad (7.5)$$

Donde Δp es el esfuerzo unitario de compresión, $\frac{N}{m^2}$, en el SI

V volumen m^3 , en el SI

ΔV incremento de volumen

E Módulo de elasticidad volumétrica, $\frac{N}{m^2}$, en el SI.

El signo negativo expresa que a un incremento de presión corresponde un decremento (o menos incremento) de volumen.

Para el agua el módulo de elasticidad (o módulo de compresibilidad K) es de 2,2 GPa.

Viscosidad

Los sólidos pueden soportar esfuerzos normales (llamados así porque la fuerza es normal al área que resiste a la deformación) de compresión y de tracción. Sin embargo, un líquido puede soportar esfuerzos de compresión como acabamos de ver, pero sin embargo no de tracción (véase más adelante).

Los sólidos y fluidos pueden estar sometidos también a esfuerzos cortantes o esfuerzos tangenciales. En ellos la fuerza es paralela al área sobre la que actúa. Todos los cuerpos se deforman bajo la acción de las fuerzas tangenciales a que están sometidos. En régimen elástico la deformación desaparece cuando deja de actuar la fuerza. En régimen plástico subsiste una deformación aunque desaparezca la fuerza que produce la deformación.

En los fluidos la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo cortante, por pequeño que éste sea.

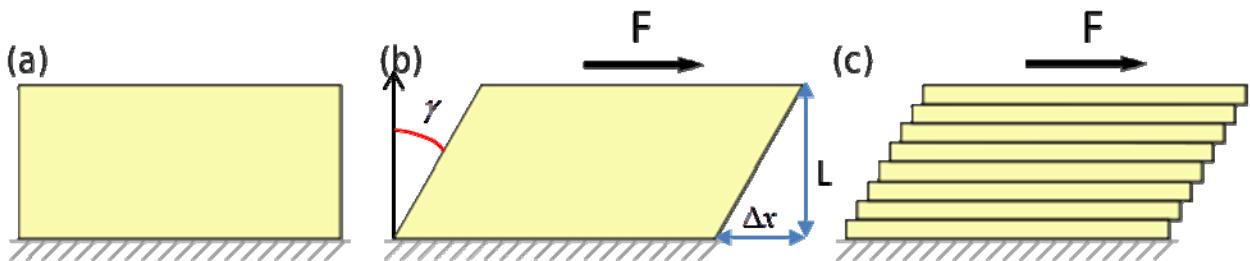


Figura 2. Deformación de un sólido por la aplicación de un esfuerzo tangencial

Supongamos un elemento de forma rectangular en un cuerpo sólido sujeto a un esfuerzo cortante. Si el elemento estuviera sujeto a tracción experimentaría un aumento de longitud, pero el elemento de la figura, sujeto a un esfuerzo cortante, sufre un cambio de forma del rectángulo definido por el ángulo γ .

La deformación producida será

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta x}{L} = \operatorname{tg} \gamma \quad (7.6)$$

Si relacionamos el esfuerzo aplicado con la deformación producida será

$$\tau = G \varepsilon_c \quad (7.7)$$

Donde τ es la tensión cortante $\tau = \frac{F_c}{A}$, Pa en el SI

G módulo de cizalladura, Pa, en el SI

ε_c deformación unitaria por cortante o cizalladora, y es adimensional.

Si suponemos que G es constante, la ecuación (7.7) nos indica que para dada una fuerza F , por ejemplo, de 5 N aplicada a un cuerpo sólido el cuerpo sufre una deformación ε_c dada por la ecuación (7.7). Esta deformación crea una fuerza F_c igual y de sentido contrario y el cuerpo queda en equilibrio: la deformación no sigue aumentando. Por el contrario, *un fluido sometido a un esfuerzo cortante se deforma continuamente*.

Entre las moléculas de un fluido existen fuerzas moleculares que se denominadas fuerzas de cohesión. Al desplazarse unas moléculas con relación a las otras se produce a causa de ellas una fricción. Por otra parte, entre las moléculas de un fluido en contacto con un sólido y las moléculas del sólido existen fuerzas moleculares que se denominan fuerzas de adherencia. El coeficiente de fricción interna del fluido se denomina viscosidad y se designa con la letra η .

Supongamos una capa de fluido newtoniano de espesor y_0 comprendido entre dos placas planas paralelas, la inferior fija y la superior libre. Sobre la placa superior actúa una fuerza tangencial constante F . La experiencia enseña que la placa se desplaza paralelamente a sí misma con una velocidad v_0

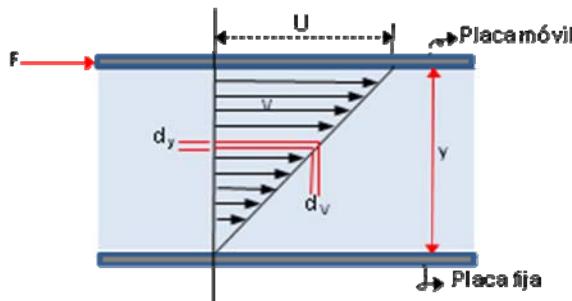


Figura 3. Fluido comprendido entre dos placas paralelas, de las cuales la inferior es fija. La placa superior se mueve al estar sometida a una fuerza F paralela a las placas, por pequeña que sea la fuerza. El fluido, en contraposición con el sólido, no puede soportar ningún esfuerzo tangencial.

En la Figura 3, si se consideran dos placas planas (la inferior fija y la superior móvil) y paralelas de grandes dimensiones, separadas una pequeña distancia "y", y con el espacio entre ellas lleno de un fluido. Si la placa superior se mueve a una velocidad constante "U" al actuar sobre ella una fuerza "F", también constante.

El fluido en contacto con la placa móvil se adhiere a ella moviéndose a la misma velocidad "U", mientras que el fluido en contacto con la placa fija permanecerá en reposo. Si la separación "y" y la velocidad "U" no son muy grandes, la variación de las velocidades (gradiente) vendrá dada por una línea recta. La experiencia ha demostrado que la fuerza "F" varía directamente con el área de la placa "A" y con la velocidad "U" e inversamente con la separación "y". Por triángulos semejantes, se tiene:

$$\frac{U}{y} = \frac{d_v}{d_y}$$

$$\tau = \eta \frac{d_v}{d_y} \quad (7.8)$$

dónde: $\tau = F/A$ = tensión o esfuerzo cortante

“ η ” es la constante de proporcionalidad llamada “**viscosidad absoluta o dinámica**” (a veces se la denomina con el símbolo μ).

La ecuación de dimensiones es $[\eta] = [F][T][L]^{-2} = [M][T]^{-1}[L]^{-1}$

Unidades: Las unidades de viscosidad dinámica, son: $\frac{\text{kg}\cdot\text{seg}}{\text{m}^2}$

Las unidades en el Sistema Internacional son Pa.s

$$\eta = \frac{N \cdot s}{m^2} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \text{ (SI)}$$

Aunque es muy corriente expresar la viscosidad dinámica en el sistema cegesimal (C.G.S.)

$$\eta = \frac{\text{dina} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} = 1 \text{ P} \text{ (CGS)}$$

(Léase Poise, nombre en honor del físico Poiseuille).

También se usa en centipoise $1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ P}$

$$1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ P} = 10^{-3} \text{ Pa s}$$

Otro coeficiente de viscosidad, llamado “**viscosidad cinemática**” (ν) se define como la relación existente entre la viscosidad absoluta “ η ” y la densidad “ ρ ”

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (7.9)$$

La viscosidad cinemática se usa mucho en hidrodinámica ya que junto con las fuerzas debidas a la viscosidad intervienen también las fuerzas de inercia, y que dependen de la densidad. Por eso tiene un significado importante la viscosidad dinámica referida a la densidad, o sea la relación de la viscosidad dinámica η a la densidad ρ , que es la viscosidad cinemática.

La ecuación de dimensiones es $[\nu] = [L]^2[T]^{-1}$

Unidades: Las unidades de viscosidad cinemática, son:

$$\text{En el Sistema Internacional } \nu = 1 \frac{m^2}{s}$$

Aunque en la práctica se usa mayoritariamente el Stoke (St) = $1 \text{ cm}^2/\text{s}$

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

Tensión superficial

Dentro de un líquido, alrededor de una molécula actúan atracciones simétricas, pero sin embargo en la superficie, una molécula se encuentra sólo parcialmente rodeada por moléculas y en consecuencia es atraída hacia adentro del líquido por las moléculas que la rodean. Esta fuerza de atracción tiende a arrastrar a las moléculas de la superficie hacia el interior del líquido (tensión superficial), y al hacerlo el líquido se comporta como si estuviera rodeado por una membrana invisible.

En el dibujo se representan las moléculas de un líquido contenido en un recipiente como unas pequeñas esferas rojas.

Aunque un líquido se adapta a la forma del recipiente que lo contiene, mantiene un volumen fijo al contrario que los gases.

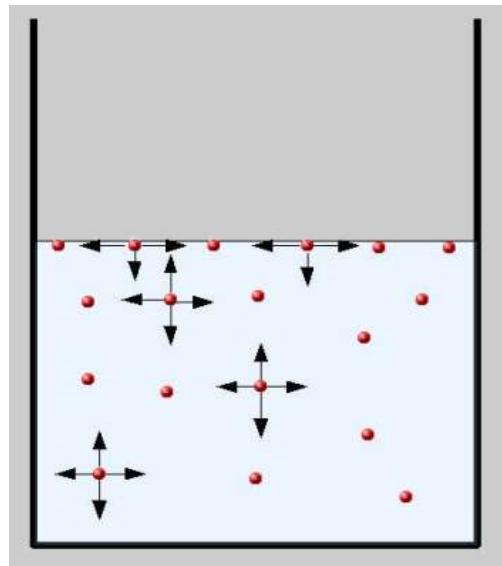


Figura 4. Fuerzas de cohesión molecular en un líquido.

Esta integridad del líquido se debe a que las moléculas están sometidas a fuerzas de atracción-repulsión interactivas y en equilibrio que las mantienen a cierta distancia fija, si esta distancia tiende a alterarse por cambios de presión, la fuerza correspondiente crece en valor para mantenerla, por tal motivo los líquidos son casi incompresibles y no cambian el volumen de manera apreciable cuando se someten a bajas presiones.

En el dibujo puede apreciarse que las moléculas del interior del líquido están sometidas a las fuerzas de interacción en todas direcciones, con lo cual la fuerza resultante es nula, ya que se anulan todas las componentes, mientras que las de la superficie solo contribuyen en la parte inferior, y existe un resultante neta de las fuerzas de cohesión y que estará dirigida hacia el interior del líquido.

En este caso las fuerzas de interacción entre las moléculas de la superficie tienen una componente bien equilibrada en el plano horizontal, de manera que unas moléculas están “agarradas” a las otras como lo estaría un puente colgante sujetado por cuerdas, esto produce cierta pequeña resistencia a la rotura de la superficie. A este efecto se le llama “tensión superficial” y es esta resistencia adicional la que hace que una aguja o alfiler puedan flotar en el líquido, como también permite que ciertos insectos puedan caminar sobre la superficie del mismo.

La tensión superficial es responsable de la resistencia que un líquido presenta a la penetración de su superficie, de la tendencia a la forma esférica de las gotas de un líquido, del ascenso de los líquidos en los tubos capilares y de la flotación de objetos u organismos en la superficie de los líquidos.

Termodinámicamente la tensión superficial es un fenómeno de superficie y es la tendencia de un líquido a disminuir su superficie hasta que su energía potencial de superficie es mínima, condición necesaria para que su equilibrio sea estable. Como la esfera presenta un área mínima para un volumen dado, entonces por la acción de la tensión superficial, la tendencia de una porción de un líquido lleva a formar una esfera o a que se produzca una superficie curva o menisco cuando está en contacto un líquido con un recipiente.

La tensión superficial suele representarse mediante la letra griega σ (sigma), o mediante γ (gamma). Sus unidades son de $N \cdot m^{-1}$, $J \cdot m^{-2}$, Kg/s^2 , dinas/cm.

Líquido	σ (dinas/cm)	Líquido	σ (dinas/cm)
Acetona	23.7	Éter etílico	17.01
Benceno	28.85	n-Hexano	18.43
Tetracloruro de carbono	26.95	Metanol	22.61
Acetato de etilo	23.9	Tolueno	28.5
Alcohol etílico	22.75	Agua	72.75
Acetona	23.7	Éter etílico	17.01

Los valores de la tensión superficial mostraron que las moléculas superficiales tienen una energía aproximadamente 25 % mayor que las que se encuentran en el interior del fluido. Este exceso de energía no se manifiesta en sistemas ordinarios debido a que el número de moléculas en la superficie es muy pequeño en comparación con el número total del sistema.

La capilaridad o la elevación o el descenso de un líquido en un tubo capilar (tubo de pequeño diámetro) son producidos por la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo. Los líquidos ascienden en tubos que mojan (adhesión > cohesión) y desciden en tubos a los que no mojan (cohesión > adhesión). La capilaridad tiene importancia en tubos de diámetros aproximadamente menores de 10 mm.

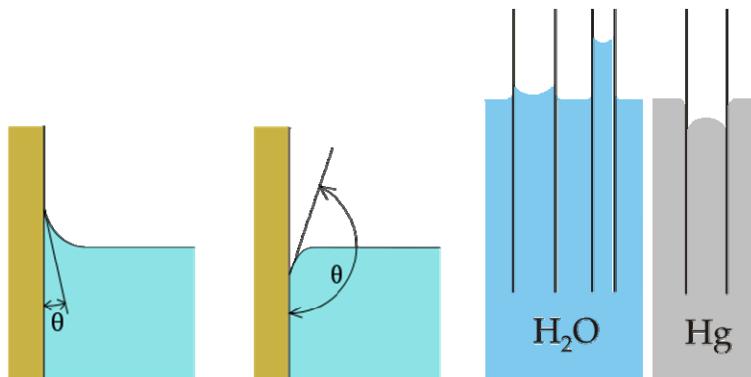


Figura 5. Fenómenos debidos a la tensión superficial.

Presión de vapor

La presión de vapor o más comúnmente presión de saturación es la presión, para una temperatura dada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y de vapor presentes mientras existan ambas.

- Moléculas en estado de vapor
- Moléculas vaporizándose
- Moléculas condensando

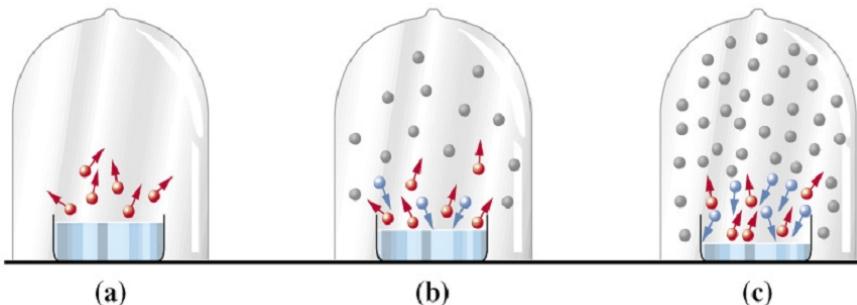


Figura 6. Presión de vapor.

Un equilibrio dinámico ocurre cuando dos procesos reversibles ocurren al mismo tiempo. Muchos procesos (como algunas reacciones químicas) son reversibles y cuando están en un equilibrio dinámico, reacciones opuestas ocurren al mismo tiempo y con la misma velocidad en ambos sentidos.

Veamos el ejemplo de la figura 6, este proceso puede ser imaginado con un recipiente lleno de agua que se coloca en un cuarto pequeño (a). El agua del cubo se evapora, y el aire en el cuarto se empieza a saturar del vapor de agua (b). Finalmente, el aire en el cuarto estará completamente saturado y el nivel de agua en el cubo dejará de bajar y se mantendrá constante. Sin embargo, el agua que hay en el cubo sigue evaporando. Lo que está pasando es que las moléculas de agua en el aire de vez en cuando se chocan contra la superficie del agua y se vuelven a condensar. Esto ocurre al mismo tiempo al que el agua evapora del cubo. Este es un ejemplo del equilibrio dinámico porque la velocidad a la que ocurre la evaporación es igual a la velocidad a la que ocurre la condensación.

La presión de vapor saturado depende de dos factores:

- La naturaleza del líquido: El valor de la presión de vapor saturado de un líquido, da una idea clara de su volatilidad, los líquidos más volátiles (éter, gasolina, acetona, etc.) tienen una presión de vapor saturado más alta, por lo que este tipo de líquidos, confinados en un recipiente cerrado, mantendrán a la misma temperatura, un presión mayor que otros menos volátiles. Eso explica por qué, a temperatura ambiente en verano, cuando destapamos un recipiente con gasolina, notamos que hay una presión considerable en el interior, mientras que si el líquido es por ejemplo agua, cuya presión de vapor saturado es más baja, apenas lo notamos cuando se destapa el recipiente.
- La temperatura. Del mismo modo, habremos notado que la presión de vapor de saturación crece con el aumento de la temperatura, de esta forma si colocamos un líquido poco volátil como el agua en un recipiente y lo calentamos, obtendremos el mismo efecto del punto anterior, es decir, una presión notable al destaparlo.

La relación entre la temperatura y la presión de vapor saturado de las sustancias, no es una línea recta, en otras palabras, si se duplica la temperatura, no necesariamente se duplicará la presión, pero si se cumplirá siempre, que para cada valor de temperatura, habrá un valor fijo de presión de vapor saturado para cada líquido. La explicación de este fenómeno puede basarse en el aumento de energía de las moléculas al calentarse. Cuando un líquido se calienta, estamos suministrándole energía. Esta energía se traduce en aumento de velocidad de las moléculas que lo componen, lo que a su vez significa, que los choques entre ellas serán más frecuentes y violentos.

Es fácil darse cuenta entonces, que la cantidad de moléculas que alcanzarán suficiente velocidad para pasar al estado gaseoso será mucho mayor, y por tanto mayor también la presión.

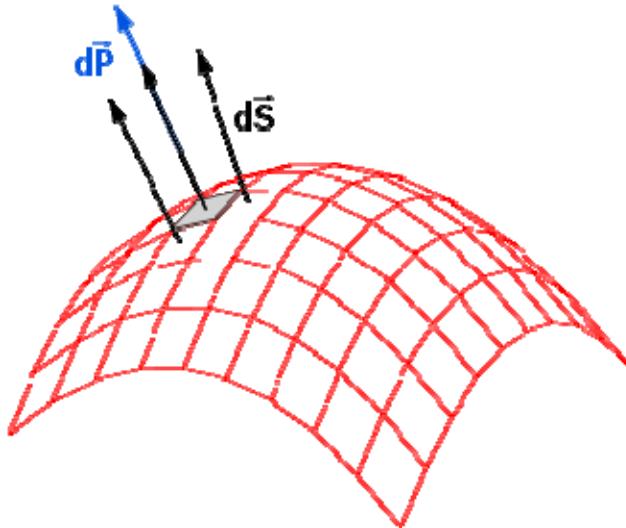
Presión

La presión es la magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la que actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la unidad de superficie.

Cuando sobre una superficie plana de área "A" se aplica una fuerza normal "F" de manera uniforme y perpendicularmente a la superficie, la presión P viene dada por:

$$P = \frac{F}{A} \quad (7.10)$$

En un caso general donde la fuerza puede tener cualquier dirección y no estar distribuida uniformemente en cada punto la presión se define como:



$$P = \frac{d\vec{F}}{dA} \cdot \vec{n}$$

donde \vec{n} es un vector unitario y normal a la superficie en el punto donde se pretende medir la presión.

Presión en un punto. Variación de la presión con la altura.

En la figura se muestra un cuerpo sumergido en un líquido el cual está sometido a la acción de una fuerza "F" proveniente del émbolo del pistón, creando sobre la superficie del líquido y del cuerpo una presión "p", a su vez, el líquido ejerce fuerzas que actúan sobre la cara del émbolo, sobre las paredes del recipiente y sobre las superficies del objeto suspendido.

Al igual que los grandes volúmenes de objetos sólidos ejercen grandes fuerzas contra el lugar que los soporta, los fluidos ejercen gran presión al aumentar la profundidad. El fluido en el fondo de un recipiente siempre está sometido a una presión mayor que la que experimenta cerca de la superficie. Esto se debe al peso del líquido que se encuentra en la parte superior del recipiente.

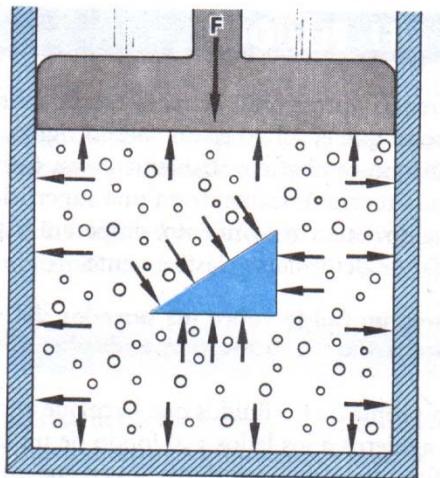


Figura 7. Fuerzas ejercidas sobre las superficies

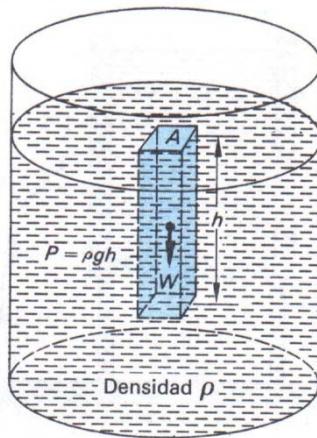
Puesto que el peso, (P), del volumen, (V), del fluido que se encuentra por encima de un punto en cuestión, es proporcional a su peso específico, (γ) la presión a cualquier profundidad es también proporcional al peso específico del fluido.

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

entonces

$$P = \gamma \cdot V \quad (7.11)$$

Esto puede visualizarse considerando una columna rectangular de agua cuyas dimensiones van desde la superficie hasta la profundidad “ h ”, como se muestra en la siguiente figura:



El peso de columna completa actúa sobre el área “ A ”, en el fondo de la columna, por lo que la presión ejercida sobre la base de la columna rectangular será:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{P}{A} = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot A}{A} = \rho \cdot g \cdot h \quad (7.12)$$

y teniendo en cuenta la ecuación (7.11) y sustituyéndola en (7.12) obtenemos que

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\gamma \cdot V}{A} = \frac{\gamma \cdot A \cdot h}{A} = \gamma \cdot h$$

En términos de densidad, (ρ), se tiene que

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Por tanto, “la presión de un fluido en cualquier punto es directamente proporcional a la densidad del fluido y a la profundidad bajo la superficie del fluido”.

La ecuación de dimensiones es $[\rho] = [F][L]^{-2} = [M][L]^{-1}[T]^{-2}$

Unidades. La presión tiene como unidad el Newton por metro cuadrado Nm^2 , siendo estas las unidades del Pascal; es decir

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

En la práctica se usan frecuentemente los múltiplos del pascal como:

$$\text{kilopascal } 1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$\text{Megapascal } 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa.}$$

$$\text{Gigapascal } 1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$$

Además de estas unidades se utilizan otras unidades de presión como la atmósfera, el bar y el kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado:

La atmósfera como unidad de presión

Imaginemos una cubeta que contiene mercurio y un tubo de unos 85 a 90 cm cerrado en uno de sus extremos, como indica la figura:

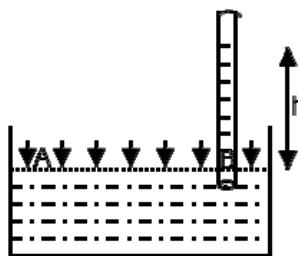


Figura 8.

Si lo llenamos completamente de mercurio y tapando la extremidad abierta lo invertimos introduciéndolo dentro de la cubeta, se observa que el nivel del mercurio baja en el interior del tubo, puesto que tiende a vaciarse, pero observamos que dicho nivel baja hasta cierta altura, dejando un vacío en la parte superior que recibe el nombre de “cámara barométrica” o “vacío de Torricelli” y en la cual se considera que prácticamente existe un vacío.

Si se toma un punto “A” fuera del tubo y otro punto “B” dentro de él, como son puntos situados a la misma altura en un líquido homogéneo en reposo, las presiones en ambos puntos deben ser iguales; en el interior del tubo, la presión se debe a la columna de mercurio colocada encima de “B” y en el punto “A” la presión es debida a la presión atmosférica que actúa sobre la superficie libre del mercurio.

Para medir la primera se tiene en cuenta la altura “h” de la columna y el peso específico del mercurio “ γ ”.

P_A = P_B = Presión atmosférica = Presión de la columna de mercurio

$$P_{atmosferica} = \gamma \cdot h$$

$$P_{atmosferica} = 13.600 \text{ kg/m}^3 \times 0.76 \text{ m} = 10.336 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{atmosferica} = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ Atm. St.}$$

$$1 \text{ Atm. Métrica} = 1,000 \text{ kg/cm}^2$$

La altura de la columna barométrica es variable con la altitud del lugar en que se efectúe el experimento, y es claro porque mide justamente el peso del espesor de la atmósfera. A nivel del mar es de 760 mm Hg cuando no hay perturbaciones atmosféricas.

La presión en cualquier sistema de unidades se puede expresar como presión absoluta, o como presión relativa. Esta denominación no afecta a la unidad, sino al cero de la escala. Sigue lo mismo con las temperaturas, los grados centígrados expresan temperaturas relativas, tomando como 0° de la temperatura de fusión del hielo; mientras que las temperaturas en Kelvin expresan temperaturas absolutas, medidas a partir del 0 absoluto. En el sistema inglés de unidades los grados Fahrenheit expresan temperaturas relativas (temperatura de fusión del hielo, 32° F); mientras que los grados Rankine expresan temperaturas absolutas. El 0 absoluto de temperaturas es el mismo en todos los sistemas de unidades. Lo mismo sucede con el 0 absoluto de presiones.

Las presiones absolutas se miden con relación al 0 absoluto (vacío total o 100% de vacío) y las presiones relativas con relación a la atmósfera.

La mayoría de los manómetros, están construidos de manera que den presiones relativas con relación a la atmósfera local. Para hallar la presión absoluta con exactitud habrá que sumar a la presión leída en el manómetro la presión atmosférica local medida exactamente con un barómetro. Muchas veces no se necesita gran precisión y entonces se suma a la lectura del manómetro (presión relativa) la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar.

De aquí resulta la ecuación fundamental

$$P_{abs} = P_e + P_{amb}$$

Conversiones entre unidades de presión

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^2 \text{ kPa} = 10^{-1} \text{ MPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \quad 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,807 \text{ N/cm}^2 \quad 9.807 \text{ N cm}^2 = 9.807 \times 104 \text{ N m}^2 = 9.807 \times 104 \text{ Pa} = 0.9807 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ torr}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 10 \text{ m.c.a. (metros de columna de agua)}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 14,695964 \text{ Lb/in}^2 (\text{PSI})$$

$$1 \text{ atmósfera} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 1013,25 \text{ hPa}$$

Cabe resaltar que la unidad de presión en el sistema inglés es la libra-fuerza por pulgada cuadrada Lb/in² y una atmósfera equivale a 14.696 psi.

La presión atmosférica es de aproximadamente de 101.300 pascales (101,3 kPa), a nivel de mar.

Unidades de presión y sus factores de conversión

Pascal	bar	N/mm ²	kp/m ²	kp/cm ²	atm	Torr
1	10^{-5}	10^{-6}	0.102	$0,102 \times 10^{-4}$	$0,987 \times 10^{-5}$	0,0075
100000	1	0,1	10200	1,02	0,987	750
10^6	10	1	$1,02 \times 10^5$	10,2	9,87	7500
9,81	$9,81 \times 10^{-5}$	$9,81 \times 10^{-6}$	1	10^{-4}	$0,968 \times 10^{-4}$	0,0736
98100	0,981	0,0981	10000	1	0,968	736
101325	1,013	0,1013	10330	1,033	1	760
133	0,00133	$1,33 \times 10^{-4}$	13,6	0,00132	0,00132	1