



MÓDULO 1:
NIVELACION FISICA, QUIMICA, MATEMATICAS
Apuntes

Ing. Daniel Grosso

Contenido

| | |
|---|----|
| FÍSICA..... | 4 |
| Magnitudes Físicas | 4 |
| Sistema de unidades | 5 |
| Unidades de Base (o Fundamentales)..... | 6 |
| Unidades derivadas | 7 |
| Descripción de las magnitudes físicas | 9 |
| Presión..... | 9 |
| Temperatura | 9 |
| Caudal..... | 10 |
| Nivel..... | 10 |
| Concentración | 10 |
| pH | 10 |
| Masa..... | 10 |
| Peso | 10 |
| Columna hidrostática | 11 |
| Trabajo y Energía..... | 11 |
| Energía potencial..... | 13 |
| Energía cinética | 15 |
| Energía calórica | 15 |
| Materia..... | 16 |
| Estados de agregación de la materia | 16 |
| Sistemas termodinámicos | 19 |
| Formas de conducción de la energía calórica | 20 |
| Calor sensible y calor latente | 22 |
| Cambio de fases | 22 |
| Propiedades de los fluidos | 23 |
| Densidad absoluta y relativa | 24 |
| Fluidos compresibles e incompresibles..... | 24 |
| Fluidos ideales y reales..... | 25 |



| | |
|---|----|
| Viscosidad..... | 25 |
| Peso específico | 27 |
| Tensión superficial | 28 |
| Presión de vapor | 29 |
| Presión de vapor Reid | 31 |
| Punto de rocío | 31 |
| Cromatografía | 33 |
| Estática de los fluidos..... | 33 |
| Ecuación general de la hidrostática | 33 |
| Ley de Pascal | 34 |
| Transporte de fluidos | 35 |
| Número de Reynolds..... | 35 |
| Flujo laminar y turbulento..... | 36 |
| Ecuación de continuidad | 38 |
| Ecuación de Bernoulli..... | 38 |
| Nociones de pérdida de carga..... | 40 |

FÍSICA

La palabra física proviene del término griego que significa naturaleza y se convirtió, históricamente, en el vocablo empleado para designar el estudio de los fenómenos naturales. Hasta principios del siglo XIX se utilizó también la expresión "filosofía de la naturaleza". Las personas con mente inquisitiva siempre han tenido una gran curiosidad sobre la forma en que funciona la naturaleza; en consecuencia, la física ha evolucionado a medida que ha aumentado el conocimiento de la naturaleza.

Magnitudes Físicas

Dado que la Física es una ciencia experimental, se deduce la enorme implicancia que tiene, para el físico, el estudio de las mediciones experimentales.

Las mediciones son importantes para todos nosotros. Son una forma concreta con las que nos manejamos en nuestro mundo y mediante las cuales adquirimos bienes y servicios que nos permiten desenvolvernos apropiadamente.

Desde que fijamos el reloj despertador a una cierta hora hasta cuando compramos una determinada cantidad de pan realizamos mediciones a través de instrumentos creados para tales efectos. Pero también medimos fenómenos naturales tales como terremotos, maremotos, descargas eléctricas atmosféricas que refieren a la descripción y la comprensión de la naturaleza y sus fenómenos y la medición es una de las herramientas más importantes de la física.

Las medidas en física son con frecuencia más precisas y exactas que las que suelen hacerse en la vida diaria y algunas veces comprenden órdenes de magnitud mucho mayores o menores que las que ordinariamente podemos encontrar en nuestro diario ocurrir.

Así la física intenta describir la naturaleza en una forma objetiva, por medio de las mediciones. Analicemos entonces tres definiciones importantes involucradas estrechamente con el proceso de medir.

Si varios observadores intentan explicar los cambios experimentados por algunos objetos, o algunas de sus propiedades, es frecuente comprobar que algunos de estos cambios no se interpretan o relatan de la misma forma por todos ellos. Sus resultados son por lo tanto subjetivos, y claramente dependen del observador.

Si una propiedad no se puede medir, como por ejemplo la dificultad de un problema, las emociones, el dolor, entonces no es una magnitud física. Y si la observación de un fenómeno no da lugar a una información cuantitativa del mismo, dicha información estará incompleta. Entonces, podemos decir:

Las magnitudes son las propiedades físicas susceptibles de ser medidas mediante alguna técnica apropiada.

Entre las magnitudes físicas podemos distinguir dos grandes grupos:

- **Magnitudes Físicas Escalares:** son las que quedan completamente definidas por un número y su correspondiente unidad y están sujetas a las reglas usuales de la aritmética. Tal es el caso de la masa, el volumen, la longitud, la energía, el tiempo, por mencionar solo algunas de ellas.
- **Magnitudes Físicas Vectoriales:** se llama así a las que tienen, además de magnitud, módulo o intensidad aritmética, dirección, sentido y punto de aplicación, estando por lo tanto sujetas a las reglas del álgebra vectorial. Tal el caso de la velocidad, la fuerza, la aceleración, entre otras.

Sistema de unidades

La medición es la técnica por medio de la cual asignamos un número a una propiedad física, como resultado de una comparación de dicha propiedad con otra similar tomada como patrón, la cual se ha adoptado como unidad.

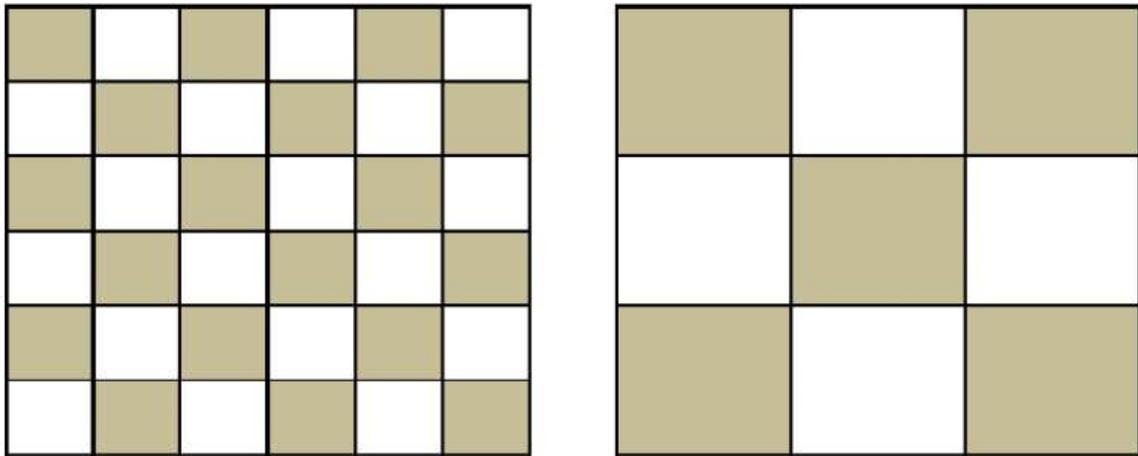


Figura 1: muestra la vista superior de una habitación cubierta con baldosas de diferentes tamaños.

Supongamos una habitación cuyo suelo está cubierto de baldosas, tal como se ve en la figura de la izquierda, tomando una baldosa como unidad, y contando el número de baldosas medimos la superficie de la habitación, 36 baldosas. En la figura de la derecha, la medida de la misma superficie da una cantidad diferente 9 baldosas. La medida de una misma magnitud física, una superficie en este caso particular, da lugar a dos cantidades distintas (36 y 9) debido a que se han empleado distintas unidades de medida. Este ejemplo aleccionador, nos pone de manifiesto la necesidad de establecer una única unidad de medida para una magnitud dada, de modo que la información sea comprendida por todas las personas.

Al patrón definido para medir se lo llama también **Unidad de medida**.



NECESIDAD DE SABER BIEN LA UNIDAD DE MEDIDA

La sonda Mars Climate Orbiter, luego de 10 meses de viaje, se destruyó en la atmósfera marciana debido a un error de navegación, consistente en que el equipo de control en la Tierra hacía uso del Sistema Anglosajón de Unidades para calcular los parámetros de inserción y envió los datos a la nave, que realizaba los cálculos con el sistema métrico decimal. Este error costó a la NASA 125 millones de dólares...además de la vergüenza.

Reuniendo las unidades patrón que los científicos han estimado más conveniente, se han creado los denominados **Sistemas de Unidades**.

Nos fijaremos en el llamado **SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)** a partir del cual el **SISTEMA MÉTRICO LEGAL ARGENTINO (SIMELA)** adopta las definiciones y convenciones sobre escritura y símbolos para las unidades establecidas por la Conferencia general de Pesas y Medidas.

Unidades de Base (o Fundamentales)

El Sistema Internacional emplea solo una unidad para cada magnitud física y múltiplos y submúltiplos de ellas con el uso de prefijos. Se definen las **Unidades de Base (o Fundamentales)** y las unidades complementarias ya partir de éstas surgen las **Unidades Derivadas**.

| N° | Magnitud | Símbolo de la Magnitud | Unidad | Símbolo de la Unidad |
|----|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| 1 | Longitud | <i>l</i> | metro | m |
| 2 | Masa | <i>m</i> | kilogramo | kg |
| 3 | Tiempo | <i>t</i> | segundo | s |
| 4 | Corriente eléctrica | <i>I</i> | ampere | A |
| 5 | Temperatura termodinámica | <i>T</i> | kelvin | K |
| 6 | Cantidad de materia | <i>n</i> | mol | mol |
| 7 | Intensidad luminosa | <i>I_v</i> | candela | cd |

NOTA: Los símbolos de las magnitudes se imprimen en **bastardilla** (Caracteres inclinados); los símbolos de las unidades, en **redonda** (Caracteres verticales).

Tabla 1: Unidades básicas del SIMELA

Unidades derivadas

Las **Unidades Derivadas** son las que resultan de productos, cocientes, o productos de potencias de las unidades SI de base, y tienen como único factor numérico, el 1, formando un sistema coherente de unidades.

Algunas unidades derivadas tienen nombres especiales y símbolos particulares.

| N° Magnitud | Magnitud | Unidad SI | Símbolo SI | Expresión en Símbolos de otras Unidades SI |
|-------------|---|-----------|------------|--|
| 1 | Frecuencia | hertz | Hz | 1/s |
| 2 | Fuerza | newton | N | m.kg/s ² |
| 3 | Presión, tensión mecánica | pascal | Pa | N/m ² |
| 4 | Energía, trabajo, cantidad de calor | joule | J | N.m |
| 5 | Potencia, flujo energético | watt | W | J/s |
| 6 | Cantidad de electricidad, carga eléctrica | coulomb | C | A.s |
| 7 | Potencial eléctrico, diferencia de potencial, fuerza electromotriz, tensión eléctrica | volt | V | W/A |
| 8 | Capacitancia, capacidad | farad | F | C/V |
| 9 | Resistencia eléctrica | ohm | Ω | V/A |
| 10 | Conductancia eléctrica | siemens | S | A/V |
| 11 | Flujo magnético | weber | Wb | V.s |
| 12 | Inducción magnética, densidad de flujo magnético | tesla | T | Wb/m ² |
| 13 | Inductancia | henry | H | Wb/A |
| 14 | Flujo luminoso | lumen | lm | cd.sr |
| 15 | Iluminancia | lux | lx | lm/m ² |
| 16 | Actividad (de un radionucleído) | becquerel | Bq | 1/s |
| 17 | Dosis absorbida, energía impartida másica, kerma, índice de dosis absorbida | gray | Gy | J/kg |
| 18 | Dosis equivalente | sievert | Sv | J/kg |

Tabla 2: Unidades Derivadas del SIMELA

Múltiplos y Submúltiplos

A menudo, expresamos cantidades físicas como múltiplos o submúltiplos de las unidades. Los prefijos recomendados por la XIV Conferencia General de Pesas y Medidas, son los siguientes:

| Múltiplos | | | Submúltiplos | | |
|-----------|--------|---------|--------------|--------|---------|
| Cantidad | Nombre | Símbolo | Cantidad | Nombre | Símbolo |
| 10^1 | Deca | Da | 10^{-1} | Deci | D |
| 10^2 | Hecto | H | 10^{-2} | Centi | C |
| 10^3 | Kilo | K | 10^{-3} | Mili | M |
| 10^6 | Mega | M | 10^{-6} | Micro | μ |
| 10^9 | Giga | G | 10^{-9} | Nano | N |
| 10^{12} | Tera | T | 10^{-12} | Pico | P |
| 10^{15} | Peta | P | 10^{-15} | Femto | F |
| 10^{18} | Exa | E | 10^{-18} | Atto | A |
| 10^{21} | Zetta | Z | 10^{-21} | Zepto | Z |
| 10^{24} | Yotta | Y | 10^{-24} | Yocto | Y |

Tabla 3: Prefijos para múltiplos y submúltiplos recomendados

Descripción de las magnitudes físicas

Presión

La presión es la magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la cual actúa; es decir, cuando sobre una superficie plana de área A se aplica una fuerza normal F de manera uniforme, la presión P viene dada de la siguiente ecuación:

$$P=F/A$$

Se debe tener en cuenta que estamos “sumergidos” en la atmosfera del planeta y, por lo tanto, aunque no lo notemos, la presión atmosférica está presente.

El valor de la presión atmosférica depende de muchos factores de los cuales los más importantes son la altura y temperatura en que nos encontremos, a nivel del mar y a 20°C, la presión atmosférica vale 101325 Pa, por lo cual debemos ser muy cuidadosos en saber si lo que estamos leyendo es presión relativa o manométrica (que no tiene en cuenta la presión atmosférica) o presión absoluta (que si la tiene en cuenta).

EL SISTEMA METRICO LEGAL ARGENTINO (SIMELA) define como unidad de presión al Pascal. El pascal es la presión uniforme que, al actuar sobre una superficie plana de área igual a 1 metro cuadrado, ejerce en la dirección perpendicular a ella una fuerza de 1 newton. Como esta unidad es muy pequeña, en la práctica se utiliza el kPa (kilopascal) y en la industria otras unidades como el kg/cm², el bar, el psi (también denominado Lb/pulg²), la atmósfera, el mca (metros de columna de agua) mmHg (milímetro de columna de mercurio), entre otras.

Temperatura

La Rae (Real Academia Española) define a la temperatura como: “Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K)”.

EL SISTEMA METRICO LEGAL ARGENTINO (SIMELA) define como unidad de temperatura al Kelvin. El kelvin es la fracción 1/273, 16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. Pero también aclara: “Además de la temperatura termodinámica (símbolo T) que se expresaba en la unidad kelvin, se usa también la temperatura Celsius (símbolo t, O), definida por la ecuación $t = T - T_0$ donde $T_0 = 273,15$ K, por definición. Para expresar la temperatura Celsius se utiliza la unidad “grado Celsius”, que es igual a la unidad “kelvin”; “grado Celsius” es un nombre especial que se usa en este caso en lugar de “kelvin”. Un intervalo o una diferencia de temperatura Celsius pueden expresarse tanto en grados Celsius como en Kelvin.

En la industria también es común que la temperatura de exprese en grados Fahrenheit (°F)

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$$

Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección transversal de un ducto (tubería, cañería, río, canal, etc.) por unidad de tiempo. La cantidad de fluido puede ser expresado por su volumen o por su masa, dando lugar al caudal volumétrico y el caudal másico, respectivamente.

La unidad de caudal no tiene un nombre en particular se expresa en unidades de volumen (o masa), por unidad de tiempo.

Nivel

Es la altura de la superficie de un líquido contenido en un recipiente. Su unidad es una unidad de longitud.

Concentración

En química, la concentración de una disolución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o, a veces, de disolvente; donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el solvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores.

pH

Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina.

Masa

En física, masa es la magnitud que expresa la inercia o resistencia al cambio de movimiento de un cuerpo. De manera más precisa es la propiedad de un cuerpo que determina la aceleración del mismo, cuando este se encuentra bajo la influencia de una fuerza dada. La unidad de masa en el SIMELA es el kilogramo (kg).

Peso

El peso es una medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto, o sea, el peso equivale a la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un punto de apoyo, originada por la acción del campo gravitatorio local sobre la masa del cuerpo. Por ser una fuerza, el peso se representa como un vector, definido por su módulo, dirección y sentido, aplicado en el centro de gravedad de la masa y dirigido aproximadamente hacia el centro de la Tierra (o del astro en cuyas proximidades se encuentre el cuerpo en cuestión).

En el SIMELA la unidad de peso, por ser una fuerza, es el newton (N), pero es mucho más utilizado el Kgf (kilogramo-fuerza para distinguirla de la unidad de masa).

Columna hidrostática

Es la presión ejercida por la columna un líquido la cual es proporcional a su altura y densidad.

$$p = h \rho g$$

Donde:

h = altura de líquido

ρ = densidad del líquido

g = gravedad

Si la gravedad y la densidad del líquido son constantes la presión ejercida es directamente proporcional a la altura de la columna, esta es una propiedad muy útil que permite saber el nivel del líquido en un recipiente midiendo la presión hidrostática en el fondo de dicho recipiente. Esto también explica por qué mca (metros de columna de agua) ó mmHg (milímetros de columna de mercurio) pueden ser unidades de presión.

Trabajo y Energía

Si sobre una partícula actúa una fuerza F constante la fuerza F (en magnitud y dirección) y si esta partícula se desplaza una distancia x (en la misma dirección de la fuerza) por efecto de la fuerza F , entonces se dice que la fuerza ha realizado trabajo W sobre la partícula de masa m , que en este caso particular se define como:

$$W = F x$$

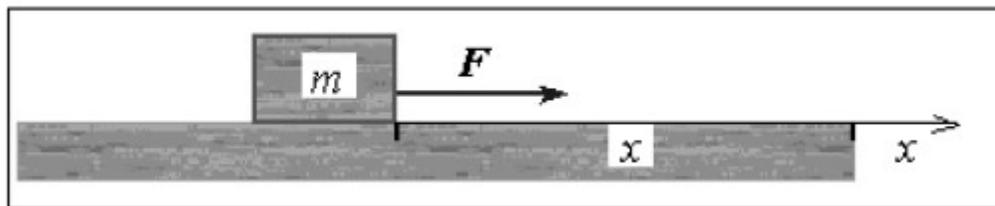


Figura 2: Fuerza horizontal constante que realiza un desplazamiento x .

Si la fuerza constante no actúa en la dirección del movimiento, el trabajo que se realiza es debido a la componente x de la fuerza en la dirección paralela al movimiento, como se ve en la figura 3. La componente de la fuerza perpendicular al desplazamiento, no realiza trabajo sobre el cuerpo.

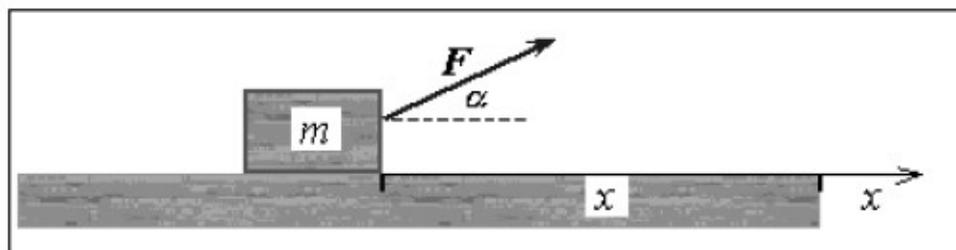


Figura 3: Fuerza constante que forma un ángulo α con el desplazamiento x .

Si α es el ángulo medido desde el desplazamiento x hacia la fuerza F , el valor del trabajo W es ahora:

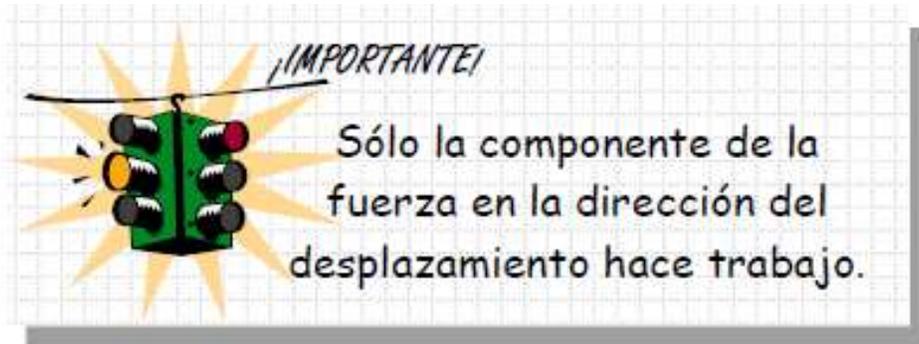
$$W = (F \cos \alpha) x$$

De acuerdo a la ecuación anterior, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Si $\alpha = 0^\circ$, es decir, si la fuerza, como en la figura 5.1, o una componente de la fuerza, es paralela al movimiento, $W = (F \cos 0) x = F x$;
- Si $\alpha = 90^\circ$, es decir, si la fuerza o una componente de la fuerza es perpendicular al movimiento, $W = (F \cos 90) x = 0$, no se realiza trabajo;
- Si la fuerza aplicada sobre el cuerpo no lo mueve, no realiza trabajo ya que el desplazamiento es cero;
- Si $0 < \alpha < 90^\circ$, es decir, si la fuerza tiene una componente en la misma dirección del desplazamiento, el trabajo es positivo;
- Si $90^\circ < \alpha < 180^\circ$, es decir, si la fuerza tiene una componente opuesta a la dirección del desplazamiento, el trabajo es negativo.

De estas conclusiones se deduce que el trabajo, para una fuerza constante, se puede expresar de la siguiente forma:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{r}$$



El trabajo es una magnitud física escalar, obtenido del producto escalar de los vectores fuerza y posición. De la expresión anterior, por la definición de producto escalar, queda claro que el trabajo puede ser positivo, negativo o cero.

Su unidad de medida en el SI es N m que se llama Joule, símbolo J. Otras fuerzas actúan sobre el cuerpo de masa m (peso, roce, normal, etc.), por lo que la ecuación anterior se refiere sólo al trabajo de la fuerza F en particular; las otras fuerzas también pueden realizar trabajo. En la figura 3 las fuerzas peso y normal no realizan trabajo ya que son perpendiculares al desplazamiento y la fuerza de roce realiza trabajo negativo, ya que siempre se opone al desplazamiento. El trabajo total sobre la partícula es la suma escalar de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas. La energía es la capacidad que tiene un cuerpo en producir trabajo.

Existen varios tipos de energía:

- Energía potencial
- Energía cinética
- Energía química
- Energía Calórica
- Energía nuclear
- Electromagnética

Por nombrar solo algunas

Energía potencial

La energía potencial puede ser **elástica** o **gravitacional**

Energía potencial elástica

Supongamos que estiramos un resorte, dentro de ciertos límites la fuerza que necesitamos aplicar es proporcional a la deformación que obtenemos, esta es la **ley de Hooke** y se expresa como:

$$F = k x$$

Donde:

F= fuerza que aplicamos

K= constante del resorte

X= Desplazamiento obtenido (del extremo del resorte desde su posición inicial, manteniendo el otro extremo fijo en su posición)

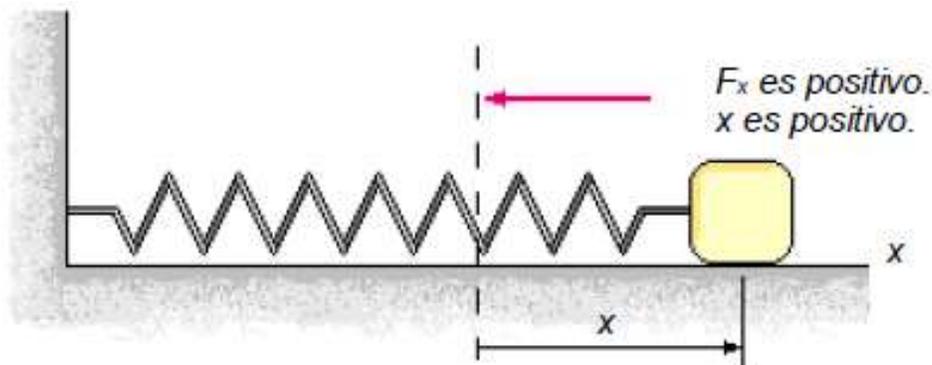
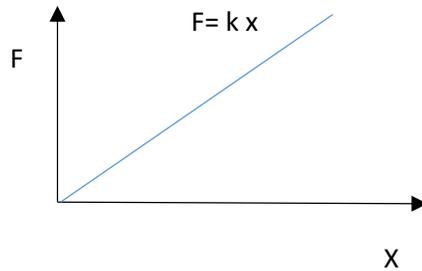
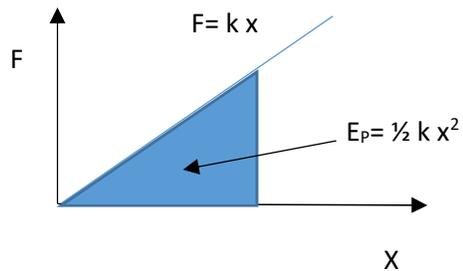


Figura 4: Deformación de un resorte producto de la aplicación de una fuerza.

Entonces podemos graficar:



Para un cierto valor de x , la energía (potencial elástica) será el área sombreada bajo la curva:



Energía potencial gravitacional

Imaginemos el sistema formado por un libro y la Tierra, que interactúan a través de la fuerza gravitacional. Realizamos un cierto trabajo sobre el sistema elevando el libro lentamente hasta una altura $\Delta y = y_b - y_a$, como se muestra en la figura 4.

El valor de la energía en este caso viene dado por la expresión:

$$E_p = p \Delta y$$

Donde p es el peso del libro por lo tanto podemos reemplazarlo por: $p = m g$, entonces:

$$E_p = m g \Delta y$$

La energía potencial puede asociarse a distinto tipo de fuerzas. En este caso particular, estamos hablando de energía potencial gravitacional.

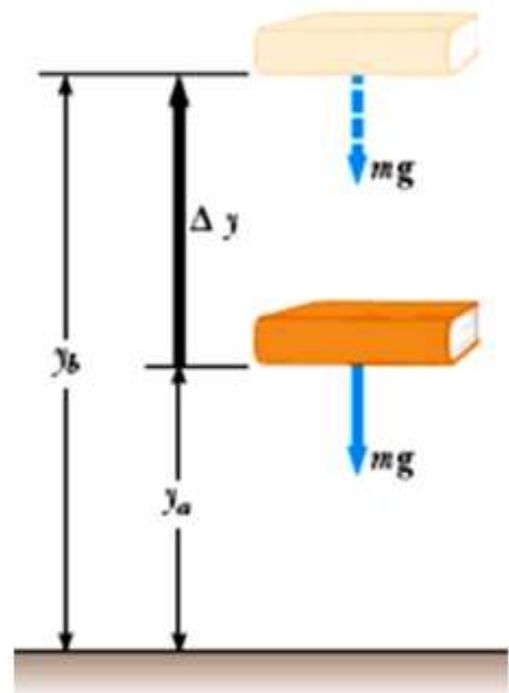


Figura 4: Variación de la energía potencial al elevar un libro.

Energía cinética

El trabajo total realizado por fuerzas externas sobre un cuerpo se relaciona con el desplazamiento de éste (los cambios en su posición), pero también está relacionado con los cambios en la rapidez del cuerpo.

Si una partícula se desplaza, se acelerará si el trabajo ejercido sobre ella es mayor que cero, o sea si la componente de la fuerza paralela al desplazamiento de la partícula tiene la misma dirección que dicho desplazamiento, se desacelerará si el trabajo ejercido es menor a cero y mantiene su rapidez el trabajo ejercido es igual a cero.

Por definición:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Igual que el trabajo, la energía cinética de una partícula es un escalar; sólo depende de la masa y la rapidez de la partícula, no de su dirección de movimiento.

Energía calórica

La energía térmica o la energía calorífica es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.

Relación entre calor y temperatura

Calor y temperatura son conceptos diferentes. El calor es energía en movimiento, es decir energía térmica transferida de un sistema que está a mayor temperatura, a otro que está a menor. La temperatura es la magnitud física que mide la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo o un sistema. Las moléculas que forman todos los cuerpos están siempre en movimiento. La temperatura nos informa del grado de agitación de las partículas de un cuerpo y equivale al valor promedio de la energía de todas sus partículas.

El calor es el tránsito de energía entre dos sistemas en desequilibrio térmico. El de mayor temperatura cede energía al otro. Por tanto, el calor es energía en tránsito y se mide en julios. La temperatura no es energía; expresa el estado de agitación molecular de un cuerpo y se mide en kelvin, o en grados centígrados.

Materia

La definición común de materia es “algo que posee masa y volumen” (ocupa un espacio).

Una propiedad importantísima de la materia es la densidad. No debes olvidar que esta propiedad mide la relación entre la masa y volumen de las sustancias permitiendo distinguir unas de otras con suma facilidad, sobre todo las que se encuentran en estado sólido y líquido.

Estados de agregación de la materia

Los estados de la materia son tres:

- Sólido
- Líquido
- Gaseoso

La materia, en cualquiera de sus tres estados, tiene una serie de propiedades características o independientes, como son: la densidad, el color, el brillo, la dureza, el punto de fusión, etc., que no dependen de la cantidad de materia que tengamos. Otras, por el contrario, son dependientes o características de la cantidad de materia elegida, como, por ejemplo, la masa y el volumen. A través de las propiedades independientes, podemos distinguir y diferenciar los distintos tipos de materia; es decir, podemos diferenciar las distintas sustancias. Así pues, cada sustancia, dentro de un mismo estado de agregación, se puede caracterizar por su punto de fusión, su densidad, su color, etc.



Figura 5: Estado de agregación de la materia

Según la TEORÍA CINÉTICO-MOLECULAR DE LA MATERIA, esta está formada por átomos, partículas o moléculas que se mantienen unidos entre sí por «fuerzas de atracción». La Teoría cinético-molecular, que explica el comportamiento y los posibles estados de agregación de la materia, se apoya en dos postulados:

- Las partículas que componen la materia están en movimiento continuo.
- Cuanto mayor es la temperatura, mayor es su movimiento.

Con estos dos principios se puede explicar los estados de agregación en que se presenta la materia.

Estado sólido

El estado sólido se caracteriza porque las partículas que lo componen están muy juntas y en posiciones más o menos fijas; esto hace que la distancia entre las partículas prácticamente no varíe. Ello es debido a que las fuerzas de atracción son muy intensas y las partículas sólo tienen libertad para realizar pequeñas vibraciones y por eso los sólidos tienen forma y volumen constantes.

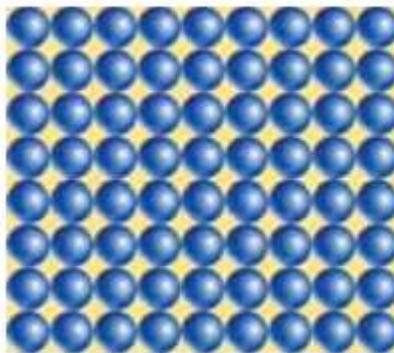


Figura 6: Estado sólido

Estado líquido

En este estado, las fuerzas entre las partículas son más débiles que en el caso anterior, lo que permite que las partículas tengan cierta libertad de rotación y traslación, además de la vibración; pueden deslizarse unas sobre otras y mantener, entre ellas, una distancia media constante sin ser fija. Por eso los líquidos, a diferencia de los sólidos, adoptan formas variables, según el recipiente que los contiene y además pueden fluir con facilidad. Su similitud con los sólidos se basa en que, al igual que aquéllos, son difícilmente compresibles y tienen volumen constante.

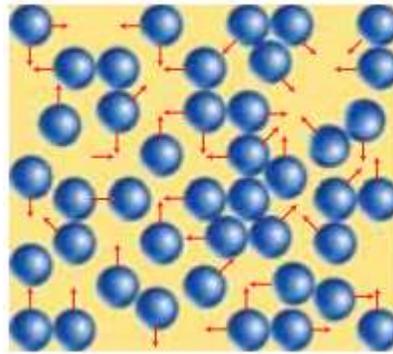


Figura 7: Estado líquido

Estado Gaseoso

La palabra gas deriva del término «caos, desorden».

En el estado gaseoso las fuerzas de atracción son prácticamente nulas y las partículas adquieren una movilidad total de vibración, rotación y traslación, siendo la distancia entre ellas mucho mayor que la que tienen en estado sólido o líquido y, además, variable en todo momento. Los gases, a diferencia de sólidos y líquidos, se pueden comprimir o expandir fácilmente y, además, adoptan la forma del recipiente que los contiene, ocupando todo el volumen disponible.

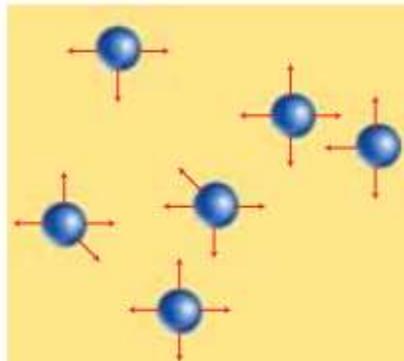


Figura 8: Estado gaseoso

Basándonos en lo que hemos visto anteriormente, podemos representar los distintos estados de agregación y las características más importantes que los representan en la Tabla 3.



| <i>Propiedades</i> | <i>Sólidos</i> | <i>Líquidos</i> | <i>Gases</i> |
|--------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| <i>Volumen</i> | No se adaptan al volumen del recipiente | No se adaptan al volumen del recipiente | Se adaptan al volumen del recipiente |
| <i>Forma</i> | No se adaptan a la forma del recipiente | Se adaptan a la forma del recipiente | Se adaptan a la forma del recipiente |
| <i>Compresibilidad</i> | No se comprimen | No se comprimen | Sí se comprimen |
| <i>Expansibilidad</i> | No se expanden | No se expanden | Sí se expanden |
| <i>Disposición de las partículas</i> | Ordenadas en la red | Partículas cercanas unas de otras | Partículas muy alejadas entre sí |
| <i>Grados de libertad</i> | Vibración | Vibración, traslación y rotación, restringidos | Vibración, rotación y traslación |

Tabla 4: Propiedades de los estados de agregación de la materia

Sistemas termodinámicos

La Termodinámica clásica divide al universo en el sistema y el ambiente, separados por una frontera. Esta visión simplificada permite estudiar la transferencia de materia y energía.

Un sistema termodinámico como una porción del espacio, objeto de estudio, separada del resto del universo por una pared o frontera, real o ficticia. Las dimensiones del sistema deben ser suficientemente grandes como para que se puedan definir en él propiedades macroscópicas.

Dependiendo del tipo de límites que se les impongan a los sistemas termodinámicos éstos se clasifican en:

- **Cerrados:** A través de sus fronteras sólo se efectúan transferencias de energía (calor y trabajo).
- **Abiertos:** A través de sus fronteras se realizan tanto transferencias de energía como de materia.
- **Aislados:** A través de sus fronteras no se efectúan transferencias ni de energía ni de materia con el exterior.

Según la dirección de la transferencia de energía térmica se clasifican en:

- **Endotérmicos:** El calor se trasfiere del universo al sistema.
- **Exotérmico:** El calor se trasfiere del sistema al universo.

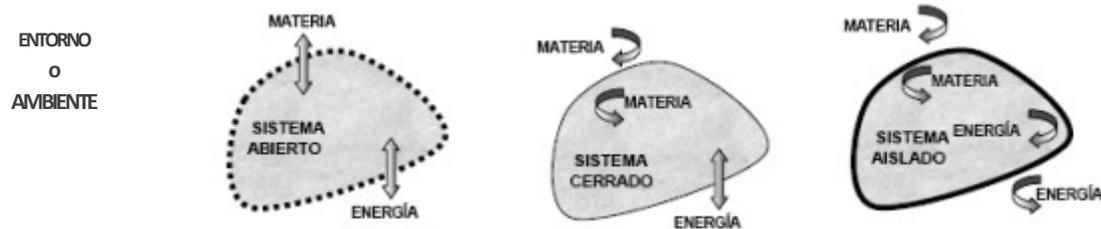


Figura 8: Clasificación de los sistemas

Según su homogeneidad se clasifican en:

- **Sistema homogéneo:** Las propiedades físicas y químicas del sistema son idénticas en cualquier punto del mismo. Por ejemplo, un gas.
- **Sistema heterogéneo:** Formado por subsistemas homogéneos de propiedades físicas distintas entre sí. Por ejemplo, una mezcla de hielo y agua.

Cada una de las partes de un sistema heterogéneo con propiedades físicas distintas se denomina una fase.

Formas de conducción de la energía calórica

La transmisión del calor tiene lugar por tres mecanismos básicos:

Conducción

La energía calorífica se transmite durante el contacto directo entre cuerpos (o partes de los mismos) a distintas temperaturas y tiene lugar mediante choques o acoplamientos entre las moléculas del sistema (unas en zonas más calientes, con mayor energía térmica y otras en las zonas más frías, con menor energía térmica), aunque no haya un movimiento macroscópico de las moléculas.

Este proceso es de gran importancia en sólidos, pero de menor importancia en líquidos y gases, donde normalmente aparece combinado con la convección y es prácticamente enmascarado por ésta.

Convección

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas “calientes” de las zonas de alta temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas. Este proceso tiene gran importancia en fluidos y también es denominado conducción superficial, ya que el flujo de calor entre la superficie de un material y un fluido está relacionado con la conducción a través de una fina capa del fluido que se encuentra junto a la superficie. Además, es este proceso de conducción superficial el que provoca, en un fluido inicialmente en reposo en contacto con una superficie a distinta temperatura, una diferencia de temperaturas en el fluido, originándose diferencias de densidad en el mismo que producirán a su vez un desplazamiento físico de materia a distintas temperaturas de unas zonas a otras. También puede venir acompañada de un cambio de fase, como ocurre durante la condensación o la ebullición, con unos intercambios de calor muy intensos.

La transferencia de calor es por **convección natural** cuando el movimiento del fluido se produce únicamente en virtud de una diferencia de densidades causada por una diferencia de temperaturas. Se dice que existe **convección forzada** cuando el movimiento del fluido en contacto con la superficie es ayudado por medios mecánicos.

Radiación

La energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T , y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura. La radiación es el único medio de transmisión del calor cuando ésta tiene lugar a través del vacío (como en el caso del espacio exterior), y puede ser muy importante para altas temperaturas.

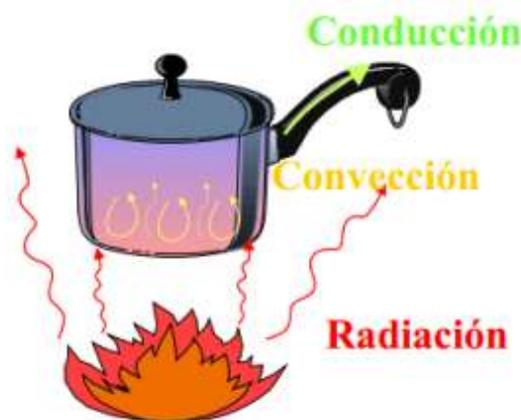


Figura 9: Formas de conducción de la energía calorífica

Calor sensible y calor latente

Cuando la transferencia de calor provoca una variación de temperatura de los cuerpos o fluidos implicados estamos hablando de **calor sensible**, pero sabemos que cuando un cuerpo se calienta hasta alcanzar su punto de fusión, el calor que recibe en adelante se emplea en cambiar de estado, no en aumentar su temperatura, Llamamos **calor latente de fusión** al calor que hay que dar a cada unidad de masa de una sustancia para que se funda, una vez alcanzada la temperatura adecuada. Tradicionalmente se mide en calorías por gramo (cal/g), aunque la unidad del SI sea J/kg.

Del mismo modo, llamamos **calor latente de ebullición** al calor que hay que dar a cada unidad de masa de una sustancia para que se evapore, una vez alcanzada la temperatura de ebullición. Se utilizan las mismas unidades que en el caso anterior.

Es fácil encontrar tablas con los calores latentes de fusión y ebullición, aunque no es tan corriente encontrar el **calor latente de sublimación**. Veamos, a partir del ejemplo del agua, cómo podríamos determinarlo. El calor de fusión del agua es de 80 cal/g, su calor específico es 1 cal/g°C y su calor de ebullición es de 540 cal/g. Si disponemos de 1 g de hielo a 0 °C deberemos comunicarle 80 calorías, para elevarlo hasta 100 °C necesitaríamos 100 calorías más y, finalmente, con otras 540 calorías se evaporaría. Así pues, el calor de sublimación del hielo a 0°C es de 720 cal/g.

Cambio de fases

Un cambio de estado (o de fase) es el proceso mediante el cual una cantidad de materia pasa de un estado de agregación a otro sin modificar su composición. Los cambios entre los estados de agregación de la materia se denominan:



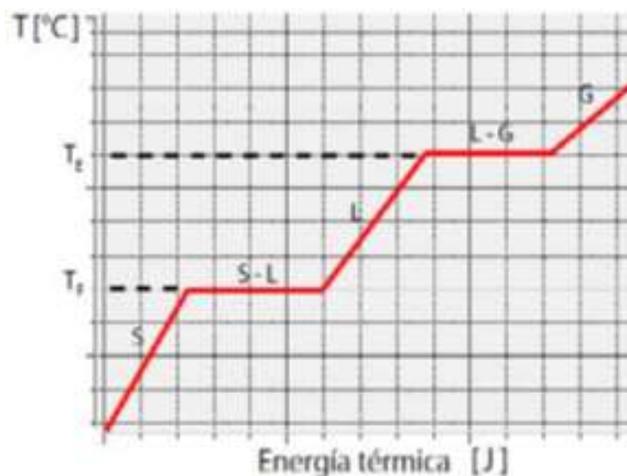
Figura 10: Cambio de fases de la materia

Existen algunos sólidos que, al calentarse, no se funden y pasan directamente al estado gaseoso (**subliman**), por ejemplo: el dióxido de carbono (hielo seco). Otras sustancias exhiben el proceso inverso, por ejemplo, el yodo gaseoso que en contacto con una superficie fría forma cristales de yodo.

Es importante saber que **ebullición** y **evaporación** son conceptos distintos. Si bien, la evaporación está contenida en el proceso de ebullición, cualquier sustancia que se encuentre en estado líquido puede evaporarse, independientemente de si ha alcanzado su temperatura de ebullición. Cuando el sistema aún no ha logrado su temperatura de ebullición, solo algunas de las partículas del líquido que conforman su superficie obtienen la energía suficiente para evaporarse y cambiar a estado gaseoso; en cambio, en el punto de ebullición todo el sistema cuenta con la energía cinética necesaria para cambiar de fase.

La presión influye en el cambio de fase de líquido a gaseoso, determinando el punto de ebullición del sistema; es decir, a mayor presión, mayor es su punto de ebullición.

Los cambios de estados que involucran absorción de calor se estudian mediante curvas de calentamiento, en donde se registra la variación de temperatura en el tiempo a presión constante. De igual forma, los cambios de estado que involucran liberación de calor se estudian mediante curvas de enfriamiento, en donde se registra la variación de temperatura en el tiempo a presión constante



Propiedades de los fluidos

Las propiedades generales más comunes de los fluidos son:

- **Movilidad:** no tienen forma propia, la misma depende de la gravedad y del recipiente que lo contiene.
- **Isotropía:** las propiedades se manifiestan en cualquier dirección en forma idéntica.
- Los líquidos oponen gran resistencia a los esfuerzos de compresión, no siendo así para los esfuerzos tangenciales. Es decir que presentan una muy elevada resistencia a los esfuerzos que tiendan a disminuir su volumen, pero a su vez, es muy baja su resistencia a los cambios de forma.
- Los gases ofrecen poca resistencia tanto al cambio de volumen como de forma.

Densidad absoluta y relativa

La densidad de cualquier sustancia se define como la relación entre la masa de la sustancia y el volumen que ocupa, si la sustancia es homogénea e isótropa la densidad absoluta es:

$$\rho = m/v$$

Donde:

ρ = Densidad absoluta

m = masa

v = volumen

La densidad varía con la temperatura y en menor medida con la presión.

La densidad relativa (δ) de un líquido o de un sólido es la relación de su densidad específica con la del agua pura, tomada en su máximo valor, por consiguiente, no tiene unidad (es adimensional)

La densidad relativa de un gas es la relación con respecto a la densidad del aire, tomado en las mismas condiciones de presión y temperatura. Es adimensional

Fluidos compresibles e incompresibles

Experimentalmente se demuestra que al aplicar un aumento de presión Δp a un volumen inicial v_i de un fluido, este disminuye a una cantidad $\Delta v = v_i - v_f$, que resulta proporcional al aumento de presión de referencia, en símbolos:

$$\Delta v = - \alpha v_i \Delta p$$

Donde:

α = coeficiente de compresibilidad volumétrica

El signo negativo indica que al aumentar la presión provoca la disminución del volumen y viceversa.

La ecuación anterior en su forma diferencial es:

$$dv = - \alpha \cdot v_i dp$$

Despejando dp, se tiene:

$$dp = - \frac{1}{\alpha} \frac{dv}{v}$$

Haciendo $\epsilon = 1/\alpha$ (Módulo de compresibilidad volumétrico)

$$dp = - \epsilon \frac{dv}{v}$$

Teniendo en cuenta que: $m = \rho v = \text{cte.}$, entonces $dm = \rho \cdot dv + dp \cdot v = 0$ entonces $\frac{dv}{v} = - \frac{d\rho}{\rho}$

Reemplazando:

$$dp = \epsilon \frac{d\rho}{\rho}$$

Nótese que el signo negativo ha desaparecido, puesto que, lógicamente, a un aumento de presión le corresponde un aumento de la densidad.

Para el agua ϵ es un valor sumamente grande.

De este hecho surge que, los líquidos en general y el agua en particular, pueden ser considerados como incompresibles en el rango de presiones de las aplicaciones prácticas. No así, los gases que son fácilmente compresibles.

Fluidos ideales y reales

En muchas aplicaciones teóricas y prácticas, es conveniente la idealización de un fluido hipotético, al que se identifica como un medio continuo de viscosidad nula, al que se llama fluido ideal.

En el caso de los líquidos perfectos (o ideales) se debe, además de la consideración de $\mu = 0$ (viscosidad nula), agregar la condición de incompresibilidad, es decir $\rho = \text{cte.}$

En los gases perfectos, se fija la condición de que cumpla con la ecuación de estado para gases ideales:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

Viscosidad

Es una propiedad de los fluidos que se manifiesta por la resistencia que ofrece al desplazamiento relativo de sus partículas como resultado de la actividad molecular.

Un estrato líquido que se desplaza con respecto a otro contiguo con velocidad distinta, da lugar a una resistencia originada en el intercambio molecular que se establece entre sus partículas; ello determina una masa en movimiento parcialmente transversal, la correspondiente cantidad de movimiento da origen a la fuerza de resistencia denominada viscosidad dinámica o absoluta μ .

La temperatura es una variable que tiene mucha influencia sobre la viscosidad y sus efectos son muy diferentes tanto en los gases y en los líquidos. A medida que aumenta la temperatura en un gas, también aumenta la viscosidad, ya que hay una mayor actividad del intercambio molecular. La variación de presión tiene poca influencia en dicha fuerza de resistencia, a menos que sea un valor muy alto.

En los líquidos, además del intercambio molecular también interviene el efecto de cohesión debido a la atracción molecular, el aumento de la temperatura además de generar una mayor actividad molecular, disminuye el trabajo unitario de cohesión. En el agua, el trabajo unitario de cohesión prevalece sobre el efecto de actividad molecular entre las partículas próximas, dando como resultado que los valores de viscosidad absoluta aumentan con la disminución de la temperatura.

En las partículas en reposo, el efecto de viscosidad no se manifiesta, en cambio en movimiento, las partículas de los líquidos reales originan fuerzas tangenciales unitarias que sumadas a las presiones dan componentes que son normales al elemento de superficie.

Las comprobaciones experimentales confirman las siguientes hipótesis de Meyer y Newton:

- a) Las partículas de una masa líquida en inmediato contacto con una pared sólida y rígida, no poseen movimiento relativo. Es decir, si la pared está en reposo, las partículas también lo están y si la pared está en movimiento con velocidad V , las partículas estarán en movimiento con la misma velocidad.
- b) La fuerza de corte por unidad de superficie τ , es proporcional al gradiente transversal de velocidades. El factor de proporcionalidad es la viscosidad absoluta ó dinámica (μ). La fuerza que se ejerce tangencialmente, la cual se opone al desplazamiento de los estratos contiguos con distintas velocidades, genera un rozamiento que entorpece el movimiento, por lo tanto, una cantidad de energía se transforma en calor que se disipa, lo que es equivalente a una pérdida de energía.

Las experiencias indican que la viscosidad es una propiedad bien definida de cada fluido y que se cumple con el agua. En los líquidos reales las velocidades de los estratos contiguos varían gradualmente.

La medición de la viscosidad puede hacerse por métodos físicos ó industriales. Los métodos físicos permiten obtener directamente los valores de la viscosidad dinámica, el más común es el viscosímetro torsional ó rotacional (Fig. 11), en general consta de dos cilindros concéntricos de radios contiguos poco diferentes de modo que permita colocar una delgada capa de la sustancia a ensayar. Este ensayo es a temperatura constante.

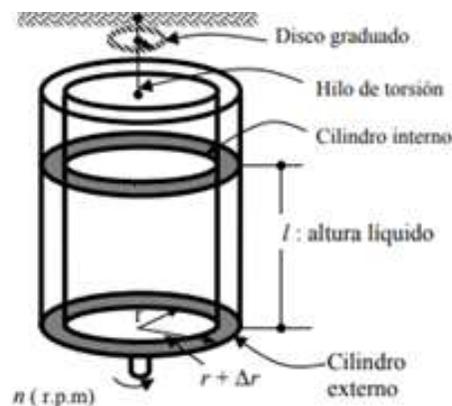


Figura 11: Viscosímetro torsional ó rotacional

El cilindro exterior puede girar independientemente, a la velocidad deseada. El cilindro interior se suspende de un resorte ó de un hilo, calibrados a la torsión. Las experiencias realizadas en cada sustancia, manteniendo la temperatura constante y efectuadas con diferentes velocidades de rotación, señalan en el cuadrante los correspondientes momentos de torsión.

Los métodos industriales permiten conocer μ , con solo medir el tiempo. El método consiste en medir el tiempo de pasaje de cierta cantidad de líquido a través de un orificio calibrado; existen aparatos de diversos tipos, en Estados Unidos de Norteamérica se emplea el viscosímetro Saybol, normalizado por la American Society Testing Materials (A.S.T.M.).

En Alemania, como en casi toda Europa, se emplea el viscosímetro Engler, normalizado por la D.I.N. En Inglaterra se emplea el viscosímetro Redwood, normalizado por el I.T.P.

El gran empleo de lubricantes en los automotores llevó a que los institutos especializados propongan, con menor tolerancia, los aceites para los distintos mecanismos. Un ejemplo es el S.A.E (Society of Automotor Engineers) que agrupa los lubricantes empleados en automotores, desde el punto de vista comercial, mediante números, según su viscosidad.

Peso específico

Al igual que se definió la gravedad en su momento podemos definir el peso específico de una sustancia como la relación entre el peso de esa cantidad de sustancia y el volumen que ocupa

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

Donde:

γ = peso específico

P= peso

V= Volumen

Para un fluido homogéneo, isótropo e incompresible, entonces $\gamma = \text{cte}$

Como $P = m \cdot g$, donde m es la masa y g la aceleración de la gravedad, entonces:

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V}$$

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

Donde ρ es la densidad

Si consideramos la aceleración de la gravedad constante, el peso específico de una sustancia dependerá de la presión y la temperatura.

Tensión superficial

Si se analiza un líquido en reposo en un recipiente, y en particular, las acciones que la atracción de las partículas ejerce entre sí.

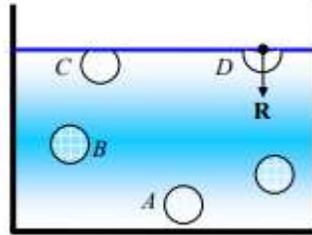


Figura 12: Atracción molecular de un líquido

Para una partícula tal como la A, inmersa en el seno de un líquido, la atracción de todas las moléculas que componen el medio circundante dará lugar a una esfera de atracción. El radio de dicha esfera estará dado por la distancia a partir de la cual el resto de las moléculas no ejercen su influencia. Lo mismo ocurre para una partícula B, más cercana a la superficie y la partícula C se encuentra con el hecho de que su esfera de atracción está interrumpida por la superficie libre. En especial la partícula D, ubicada en la superficie libre, sólo será atraída por las partículas del líquido (según la semiesfera dibujada), con lo que existirá una resultante R que tiende a llevar a la partícula hacia el seno del fluido.

Este hecho implica que, para formar la superficie libre en un líquido, es necesario realizar un trabajo contra las fuerzas R, que son fuerzas de cohesión, propiedad que implica la atracción recíproca entre partículas de una misma sustancia.

Suponiendo que se puede separar la columna líquida, tal como se ilustra en la Fig. 12, y haciendo caso omiso en esta abstracción de las fuerzas de gravedad, el trabajo (W) a realizar para la formación de dos superficies libres, resultará proporcional a esas superficies (2Ω), es decir:

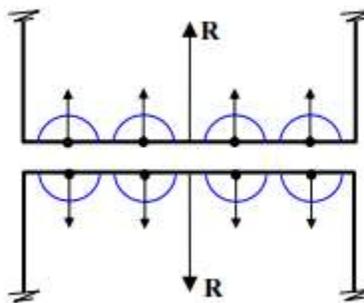


Figura 13: Tensión superficial de un líquido

$$W = 2 \cdot \Omega \cdot \sigma$$

Donde el coeficiente de proporcionalidad será en consecuencia una propiedad física de la sustancia que definimos como tensión superficial σ (también llamada energía superficial) y tiene como unidades en el SI N/m ó J/m².

La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura.

La tensión superficial del agua es mayor que la de la mayoría de los líquidos (permite que los insectos se posen encima).

De la ecuación se deduce que la formación de una superficie requiere energía (mayor superficie mayor energía), esto explica por qué los líquidos minimizan su área expuesta respecto al entorno que les rodea y de ahí que las superficies de los lagos, el mar, etc. en calma sean planas y los líquidos al caer tiendan a formar volúmenes esféricos (gotas).

| LÍQUIDO | ENERGÍA SUPERFICIAL (N/m) |
|---------------------|---------------------------|
| Agua. | 0.075 |
| Bencina. | 0.030 |
| Mercurio. | 0.450 |
| Alcohol etílico. | 0.022 |
| Sulfuro de carbono. | 0.033 |
| Aceite de oliva. | 0.032 |
| Agua con jabón. | 0.030 |

Tabla 5: Tensión superficial de algunas sustancias

Presión de vapor

Un líquido no tiene que ser calentado a su punto de ebullición antes de que pueda convertirse en un gas. El agua, por ejemplo, se evapora de un envase abierto en la temperatura ambiente (20°C), aunque su punto de ebullición es 100°C.

La temperatura de un sistema depende de la energía cinética media de sus partículas. Es necesario hablar en términos del promedio ya que hay una gama enorme de energías cinéticas para estas partículas.

A temperaturas muy por debajo del punto ebullición, algunas de las partículas se mueven tan rápidamente que pueden escaparse del líquido. Cuando sucede esto, la energía cinética media del líquido disminuye. Consecuentemente, el líquido debe estar más frío. Por lo tanto, absorbe energía de sus alrededores hasta que vuelve al equilibrio térmico. Pero tan pronto como suceda esto, algunas de las moléculas de agua logran tener nuevamente bastante energía para escaparse del líquido. Así, en un envase abierto, este proceso continúa hasta que toda la agua se evapora.

En un envase cerrado algunas de las moléculas se escapan de la superficie del líquido para formar un gas como se muestra en la figura 14. La tasa a la cual el líquido se evapora para formar un gas llega a ser eventualmente igual a la tasa a la cual el gas se condensa para formar líquido. En este punto, el sistema se dice está en equilibrio. El espacio sobre el líquido se satura con el vapor de agua, y no se evapora más agua.

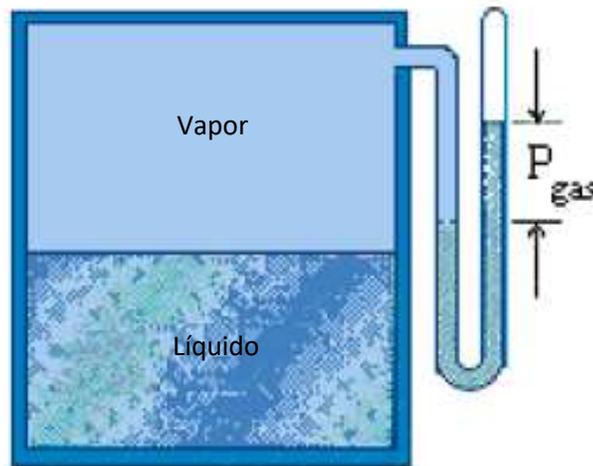


Figura 14: Presión de vapor de un líquido

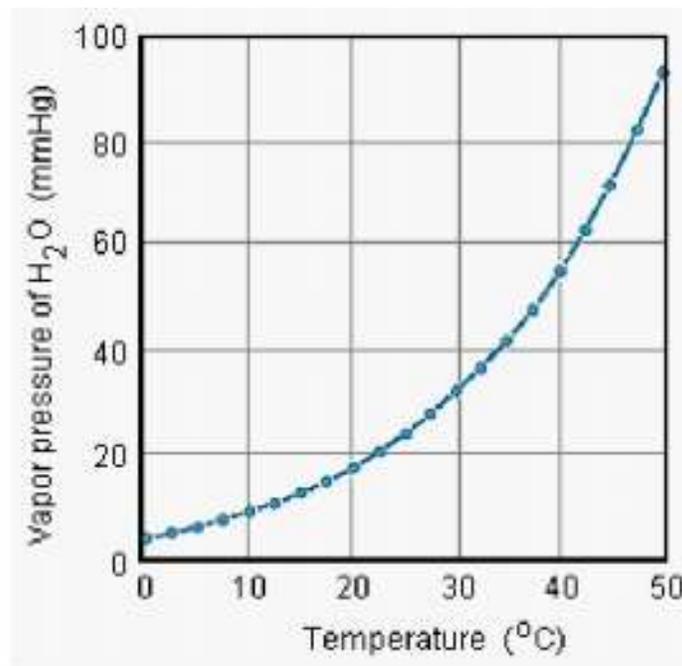


Figura 15: Relación entre la presión de vapor y la temperatura

La presión del vapor de agua en un envase cerrado en el equilibrio se llama la presión del vapor. La teoría molecular cinética sugiere que la presión del vapor de un líquido depende de su temperatura.

Como se puede ver en la figura 14 la energía cinética contra el número de moléculas, la fracción de las moléculas que tienen bastante energía para escaparse del líquido aumenta con la temperatura del líquido. Consecuentemente, la presión del vapor de un líquido también aumenta con la temperatura.

La figura 15 muestra que la relación entre la presión de vapor y la temperatura no es lineal. La presión del vapor del agua se incrementa más rápidamente que la temperatura del sistema.

Presión de vapor Reid

La presión de vapor es una propiedad física importante de los líquidos volátiles. La presión de vapor Reid es un método de prueba se utiliza para determinar la presión de vapor a 37,8 ° C (100 ° F) de productos derivados del petróleo y petróleos crudos con un punto de ebullición inicial superior a 0 ° C (32 ° F).

La presión de vapor es de importancia crítica para las gasolinas de aviación y de automoción, ya que afecta el arranque, el calentamiento y la tendencia al bloqueo de vapor con temperaturas de funcionamiento elevadas o altitudes elevadas. Los límites máximos de presión de vapor para la gasolina son obligatorios por ley en algunas áreas como medida de control de la contaminación del aire.

La presión de vapor de los petróleos crudos es de importancia para el productor de crudo y el refinador para el manejo general y el tratamiento inicial de la refinería.

La presión de vapor también se utiliza como medida indirecta de la velocidad de evaporación de los disolventes de petróleo volátiles.

La presión de vapor Reid difiere de la verdadera presión de vapor de la muestra debido a alguna pequeña vaporización de la muestra y a la presencia de vapor de agua y de aire en el espacio confinado.

Este ensayo está regido por la norma ASTM D323-20a

Punto de rocío

Temperatura de rocío es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, niebla.

Para una masa dada de aire, que contiene una cantidad dada de vapor de agua (humedad absoluta), se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, es decir, al punto de rocío, y se expresa en porcentaje. Así cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100 %) se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de temperatura con la misma humedad relativa.

Temperatura de Punto de Rocío o Escarcha La temperatura de punto de rocío T_d (o escarcha T_f) es aquella temperatura a la cual el vapor de agua presente en una mezcla de gases se condensa (o solidifica) cuando la mezcla se enfría a presión constante. La definición anterior establece dos condiciones necesarias para la determinación de T_d o T_f : a) la temperatura se alcanza cuando se presenta un cambio de fase del vapor de agua a líquido (o a sólido), y b) el enfriamiento se lleva a cabo a presión constante. En la Fig. 1 se muestra el diagrama de fases del agua y se indican las tres líneas o curvas que describen los cambios de fase líquido-vapor, líquido-sólido y sólido-vapor. Las tres curvas se cruzan en el punto triple. Si un gas está a una temperatura y presión indicadas por el punto A en el diagrama, cuando el gas se enfría a presión constante hasta alcanzar la línea de coexistencia líquido-vapor, en el punto B aparece el primer condensado en la muestra de gas, el valor de la temperatura en el punto B es el punto de rocío T_d .

Similarmente, si la muestra está a una temperatura y presión indicadas por el punto C, si al enfriar el gas a presión constante se alcanza la línea de coexistencia sólido-vapor, en el punto D aparece la solidificación del vapor de agua, el valor de la temperatura en el punto D es el punto de escarcha T_f .

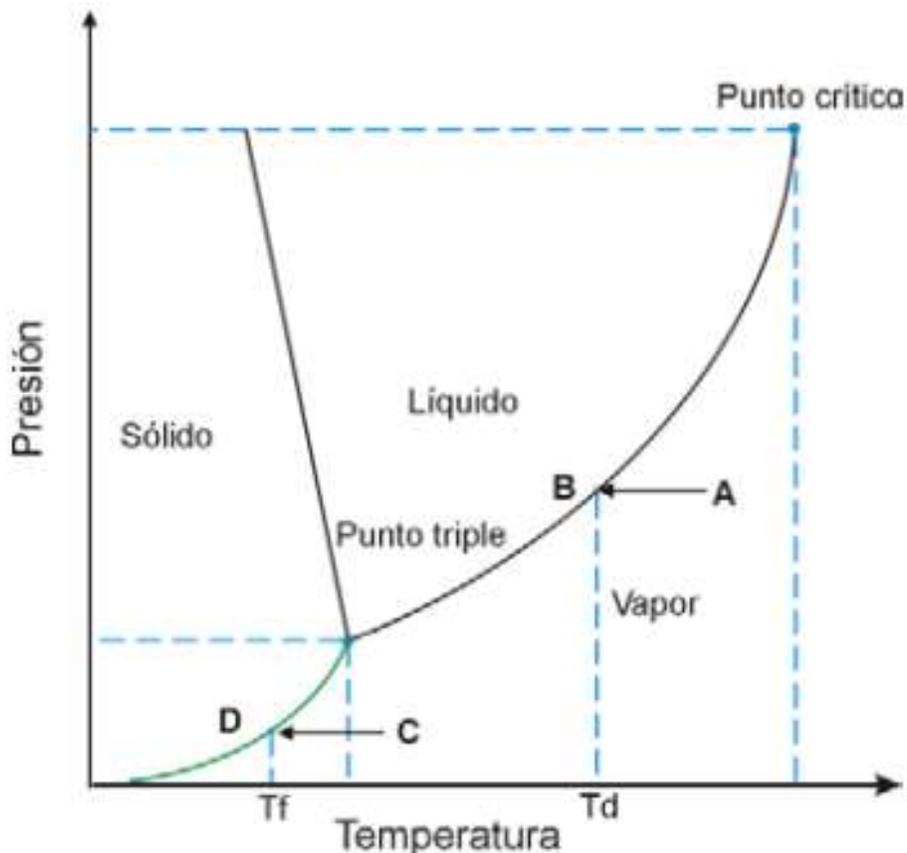


Figura 16: Diagrama de fases del agua (B es el punto de rocío y D es el punto de escarcha).

Cromatografía

La cromatografía es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia y la física. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

La cromatografía puede cumplir dos funciones básicas que no se excluyen mutuamente:

- Separar los componentes de la mezcla, para obtenerlos más puros y que puedan ser usados posteriormente (etapa final de muchas síntesis).
- Medir la proporción de los componentes de la mezcla (finalidad analítica). En este caso, las cantidades de material empleadas son pequeñas.



Estática de los fluidos

El término estática de fluidos se refiere al estudio de los fluidos en reposo, mientras que dinámica de fluidos estudia los fluidos en movimiento.

Ecuación general de la hidrostática

La diferencia de presiones entre dos puntos de una masa líquida depende de la densidad del líquido y de la diferencia de altura entre ambos puntos. Si los dos puntos se encuentran a igual profundidad la diferencia de alturas es igual a cero es por esto que dos puntos de un fluido a igual profundidad estarán a igual presión.

Recordemos que este teorema vale para líquidos en reposo, si los líquidos estuvieran en movimiento, como el agua de un arroyo o la que corre por las cañerías, este movimiento se debe justamente a la existencia de diferencias de presiones en distintos puntos de un mismo nivel.

Si se considera un punto sumergido una profundidad h , el teorema da el valor de la presión a esa profundidad h pero por sobre la superficie de líquido está actuando la presión que ejerce la columna de aire atmosférico, que también es un fluido, la llamada presión atmosférica. Entonces la presión total (absoluta) ejercida sobre un punto a una profundidad h es la debida a la presión de la columna del líquido más la presión que ejerce el aire sobre la columna. Es decir:

$$p = p_{\text{atmosférica}} + p_{\text{líquido}} = p_{\text{atmosférica}} + \delta g h$$

Así la expresión del teorema general de la hidrostática es

$$p = p_o + \delta g h$$

Donde:

p_o = presión atmosférica existente en ese momento y lugar (veremos que la presión atmosférica varía no sólo en los distintos lugares del planeta, sino que, por cambios climáticos, también temporalmente).

P = presión absoluta existente sobre la superficie de profundidad h , que es el resultado del efecto sumado de la presión atmosférica más la presión originada por la columna de líquido.

Se denomina presión relativa o manométrica al término $\delta g h$ o sea que es la diferencia entre las presión absoluta y la atmosférica.

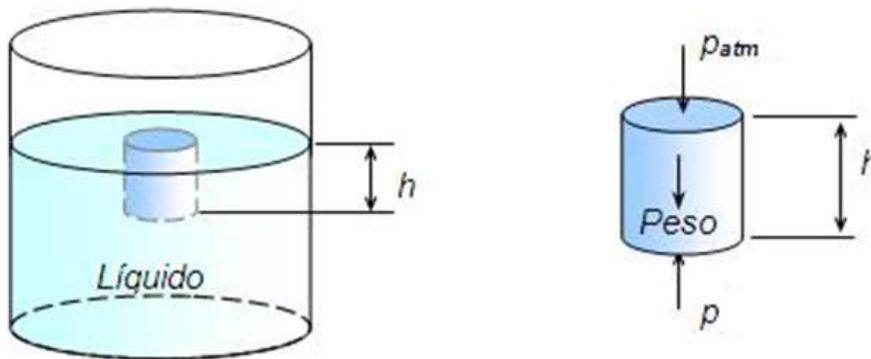


Figura 17: Teorema general de la hidrostática.

Ley de Pascal

La característica estructural de los fluidos hace que en ellos se transmitan presiones, a diferencia de lo que ocurre en los sólidos, que transmiten fuerzas. Este comportamiento fue descubierto por el filósofo, físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662), quien estableció el siguiente principio:

Un cambio de presión aplicado a un fluido en reposo dentro de un recipiente se transmite sin alteración a través de todo el fluido. Es igual en todas las direcciones y actúa mediante fuerzas perpendiculares a las paredes que lo contienen.

En la figura se recurre a una esfera que está recubierta con tapones y tiene un émbolo por medio del cual se puede aumentar la presión del líquido contenido en su interior.

Cuando se aumenta la presión a que está sometido el líquido, este aumento se transmite a todo el volumen, por esta razón todos los tapones se ven sometidos a la misma presión y saltan juntos. El principio de Pascal fundamenta el funcionamiento de las genéricamente llamadas **máquinas hidráulicas**, que funcionan aplicando este principio.

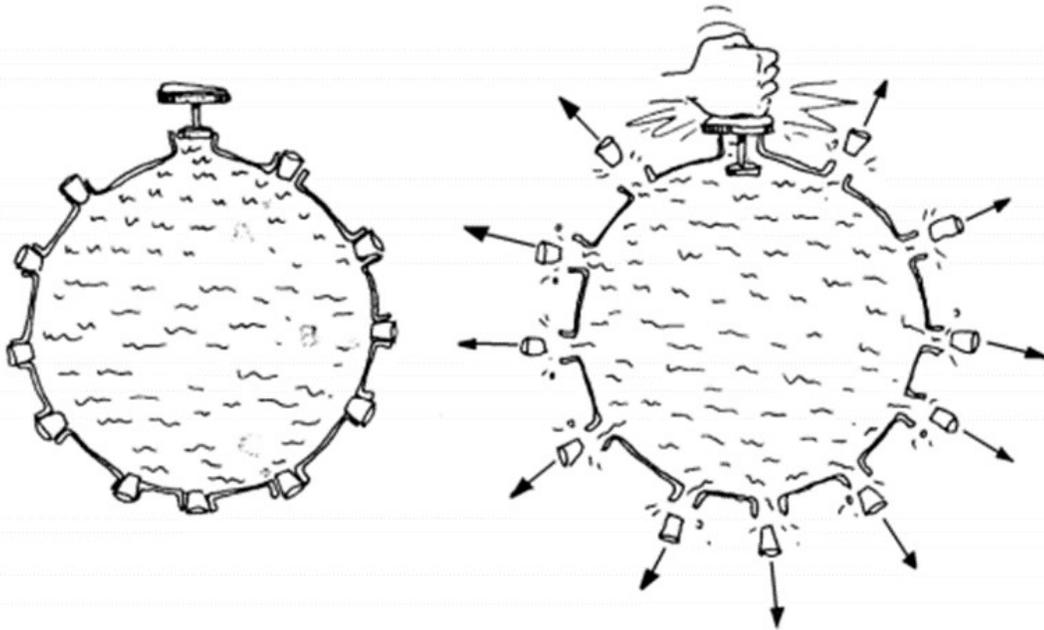


Figura 18: Ley de Pascal.

Transporte de fluidos

Número de Reynolds

Cuando la velocidad de un fluido que se mueve en un tubo sobrepasa un determinado valor crítico (que depende del fluido y del diámetro del tubo) la naturaleza del flujo se hace muy compleja:

- En la capa cerca de las paredes del tubo, capa límite, el flujo sigue siendo laminar, de hecho, la velocidad del flujo en la capa límite es cero en las paredes y aumenta hacia el centro del tubo.
- Más allá de la capa límite, el movimiento es muy irregular, originándose corrientes circulares locales aleatorias denominadas vórtices que producen un aumento de la resistencia al movimiento. En estas circunstancias el régimen de flujo se llama turbulento.

Los experimentos muestran que el que régimen de flujo sea laminar o turbulento depende de la combinación de cuatro factores que se conoce como Número de Reynolds

$$NR = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Donde

ρ = densidad del fluido

v = velocidad media del fluido

η = viscosidad del fluido

D = diámetro del tubo de conducción.

El número de Reynolds es una cantidad sin dimensiones y tiene el mismo valor numérico en cualquier sistema coherente de unidades. Diversos experimentos han demostrado que para $NR < 2000$ el régimen es laminar mientras que para $NR > 3000$ el régimen es turbulento. En la zona entre 2000 y 3000 el régimen es inestable y puede cambiar de laminar a turbulento o viceversa.

Flujo laminar y turbulento

En un principio vamos a trabajar con lo que llamaremos fluido ideal, es decir un fluido que es incompresible y que no tiene rozamiento interno o viscosidad.

- La hipótesis de incompresibilidad es una suposición razonable para líquidos, pero no para los gases. Un gas puede tratarse como incompresible si su movimiento es tal que las diferencias de presión que aparecen no son demasiado grandes.
- El rozamiento interno en un fluido da lugar a esfuerzos cortantes cuando dos capas adyacentes se mueven la una sobre la otra o cuando el fluido se mueve por tubos o se encuentra a un obstáculo. En algunos casos estos esfuerzos son despreciables si se comparan con fuerzas gravitatorias o con la originadas por diferencias de presión

La trayectoria descrita por un elemento de fluido en movimiento se llama **línea de flujo**. La velocidad del elemento varía en magnitud y dirección a lo largo de su línea de flujo. Si cada elemento que pasa por un punto dado sigue la misma línea de flujo que los elementos precedentes se dice que el flujo es **estable o estacionario**. Un flujo puede empezar no estacionario y hacerse estacionario con el tiempo. En un flujo estacionario la velocidad en cada punto del espacio permanece constante en el tiempo, aunque la velocidad de la partícula puede cambiar al moverse de un punto a otro.

La **línea de corriente** es la curva, cuya tangente en un punto cualquiera tiene la dirección de la velocidad del fluido en ese punto. En el régimen estacionario las líneas de corriente coinciden con las líneas de flujo. Si dibujamos todas las líneas de corriente que pasan por el contorno de un elemento del fluido de área S (ver dibujo) estas líneas rodean un tubo denominado **tubo de flujo o tubo de corriente**. En virtud de la definición de línea de corriente el fluido no puede atravesar las paredes de un tubo de flujo y en régimen estacionario no puede haber mezcla de fluidos de dos tubos diferentes.

- Se llama **flujo laminar** al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. Las capas adyacentes del fluido se deslizan suavemente entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular. Se dice que este flujo es aerodinámico. Ocurre a velocidades relativamente bajas o viscosidades altas como veremos.
-

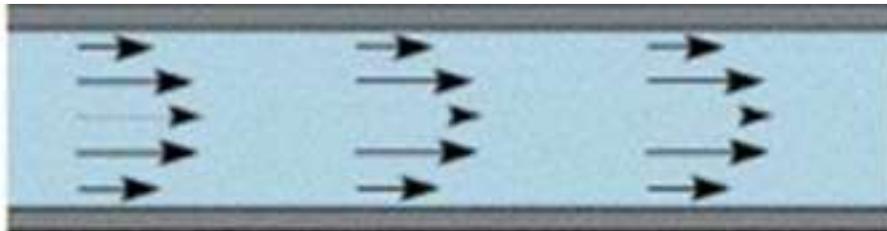


Figura 19: Flujo laminar.

- Se llama flujo **turbulento** cuando se hace más irregular, caótico e impredecible, las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos. Aparece a velocidades altas o cuando aparecen obstáculos en el movimiento del fluido.

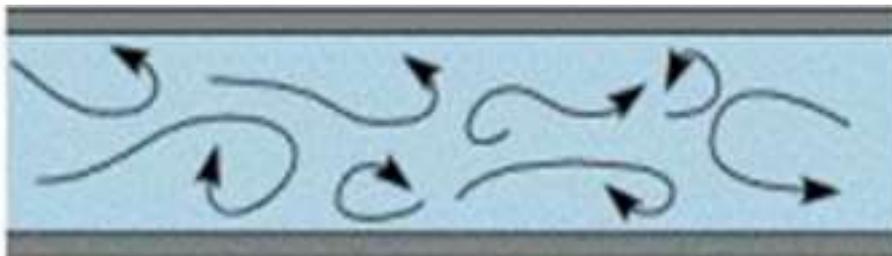


Figura 20: Flujo turbulento.

Ecuación de continuidad

Sea un tubo de corriente en régimen de flujo estacionario y sabiendo que a través de las superficies laterales no hay flujo, la ecuación de continuidad de una parte del tubo comprendida entre dos secciones perpendiculares S_1 y S_2 será:

$$\rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2$$

Donde:

ρ = densidad del fluido

S = sección transversal del tubo en dicho punto

v = velocidad media del fluido

Si además el fluido es incompresible, entonces $\rho = \text{cte}$, por lo que:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Esta ecuación expresa la constancia del flujo de volumen o caudal a través de las secciones rectas del tubo de corriente, consecuentemente, si la sección del tubo disminuye entonces tiene que aumentar la velocidad.

Ecuación de Bernoulli

Por la ecuación de continuidad cuando un fluido incompresible se mueve a lo largo de un tubo de flujo horizontal de sección transversal variable sabemos que su velocidad cambia y por lo tanto aparece una aceleración y deberá haber una fuerza responsable de esta aceleración. El origen de esta fuerza son las diferencias de presión alrededor del elemento concreto de fluido (Si P fuera la misma en todas partes, la fuerza neta sobre cada elemento de fluido sería nula).

Entonces cuando la sección de tubo de flujo varía la presión debe variar a lo largo del tubo, independientemente de la diferencia de altura de los dos puntos considerados. Si además hay una diferencia de altura, aparecerá una diferencia de presión adicional relacionada con esta variación

La ecuación de Bernoulli relaciona la diferencia de presión entre dos puntos de un tubo de flujo con las variaciones de velocidad y con las variaciones de altura.

Cuando un fluido ideal se mueve por un conducto en que su velocidad o su altura varían, la presión también cambia.

La fuerza de la presión p_1 en el extremo inferior del tubo de área A_1 es:

$$F_1 = p_1 A_1$$

El trabajo realizado por esta fuerza sobre el fluido es:

$$W_1 = F_1 \Delta x_1$$

$$W_1 = p_1 A_1 \Delta x_1$$

$$W_1 = p_1 V$$

Donde V es el volumen de fluido considerado.

De manera equivalente, si se considera un mismo intervalo de tiempo, el volumen ΔV de fluido que cruza la sección superior de área A_2 es el mismo, entonces: el trabajo en el punto 2 del tubo es:

$$W_2 = - p_2 A_2 \Delta x_2$$

$$= - p_2 V$$

El trabajo neto realizado por las fuerzas en el intervalo de tiempo Δt es:

$$W = W_1 + W_2$$

$$W = p_1 V - p_2 V$$

$$W = (p_1 - p_2) V$$

Este trabajo se usa en cambiar tanto la energía cinética como la energía potencial gravitacional del fluido.

Si m es la masa que pasa por el tubo de corriente en el tiempo Δt , entonces la variación de energía cinética es:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

La variación de energía potencial es:

$$\Delta E_p = m g y_2 - m g y_1$$

Entonces:

$$W = \Delta E_c + \Delta E_p$$

Reemplazando

$$(p_1 - p_2) V = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 + m g y_2 - m g y_1$$

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_2^2 - \frac{1}{2} \frac{m}{V} v_1^2 + \frac{m}{V} g y_2 - \frac{m}{V} g y_1$$

Como la densidad del fluido es: $\rho = m/V$, entonces=

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_2 - \rho g y_1$$

Operando:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

Esta es la ecuación de Bernoulli para un fluido no viscoso, incompresible, estacionario e irrotacional, la cual se expresa comúnmente como:

$$\mathbf{p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = cte}$$

Nociones de pérdida de carga

De las pérdidas de carga en tuberías en régimen turbulento, se puede decir:

- Son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería
- Son directamente proporcionales a la longitud de la tubería
- Dependen del tipo de material de la tubería
- Dependen de la edad y/o mantenimiento de la tubería
- Aumentan con el incremento del caudal
- Dependen de la viscosidad y densidad del fluido
- Son independientes de la presión en la tubería

Aumentan con los cambios de velocidad (reducciones) o de dirección (codos o curvas)

Podemos tomar como ejemplo el cálculo de la pérdida de carga dada por la ecuación de Hazen - Williams, expresada en función del caudal:

$$hf = 10,679 (Q/C)^{1.852} \times (L/D^{4.87})$$

Donde:

hf = pérdida de carga (m)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interno (m)

Q = caudal (m³/s)

Los valores de los coeficientes "C" se sacan de tabla, según material y años de uso de las tuberías.

| Material | Coficiente de Hazen-Williams |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Asbesto-cemento (nuevo) | 135 |
| Cobre y Latón | 130 |
| Ladrillo de saneamiento | 100 |
| Hierro fundido, nuevo | 130 |
| Hierro fundido, 10 años de edad | 107 – 113 |
| Hierro fundido, 20 años de edad | 89 – 100 |
| Hierro fundido, 30 años de edad | 75 – 90 |
| Concreto, acabado liso | 130 |
| Concreto, acabado común | 120 |
| Acero galvanizado (nuevo y usado) | 125 |
| Acero remachado nuevo | 110 |
| Acero remachado usado | 85 |
| PVC | 140 |
| PE | 150 |
| Plomo | 130 -140 |
| Aluminio | 130 |

Tabla 6: Coeficientes de Hazen-Williams para distintos materiales de cañerías

| Diámetro nominal de los caños normales | | | | | | | | |
|--|-------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------|
| | | VALVULA ESCLUSA TOTALMENTE ABIERTA | VALVULA GLOBO TOTALMENTE ABIERTA | VALVULA ANGULO TOTALMENTE ABIERTA | VALVULA DE RETENCION | CODO NORMAL O TE DE 6 MM DE REDUCCION | CURVA NORMAL O TE NORMAL | TE NORMAL |
| mm | Pulg. | | | | | | | |
| 12 | 1/2 | 0,12 | 5,18 | 2,44 | 1,22 | 0,46 | 0,3 | 1 |
| 19 | 3/4 | 0,15 | 6,71 | 3,36 | 1,83 | 0,61 | 0,45 | 1,37 |
| 25 | 1 | 0,18 | 8,24 | 4,27 | 2,44 | 0,82 | 0,52 | 1,74 |
| 32 | 1 1/4 | 0,24 | 11 | 5,49 | 3,66 | 1,07 | 0,7 | 2,32 |
| 38 | 1 1/2 | 0,3 | 13,12 | 6,71 | 4,27 | 1,31 | 0,82 | 2,74 |
| 51 | 2 | 0,36 | 16,78 | 8,24 | 5,8 | 1,68 | 1,07 | 3,66 |
| 63 | 2 1/2 | 0,43 | 20,43 | 10,06 | 7,01 | 1,98 | 1,28 | 4,27 |
| 76 | 3 | 0,52 | 25,01 | 12,5 | 9,76 | 2,44 | 1,59 | 5,18 |
| 102 | 4 | 0,7 | 33,55 | 16,16 | 13,12 | 3,36 | 2,14 | 6,71 |
| 127 | 5 | 0,88 | 42,7 | 21,35 | 17,69 | 4,27 | 2,74 | 8,24 |
| 152 | 6 | 1,07 | 51,85 | 24,4 | 20,74 | 4,88 | 3,36 | 10 |
| 203 | 8 | 1,37 | 68,02 | 36,6 | - | 6,1 | 4,27 | 13,12 |
| 254 | 10 | 1,77 | 85,4 | 42,7 | - | 7,93 | 5,18 | 16,16 |
| 305 | 12 | 2,07 | 100,65 | 48,8 | - | 9,76 | 6,1 | 20,74 |
| 356 | 14 | 2,44 | 115,9 | 58 | - | 11,28 | 7,32 | 23,79 |
| 406 | 16 | 2,74 | 134,2 | 67,1 | - | 12,81 | 8,24 | 26,84 |

| Diámetro nominal de los caños normales | | | | | | | | |
|--|-------|------------------------------|----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | | TE NORMAL CON SALIDA LATERAL | CODO 45° | CODO 180° | ENSANCHAMIENTO BRUSCO | CONTRACCION BRUSCA | ENTRADA ORDINARIA | ENTRADA DE BORDA |
| mm | Pulg. | | | | | | | |
| 12 | 1/2 | 1 | 0,24 | 1,09 | 0,3 | 0,18 | 0,27 | 0,49 |
| 19 | 3/4 | 1,37 | 0,3 | 1,52 | 0,45 | 0,24 | 0,4 | 0,61 |
| 25 | 1 | 1,74 | 0,4 | 1,83 | 0,52 | 0,3 | 0,46 | 0,76 |
| 32 | 1 1/4 | 2,32 | 0,51 | 2,53 | 0,7 | 0,4 | 0,61 | 1,04 |
| 38 | 1 1/2 | 2,74 | 0,61 | 3,05 | 0,82 | 0,45 | 0,73 | 1,22 |
| 51 | 2 | 3,66 | 0,76 | 3,96 | 1,07 | 0,58 | 0,91 | 1,52 |
| 63 | 2 1/2 | 4,27 | 0,92 | 4,58 | 1,28 | 0,67 | 1,1 | 1,83 |
| 76 | 3 | 5,18 | 1,16 | 5,49 | 1,59 | 0,85 | 1,37 | 2,38 |
| 102 | 4 | 6,71 | 1,52 | 7,32 | 2,14 | 1,16 | 1,83 | 3,26 |
| 127 | 5 | 8,24 | 1,92 | 9,46 | 2,74 | 1,43 | 2,29 | 4,12 |
| 152 | 6 | 10 | 2,29 | 11,28 | 3,36 | 1,77 | 2,74 | 4,7 |
| 203 | 8 | 13,12 | 3,05 | 15,55 | 4,27 | 2,29 | 3,96 | 6,07 |
| 254 | 10 | 16,16 | 3,96 | 18,6 | 5,18 | 3,05 | 4,58 | 7,47 |
| 305 | 12 | 20,74 | 4,58 | 22,57 | 6,1 | 3,66 | 5,49 | 9,09 |
| 356 | 14 | 23,79 | 5,18 | 25,92 | 7,32 | 3,96 | 6,1 | 10,64 |
| 406 | 16 | 26,84 | 5,8 | 30,5 | 8,24 | 4,58 | 7,02 | 12,2 |

Tabla 7: Longitud equivalente de accesorios de cañerías