

Editorial de la Universidad  
Tecnológica Nacional

Guía de estudio

# FLUIDOS

Ing. Viviana del Valle Nahid

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Cátedra: Mecánica de los Fluidos

Facultad Regional Tucumán  
Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N.  
Argentina

2010

---

edUTecNe - Editorial de la U.T.N.

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar



## **Departamento de Ingeniería Mecánica**

### **Cátedra: Mecánica de los Fluidos**

**Profesora: Ing. Viviana del Valle Nahid**

### **Tema: “Fluidos”**

#### **Introducción**

“Fluido es un estado particular de la materia que se caracteriza porque sus partículas se pueden mover cambiando de posición relativa, sin desintegración de masa”.

Otra definición sería: “Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene”.

Según estas definiciones, fluidos son los líquidos y los gases.

#### **Consideraciones generales entre líquidos, gases y sólidos**

Los líquidos, a una presión y temperatura determinadas, ocupan un volumen determinado; introducido el líquido en un recipiente, adopta la forma del mismo, pero llenando sólo el volumen que le corresponde; si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo, la atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Los gases, a una presión y temperatura determinadas, tienen también un volumen determinado, pero un gas se expande hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene y no presenta superficie libre.

Los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y de volumen, los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen pero no de forma y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen.

Ahora bien, cuando se altera la forma de un sólido, por acción de fuerzas externas, los esfuerzos tangenciales, entre partículas adyacentes, tienden a restablecer la forma original del cuerpo. En el fluido, esos esfuerzos tangenciales son proporcionales a la velocidad de la deformación y tienden a cero con esta velocidad; al cesar el movimiento, desaparecen los esfuerzos tangenciales y el fluido no tiende a retomar su forma original.

En general, los sólidos y los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, pero ningún cuerpo (sólido, líquido o gaseoso) es estrictamente incompresible, sin embargo, aunque el fluido incompresible no existe en la realidad, hay innumerables problemas que se resuelven aceptablemente suponiendo que el fluido es incompresible.

Todos los líquidos pertenecen a la primera clase, los gases generalmente a la segunda, pero en los gases, si las variaciones de presión que



entran en juego son pequeñas, por ej., inferiores a 100 [mbar], el gas puede considerarse como incompresible: así, en un ventilador, donde el aire se comprime a 10 [mbar] por encima de la presión atmosférica, el gas puede considerarse como incompresible, pero en un compresor, que comprime aire a 7 [bar], por encima de la presión atmosférica, los efectos de la compresibilidad en el gas, no pueden despreciarse.

Un vapor es un gas, cuyo punto de estado ( $p$  y  $t^\circ$ ) está muy próximo a la fase líquida, tal es el caso, por ejemplo, del vapor de agua, cuyo estado no está muy alejado del correspondiente al agua.

El gas puede definirse como un vapor muy sobrecalentado, vale decir, un vapor cuyo estado se encuentra muy alejado de la fase líquida. Así el aire se considera un gas, porque su estado está, normalmente, muy lejos del del aire líquido.

En la Fig. N°1 puede apreciarse la disposición molecular de un sólido, un líquido y un gas. Nótese el incremento de espacio intermolecular entre el estado sólido, el líquido y el gaseoso.

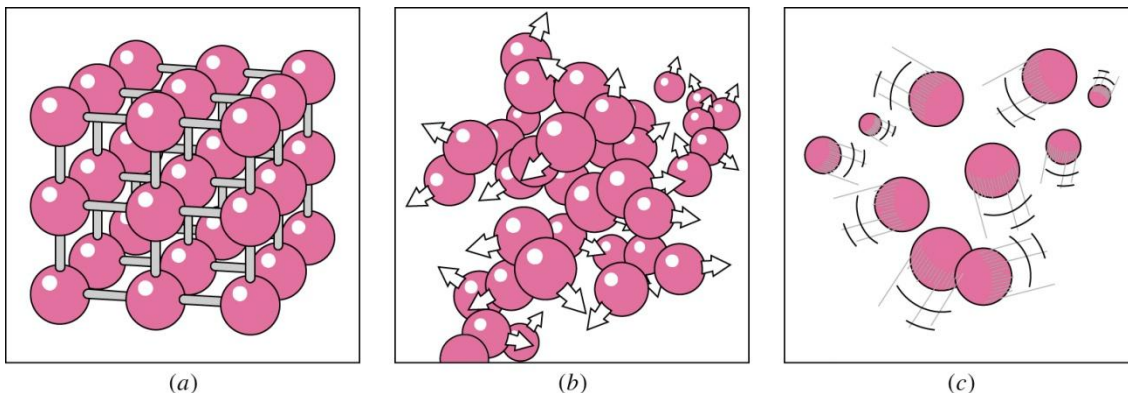


Fig. N°1: (a) sólido; (b) líquido; (c) gas

## Propiedades de los fluidos

### 1) Densidad:

La densidad es la razón de la masa al volumen de un fluido:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

(1)

su unidad en el SI es  $\rho \equiv \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$

La densidad de un fluido es función de la presión y de la temperatura (sobre todo en los gases) incrementándose con el aumento de la presión y la disminución de la temperatura.

En el gráfico de la Fig. N°2 se evidencia la variación de la densidad de algunos líquidos con la temperatura.

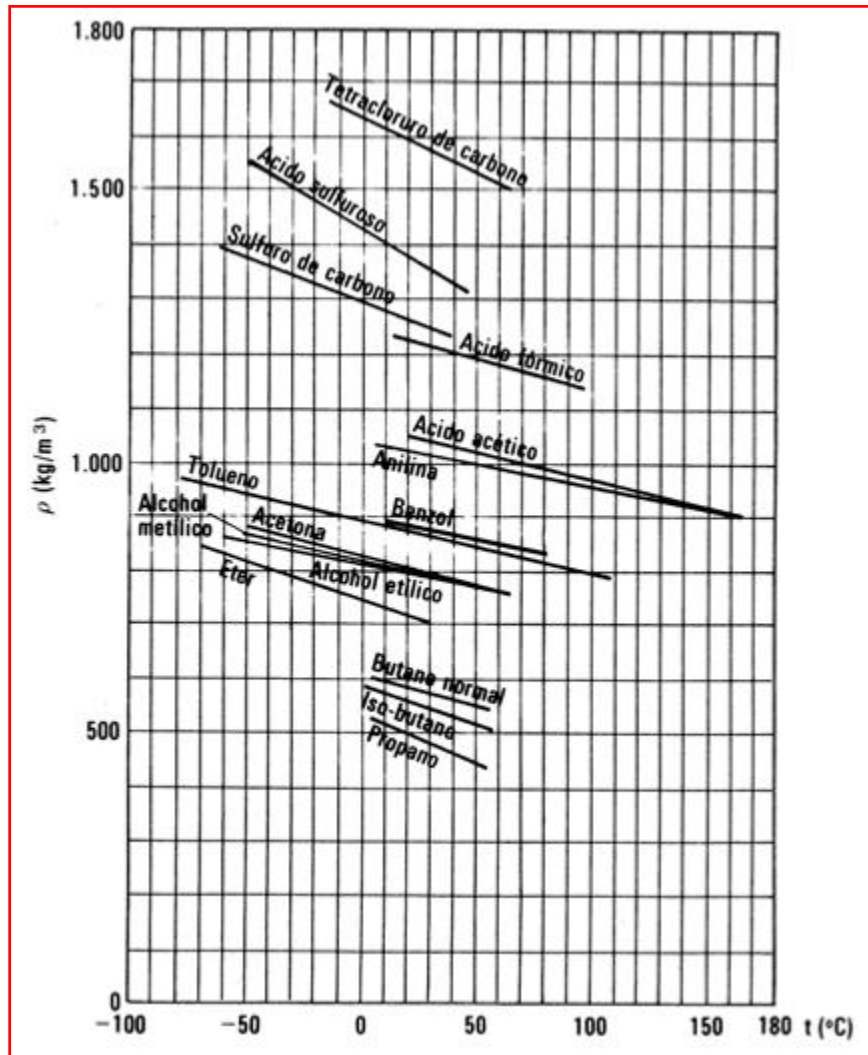


Fig. N° 2: Densidad de algunos líquidos en función de la temperatura

Todos los cuerpos se dilatan con el calor y se contraen con el frío, excepto el agua que se dilata a los 4 [°C], por ello es que una cubeta de agua puesta en el congelador, aumenta su volumen, lo que se denomina dilatación anómala del agua.

La densidad del agua destilada a la  $p_{atm}$  y a 4 [°C], es máxima e igual a 1.000 [Kg/m<sup>3</sup>].

La densidad de un líquido se mide con el **densímetro**, Fig. 3, éste consiste en un flotador lastrado de peso  $W$ , que se sumerge en una probeta llena del líquido cuya densidad se quiere medir; se basa en el principio de



Arquímides: “Un cuerpo sumergido en el seno de un fluido recibe un empuje ascensional, igual al peso del fluido desalojado”, por lo que:

$$E = P = \rho \cdot g \cdot V \quad (2)$$

siendo:  $E$  : empuje

$P$  : peso del líquido (en este caso) desalojado .

$\rho$  : densidad del líquido.

$V$  : volumen desalojado.

$g$  : aceleración de la gravedad.

En la condición de equilibrio:

$$P = W \Rightarrow W = \rho \cdot g \cdot V \Rightarrow \rho = \frac{W}{g \cdot V} \quad (3)$$

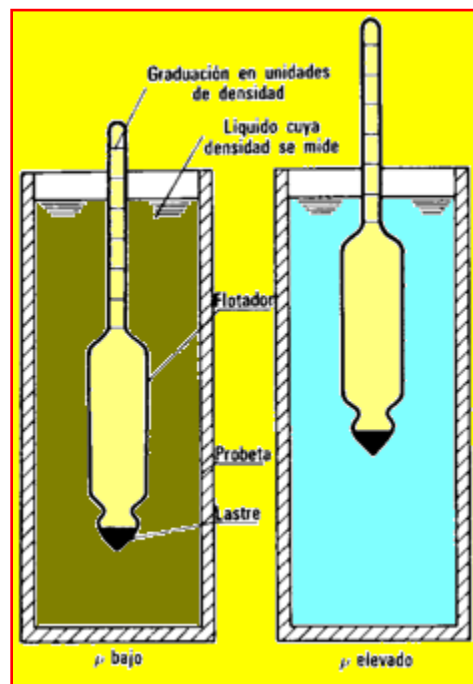


Fig. N° 3: Densímetro

$W$  es la constante del aparato y  $V$  el volumen desalojado correspondiente a la división de la varilla del flotador que enrasa con el líquido. Estas divisiones están ya graduadas directamente en unidades de densidad.

El flotador se hundirá más en el líquido de menor densidad y desalojará más líquido, por lo que los valores de densidad menor se encuentran en la parte superior de la varilla.



### Densidad relativa:

Es la relación entre la masa del líquido, a la masa de un mismo volumen de agua destilada a la  $p_{atm}$  y a 4 [°C].

La densidad relativa es una magnitud adimensional.

La densidad relativa del agua a una temperatura determinada es igual a la densidad absoluta del agua a esa misma temperatura dividida por la densidad del agua a 4 [°C].

$$\rho_r = \frac{\rho_l}{\rho_{H_2O 4^\circ C}} \quad (4)$$

La densidad relativa también, como la densidad, es función de la presión y de la temperatura.

Para un gas, la densidad relativa es la razón de su densidad a la del aire o la del hidrógeno, tomados estos a  $t^0$  y  $p$  dadas.

La Tabla N° 1 contiene los valores de la densidad relativa de algunos líquidos.

Tabla N° 1: Densidad relativa de líquidos más usuales

Líquido	$\rho_r$	$t$ [°C]
Agua dulce	1	4
Agua de mar	1,02 - 1,03	4
Kerosene	0,79 - 0,82	15
Gasolina	0,70 - 0,75	15
Aceite lubricante	0,89 - 0,92	15
Fuel-oil	0,89 - 0,94	15
Alcohol anhidro	0,79 - 0,80	15
Glicerina	1,26	0
Mercurio	13,6	0

### 2) Peso específico:

El peso específico es la razón del peso al volumen de un fluido y representa la fuerza de atracción ejercida por la gravedad sobre la unidad de volumen del fluido. Depende, al igual que la densidad, de la  $p$  y la  $t^0$ , sobre todo en los gases.

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (5)$$

en el SI, sus unidades son:  $\gamma \equiv \left[ \frac{N}{m^3} \right]$  y en el ST:  $\gamma \equiv \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$





Ya que:  $P = M \cdot g$ , resulta :  $\gamma = \rho \cdot g$

El peso específico relativo es idéntico a la densidad relativa.

### 3) Volumen específico:

Es la inversa del peso específico y representa el volumen ocupado por el fluido de peso unidad:

$$v = \frac{1}{\gamma} = \frac{V}{P} \quad (6)$$

y su unidad en el SI es:  $v \equiv \left[ \frac{m^3}{N} \right]$

### 4) Compresibilidad:

La compresibilidad es la propiedad de un fluido de cambiar su volumen por efecto de la presión. Aunque no hay en realidad fluidos rigurosamente incompresibles, se consideran como tales, aquellos cuya variación de su densidad con la presión es de poca entidad. Tal es el caso común de los líquidos y aún el de los gases, si las variaciones de presión son muy pequeñas en comparación con la presión absoluta.

El agua se tiene por lo general por un fluido incompresible, a pesar de que su elasticidad se pone en evidencia por el hecho de que el sonido se propaga a su través. En los problemas en que interviene el efecto de **golpe de ariete** es necesario tomar en cuenta la compresibilidad del agua.

Por otro lado, el flujo de aire en un sistema de ventilación es un caso en que el aire puede ser considerado como incompresible, dado que la variación de presión es tan pequeña que el cambio de densidad carece de significación. En cambio en un gas o vapor que fluye a alta velocidad a lo largo de una cañería, la caída de presión puede ser tan grande que no es posible desdeñar la variación de densidad.

En el caso de una aeronave que avanza a menos de 400 [Km/h], el aire que la rodea puede considerarse de densidad constante, pero cuando un proyectil se desplaza a la velocidad del sonido, la que es del orden, en el aire, de 1.200 [Km/h], la presión del aire adyacente al proyectil resulta sustancialmente diferente de la del aire alejado y el aire debe ser considerado, en este caso, como un fluido compresible.

Las compresibilidades de diversas sustancias son inversamente proporcionales a sus **módulos volumétricos de elasticidad**, los que se definen matemáticamente como:



$$\epsilon_v = - \frac{dp}{\frac{dv}{v}} \quad (7)$$

donde:  $v$  : volumen específico  
 $p$ : presión.

Es decir que el “coeficiente” de compresibilidad volumétrica es:

$$\beta_p = \frac{1}{\epsilon_v} = - \frac{dv/v}{dp} \quad (8)$$

y representa el cambio relativo de volumen en un fluido por unidad de presión aplicada.

El signo negativo se debe a que a medida que se incrementa la presión, disminuye el volumen y recíprocamente.

Las unidades de  $\epsilon_v$  son las mismas que las de la presión, es decir:  $[N/m^2]$  o también  $[\overrightarrow{Kg}/cm^2]$  o  $[\overrightarrow{Kg}/m^2]$ .

En la **Tabla N° 2** se transcriben los valores de  $\epsilon_v$  para el agua

**Tabla N°2: Módulo volumétrico de elasticidad del agua**

$$\epsilon_{v\text{agua}} \cdot 10^6 \text{ [Kgp/m}^2\text{]}$$

presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Temperatura [°C]				
	0°	20°	50°	90°	150°
1	198	217	226	209	-----
100	204	224	232	217	169
300	216	237	246	228	225
1.000	258	278	290	276	237

Para una temperatura dada, el módulo de elasticidad aumenta de manera continua hasta presiones de 12.000 [atm] o más, mientras que para una presión dada, el valor de  $\epsilon_v$  pasa por un máximo cerca de los 50 [°C], por consiguiente, la compresibilidad del agua es mínima a esa temperatura.

El módulo volumétrico de elasticidad del acero es igual, prácticamente, al módulo de Young, es decir  $2.100.000 [\overrightarrow{Kg}/cm^2] \cong 200 \times 10^8 [\overrightarrow{Kg}/m^2]$ . Tomando como valor típico de  $\epsilon_v$  para el agua de  $200 \times 10^6 [\overrightarrow{Kg}/m^2]$ , se aprecia que el agua es unas 100 veces más compresible que el acero.

La tabla muestra que para una temperatura dada, el módulo volumétrico no varía mucho dentro de una gama moderada de valores de presión, de modo que puede usarse como aproximación “Δ” en lugar de “d”, importando sólo los valores extremos y no lo que sucede entre ellos, por lo tanto, la expresión del módulo volumétrico de elasticidad queda:





$$\frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{p_2 - p_1}{\epsilon_{vm}} \quad \text{ó} \quad \frac{\Delta v}{v_1} = \frac{\Delta p}{\epsilon_{vm}}$$

donde:  $\epsilon_{vm}$  es el valor medio dentro de la gama de presiones consideradas.

Suponiendo:  $\epsilon_{vm\text{agua}} = 200 \cdot 10^6 \text{ [Kg/m}^2\text{]}$ , para un aumento de presión de 100 [atm], se produce una compresión de:

$$\text{Si: } \Delta p = 100 \text{ [atm]} = 100 \text{ [Kg/cm}^2\text{]} = 100 \cdot 10^4 \text{ [Kg/m}^2\text{]}$$

Entonces:

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{\Delta p}{\epsilon_{vm\text{agua}}} \Rightarrow \Delta v = \frac{100 \cdot 10^4}{200 \cdot 10^6} \cdot v_1 \Rightarrow \Delta v = 0,5\% v_1 \Rightarrow \boxed{\Delta v = 0,005 v_1}$$

Se comprueba así que es justificada la hipótesis que considera al agua como incompresible.

Una ecuación muy usada, que se obtiene despejando el volumen final, es:

$$\boxed{v_f = v_0 \cdot (1 - \beta_p \cdot \Delta p)}$$

Para los gases: cabe aclarar que no hay, en realidad, gases perfectos, pero el aire y otros gases que se hallan muy alejados de la fase líquida pueden ser considerados como perfectos.

En este tipo de gas, la ecuación de estado para la unidad de peso es:

$$\boxed{p \cdot v = R \cdot T}$$

donde:  $p$  es la presión absoluta,  $v$  el volumen específico,  $T$  la temperatura absoluta y  $R$  la constante del gas.

$$\text{Como: } v = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \frac{1}{\gamma} = \frac{R \cdot T}{p}$$

Al elevar la presión y disminuir simultáneamente la temperatura, el gas deviene vapor y, a medida que los gases se apartan de la fase gaseosa y se acercan a la fase líquida, la ecuación de estado deviene mucho más complicada y y otras propiedades deben tomarse de las tablas o ábacos de vapor. Se conocen tablas para el vapor de agua, el amoníaco, el anhídrido sulfuroso, el freón y otros vapores de uso común en ingeniería.

Otra ecuación fundamental para el gas perfecto es:

$$p v^n = p_1 v_1^n = p_2 v_2^n = cte$$

donde:  $p$  es la presión absoluta,  $v$  el volumen específico y  $n$  puede tomar cualquier valor entre 0 e  $\infty$ , según el proceso que sufra el gas. Si el proceso es



de temperatura constante (isotérmico),  $n = 1$ . Si no hay transferencia de calor hacia o desde el gas, el proceso se llama adiabático, va acompañado por un cambio notable de temperatura y el valor de  $n$  se indica entonces como  $\chi = C_p / C_v$  esto es, la razón de los calores específicos a presión y a volumen constantes. Los valores de  $\chi$  se encuentran en los textos de termodinámica y dependen del gas y de su temperatura. Para el aire y los gases biatómicos a las temperaturas corrientes, puede tomarse  $\chi = 1,4$ .

Diferenciando la ecuación:  $p v^n = \text{cte}$ , se tiene:

$$n \cdot p \cdot v^{n-1} \cdot dv + v^n \cdot dp = 0$$

Despejando  $dp$  e introduciéndola en la ecuación de  $\epsilon_v$ , se obtiene:

$$\epsilon_v = n \cdot p \tag{9}$$

De modo que en un proceso isotérmico es  $\epsilon_v = p$  y en uno adiabático,  $\epsilon_v = \chi \cdot p$ .

Así, a la presión de  $1 [\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2]$ , el módulo de elasticidad isotérmico de un gas es igual a:  $1 [\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2] = 10.000 [\overline{\text{Kg}}/\text{m}^2]$ , si tomamos  $\epsilon_{v\text{agua}} = 200 \cdot 10^6 [\overline{\text{Kg}}/\text{m}^2]$ , se aprecia que el aire a  $1 [\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2]$  es  $200 \cdot 10^6 / 10^4 = 20.000$  veces más compresible que el agua fría, isotérmicamente. Adiabáticamente,  $\epsilon_{v\text{aire}} = 14.000 [\overline{\text{Kg}}/\text{m}^2]$ , es decir 14.140 veces más compresible que el agua fría. Se destaca de esta manera la gran diferencia de compresibilidad entre el aire y el agua, es decir entre un gas y un líquido.

### 5) Dilatación térmica:

Para los fluidos, la dilatación térmica se expresa mediante el módulo de expansión volumétrica:

$$\beta_t = \frac{\frac{\Delta v}{v_0}}{\Delta T} \tag{10}$$

que representa la expansión relativa de un fluido al aumentar la temperatura en  $1[^\circ\text{C}]$ .

Su unidad es:

$$\beta_t \equiv [^\circ\text{C}^{-1}]$$



Despejando de la ecuación anterior, surge la expresión del volumen final:

$$v_f = v_0 \cdot (1 + \beta_t \cdot \Delta t)$$

En la Tabla N° 3 se exponen los valores de  $\beta_t$  para líquidos y gases

Tabla N° 3: Módulo de expansión volumétrica de algunos líquidos y gases.

Material	$\beta_t [^\circ \text{C}^{-1}]$
Alcohol etílico	$1,12 \times 10^{-4}$
Benceno	$1,12 \times 10^{-4}$
Acetona	$1,5 \times 10^{-4}$
Glicerina	$4,85 \times 10^{-4}$
Mercurio	$1,82 \times 10^{-4}$
Trementina	$9 \times 10^{-4}$
Gasolina	$9,6 \times 10^{-4}$
Aire a $0^\circ \text{C}$	$3,67 \times 10^{-4}$
Helio a $0^\circ \text{C}$	$3,665 \times 10^{-4}$

## 6) Vaporización: (líquidos)

Todos los líquidos tienden a evaporarse o vaporizarse, lo que hacen proyectando moléculas al espacio que está por arriba de su superficie libre. Si se trata de un espacio cerrado, la presión parcial ejercida por las moléculas va aumentando hasta que se llega a la condición en que el número por segundo de moléculas que vuelven al líquido es igual al de las que salen por vaporización. La presión del vapor en esta condición de equilibrio se llama **presión de saturación**.

La actividad molecular aumenta con la temperatura, por lo que la presión de saturación, aumenta también con la temperatura. A una temperatura dada, la presión sobre la superficie líquida puede ser mayor que la de saturación, pero una disminución de la presión, por debajo del valor de la presión de saturación del líquido, por escasa que sea la diferencia, induce una evaporación rápida conocida como ebullición.

En la Tabla N° 4 se encuentran los valores de la presión de saturación de líquidos.



**Tabla N° 4: Presiones de saturación de algunos líquidos a 21°C**

Líquido	$p_s$ [ $\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2$ ]
Mercurio	0.0000017
Agua	0.02544
Kerosene	0.035
Alcohol metílico	0.14
Gasolina	0.314

La tabla demuestra la conveniencia del uso del mercurio en el barómetro, donde debería existir un vacío perfecto en la parte superior de la columna. También demuestra que en el caso de la gasolina hay que mantener una presión mucho mayor que en el caso del agua para evitar que se evapore o hierva. Por lo tanto no es posible elevar gasolina por succión a alturas de aspiración tan grandes como en el caso del agua.

Se recomienda consultar la **Tabla N° 6** para valores de la presión de saturación del agua a diferentes temperaturas.

### **7) Tensión superficial: (líquidos)**

La tensión superficial como la propiedad de los líquidos que se estudia a continuación, la capilaridad, está muy ligada a las propiedades de cohesión y adhesión que poseen sólo los líquidos. La cohesión permite a los líquidos resistir pequeños esfuerzos de tracción, mientras que la adhesión permite que se adhiera a otros cuerpos.

La tensión superficial es una fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, allí donde el líquido entra en contacto con otro fluido no miscible, particularmente un líquido con un gas.

En la superficie libre de un líquido, la tensión superficial se manifiesta como si el líquido creara allí una fina membrana. Así se explica, por ejemplo, que una aguja de acero colocada cuidadosamente sobre la superficie del agua no se hunda.

El origen de la tensión superficial puede explicarse de la siguiente manera (Fig. N°4): una molécula situada en el interior de un fluido, como la 1, es atraída por igual en todas direcciones por las moléculas circundantes y se encuentra en equilibrio, las fuerzas de cohesión molecular, no producen efecto resultante alguno. Por el contrario, las moléculas 2 y 3 se encuentran cerca de (o sea a una distancia menor que el radio de la esfera de acción de la cohesión molecular, que es del orden de  $10^{-6}$ [mm]) o en la misma superficie libre, respectivamente, en cuyo caso el equilibrio se rompe porque las moléculas del líquido ejercen una atracción mucho mayor que las del gas (aire) de la superficie



libre. En este caso hay una resultante  $F$  de las fuerzas de cohesión dirigida hacia el interior del líquido. Esta fuerza origina una tensión tangencial en la superficie libre, que la convierte en algo semejante a una membrana elástica.

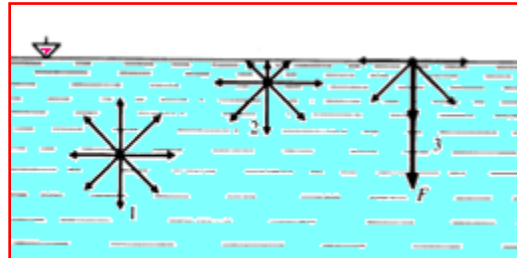


Fig. N°4 - Origen de la tensión superficial

Recordando, todo cuerpo material, ya sea fluido o sólido, ejerce sobre otro una fuerza de atracción directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa los centros de las mismas. Independientemente de esta atracción de masas, existe una fuerza electroquímica, la atracción molecular, que origina en los líquidos la cohesión y la adherencia. La diferencia principal entre la atracción de masas y la atracción molecular, es que la última fuerza sólo es efectiva a muy poca distancia.

Retomando el tema, si sobre la superficie libre del líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial  $\sigma$  es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud, es decir:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (11)$$

Su unidad en el SI es:  $\sigma \equiv \left[ \frac{N}{m} \right]$

La fuerza  $F$  suele ser muy pequeña, disminuyendo además al aumentar la temperatura.

La tensión superficial explica la formación de las gotas en un líquido, Fig. N° 5.

En un líquido que se pulveriza, las fuerzas de cohesión predominantes, dirigidas siempre hacia el interior, tienden a la formación de superficies de área mínima, originando las gotas esféricas, ya que para un volumen determinado, la esfera es el cuerpo que posee área mínima.

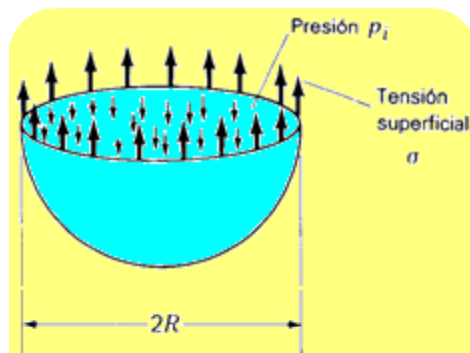


Fig. N° 5: Tensión superficial sobre la mitad de una gota de agua

En las Tablas N° 5 y N° 6 se dan valores de  $\sigma$ .

Tabla N° 5: Tabla de valores de la tensión superficial para algunos líquidos a 20°C

Líquido	$\sigma$ [N/m]
Agua con aire húmedo	0.0741
Agua con aceite	0.0275
Mercurio con agua	0.375
Mercurio con aire	0.5
Alcohol con agua	0.002
Solución de jabón con aire	0.03

Nótese la disminución del valor de  $\sigma$  del agua por efecto del agregado de un producto detergente como el jabón, lo que facilita la función de lavado.

Tabla N° 6: Tabla de tensión superficial del agua en el aire y de valores de presión de saturación de la misma.

$t$ [°C]	$p_s$ [ $\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2$ ]	$\sigma$ [ $\overline{\text{Kg}}/\text{m}$ ]	$t$ [°C]	$p_s$ [ $\overline{\text{Kg}}/\text{cm}^2$ ]	$\sigma$ [ $\overline{\text{Kg}}/\text{m}$ ]
0	0.00622	0.00764	50	0.1258	0.00690
5	0.00889	0.00757	55	0.1602	0.00681
10	0.01252	0.00750	60	0.2028	0.00672
15	0.0174	0.00743	65	0.2547	0.00663
20	0.0238	0.00735	70	0.3175	0.00654
25	0.0323	0.00728	75	0.3929	0.00645
30	0.0433	0.00721	80	0.4827	0.00636
35	0.0573	0.00713	90	0.7148	0.00616
40	0.0752	0.00706	95	0.8619	0.00606
45	0.0977	0.00698	100	1.0333	0.00595



Uno de los procedimientos para la medición de la tensión superficial es el Método de la Placa: se utiliza una placa de geometría rectangular perfectamente conocida suspendida verticalmente a una balanza de precisión (Fig.N°6). El lado inferior de la placa se pone en contacto (horizontalmente) con la superficie del líquido para que se moje (2). Luego se ejerce una fuerza vertical sobre la placa para levantarla. La placa se levanta poco a poco, y de cada lado se forma una interfase curva (3); se levanta la placa hasta que se produzca el arranque (4).

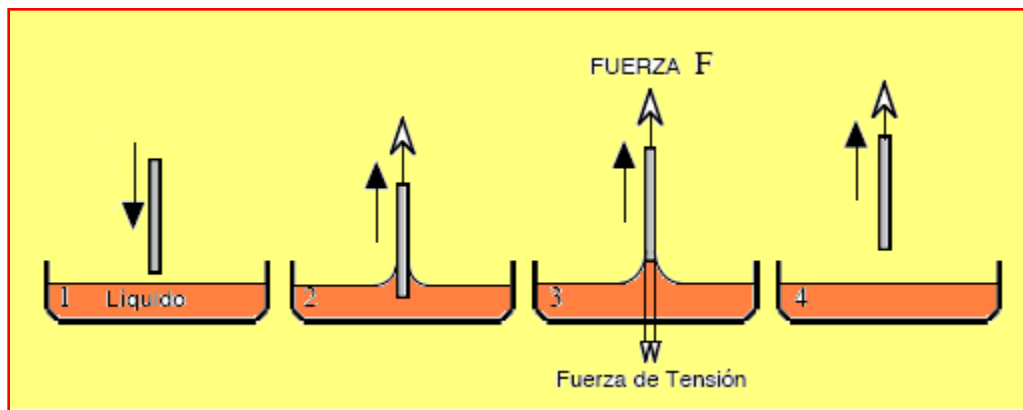


Fig. N° 6: Método de la placa para la determinación de la tensión superficial

En la posición justo antes del arranque (Fig. 5 caso 3) se puede calcular el equilibrio de fuerzas entre las fuerzas de tensión actuando a ambos lados de la placa (por eso el factor 2 en la ecuación 12) y la fuerza de levantamiento  $F$  (Fig. N°7).

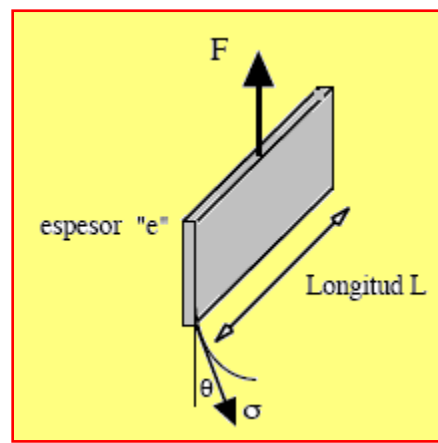


Fig. N° 7: Balance de fuerzas en la placa

$$F = 2 \cdot (L + e) \cdot \sigma \cdot \cos \theta \quad (12)$$

Pero  $e \ll L$  y  $\theta = 0$ , entonces  $\sigma = \frac{F}{2 \cdot L}$

Usualmente la placa es de platino levemente rugoso, de tal forma que el ángulo de contacto sea lo más pequeño posible y se pueda suponer igual a cero. La placa mide típicamente 29,9 mm de largo (L) y 0,1 mm de espesor (e), en cuyo caso el perímetro completo es de 60 mm.

En el momento del arranque, ninguna parte del volumen de la placa está dentro del líquido y por tanto no se necesita realizar corrección alguna por empuje de Arquímedes.

### 8) Capilaridad: (líquidos)

La capilaridad, como la tensión superficial, es consecuencia a la vez, de la cohesión y de la adhesión. Cuando la primera tiene menor efecto que la segunda, el líquido moja las superficies sólidas con las que está en contacto y se eleva en el punto de contacto, si predomina la cohesión, la superficie líquida desciende en el punto de contacto. Por ejemplo, la capilaridad hace que el agua se eleve en un tubo de vidrio, mientras que el mercurio desciende por debajo del nivel verdadero. Esto está esquematizado en la Fig. N° 8.

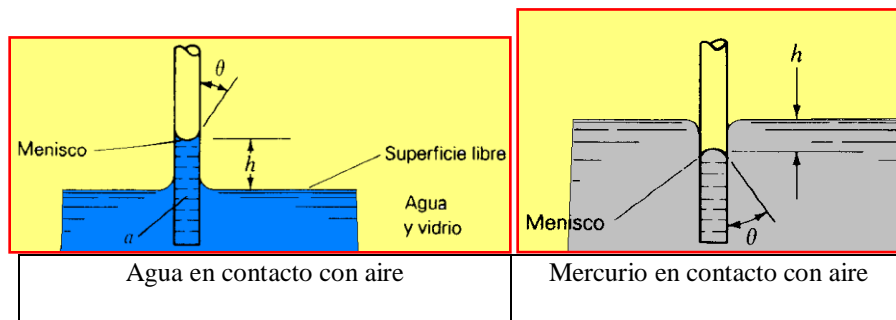


Fig. N° 8: Ascensión y depresión capilar

La ascensión (o la depresión) capilar queda determinada por la ecuación:

$$2\sigma = (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot b \cdot h \quad (13)$$

Siendo:  $\sigma$  : tensión superficial

$\gamma_1$  : peso específico del líquido debajo del menisco

$\gamma_2$  : peso específico arriba del menisco (puede ser aire u otro líquido)

$b$  : radio de curvatura del menisco (en el fondo o en el tope)

$h$  : ascensión o depresión capilar.



La dificultad práctica en la aplicación de la ecuación (13) está en que es imposible medir el radio de curvatura de la superficie líquida, de modo que se necesitan hipótesis adicionales. Así, si el diámetro del tubo es menor que 2,5 [mm], puede suponerse que el menisco es esférico y que su radio es  $b = r/\cos \theta$ , siendo  $r$  el radio del tubo y  $\theta$  el ángulo de contacto entre el líquido y el tubo. Si la superficie está limpia, este ángulo es de  $0^\circ$  en el caso del agua y alrededor de  $140^\circ$  en el del mercurio.

Al aumentar el diámetro del tubo, aumenta también el radio de curvatura, de modo que la ascensión o la depresión, disminuye mucho. Con diámetros del orden de 10 [mm] o más, el efecto capilar es despreciable en el agua y en el mercurio.

Como las presiones se miden muchas veces por la altura  $a$  que se eleva un líquido en un tubo (piezómetros y manómetros de tubo en U), se debe tener cuidado al usar tubos de pequeño diámetro por el error que se introduce en la medición.

Si el mercurio se halla en contacto con el agua en lugar de con el aire, el efecto de tensión superficial es menor, pero entonces  $\gamma_2$  es el peso específico del agua. Ocurre que la variación en  $(\gamma_1 - \gamma_2)$  resulta prácticamente de igual proporción que la variación de la tensión superficial, de modo que los valores de la depresión capilar para Hg - aire son prácticamente iguales a los de Hg - H<sub>2</sub>O.

### 9) Viscosidad:

Antes de entrar en el tema, digamos que se puede definir como fluido ideal el que carece de fricción, es decir el de viscosidad cero, entendiéndose por fricción, el roce que se produce al desplazarse unas moléculas con relación a las otras o con relación a las de un cuerpo sólido con el que estuvieran en contacto.

De esta manera, las fuerzas internas en un corte interior cualquiera son siempre normales al corte, aunque el fluido se halle en movimiento. En consecuencia estas fuerzas son sólo fuerzas de presión.

Pero no existe tal fluido en la naturaleza.

**Definición:** “La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a la deformación por corte o angular”.

En un fluido real, líquido o gas, al provocar su movimiento, surgen fuerzas tangenciales o de corte en el interior del mismo, lo que da lugar a fricción en el líquido, puesto que tales fuerzas se oponen al movimiento, es decir, al desplazamiento de unas partículas respecto de otras.

Consideremos dos placas planas paralelas, Fig. N° 9, lo suficientemente extensas como para poder despreciar los efectos de borde y dispuestas a una pequeña distancia  $y_0$  una de otra, con el espacio intermedio lleno de líquido. Se supone además que la placa inferior es fija y que la placa superior se mueve paralelamente a sí misma con una velocidad  $v_0$ , debido a la



aplicación de una fuerza  $F$  en correspondencia con cierta superficie  $A$  de la placa móvil. Las partículas del fluido que están en contacto con cada una de las placas se adhieren a éstas, si la velocidad  $v_0$  es pequeña, de manera de no desprender la capa límite y, si también la distancia  $y_0$  no es muy grande, el gradiente de velocidad es una línea recta. La acción es como si el fluido estuviera constituido por una serie de finas láminas paralelas, cada una de las cuales resbala respecto de las adyacentes.

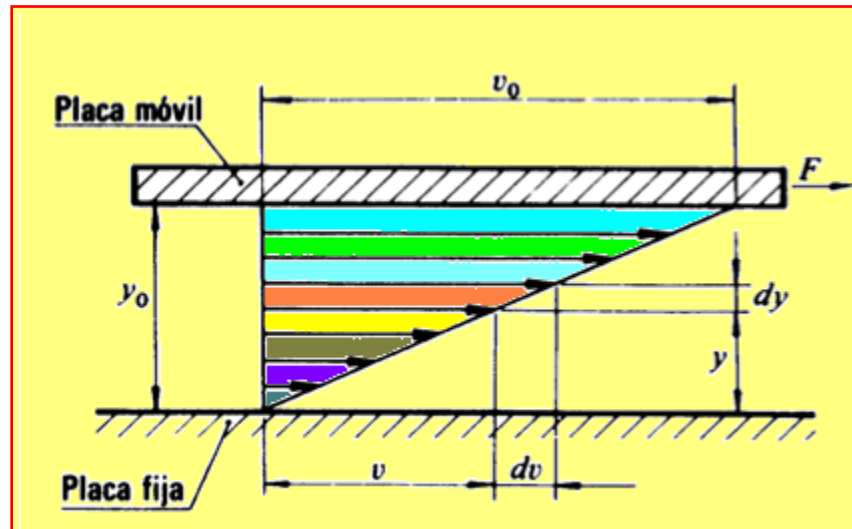


Fig. N° 9 - Ecurrimiento de un líquido real

La experiencia demuestra que, para una gran variedad de fluidos:

$$F \propto \frac{A \cdot v_0}{y_0}$$

Por similitud de triángulos en la figura puede reemplazarse  $v_0/y_0$  por el gradiente transversal de velocidad  $dv/dy$ . Si introducimos ahora una constante de proporcionalidad:  $\mu$ , el esfuerzo de corte  $\tau$  entre dos finas láminas cualesquiera del fluido puede expresarse como:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \cdot \frac{v_0}{y_0} = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \quad (14)$$

Ecuación de la viscosidad de Newton

Si de la ecuación anterior despejamos la expresión de la constante de proporcionalidad, se obtiene:

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} \quad (15)$$

Esta constante de proporcionalidad, se denomina: “coeficiente” de viscosidad, viscosidad absoluta, viscosidad dinámica (porque involucra la fuerza en su definición) o simplemente viscosidad del fluido.

Se propone analizar el siguiente gráfico:

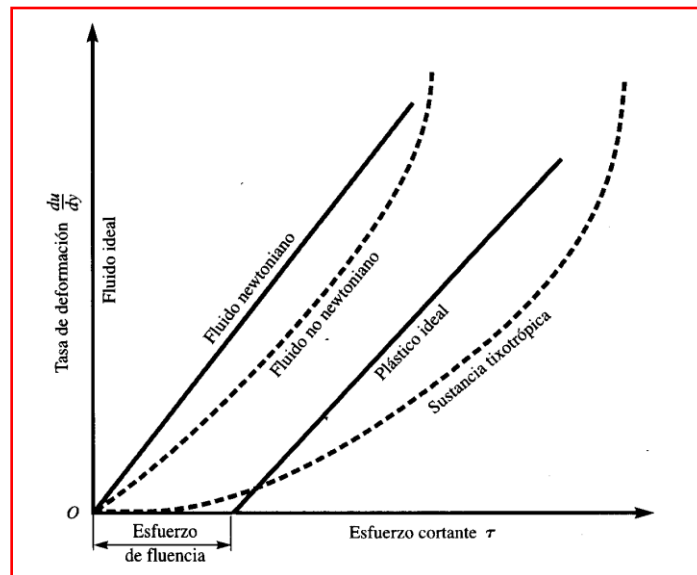


Fig. N° 10: Diagrama reológico

Recordar que la reología es el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos.

En el gráfico podemos observar que en el caso del sólido, el esfuerzo de corte es proporcional a la magnitud de la deformación, pero para un fluido, el esfuerzo de corte es proporcional a la velocidad de la deformación (angular), por lo tanto en el gráfico, los sólidos elásticos están representados por el eje de abscisas.

Los fluidos en los que la constante de proporcionalidad  $\mu$  no depende de la velocidad de deformación se llaman “fluidos Newtonianos” y pueden ser representados por una línea recta cuya pendiente depende de la viscosidad. Son fluidos Newtonianos: el agua, el aire, la mayor parte de los gases y en general los fluidos de pequeña viscosidad.



El fluido ideal, sin viscosidad, está representado por el eje vertical. Los “plásticos” que pueden soportar cierta magnitud de corte antes de comenzar a fluir, pueden ser representados por rectas inclinadas que cortan el eje horizontal en el punto correspondiente al esfuerzo de fluencia (ej.: la pasta dental, la mostaza, etc.). Aunque hay ciertos fluidos No-Newtonianos, en los que  $\mu$  depende de la velocidad de deformación, tales como: las grasas, materiales plásticos, metales líquidos, suspensiones, la sangre, la tinta de imprenta, fluidos tixotrópicos; estos carecen por lo general de importancia para la ingeniería; estos fluidos en reposo presentan tensiones tangenciales.

La viscosidad absoluta de los líquidos y los gases es prácticamente independiente de la presión, sin embargo es muy dependiente de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, disminuye la viscosidad de todos los líquidos, mientras que aumenta la viscosidad de todos los gases. Esto se debe a la diferencia de la naturaleza de la viscosidad en los líquidos y en los gases.

En los líquidos al aumentar la temperatura disminuyen las fuerzas de cohesión, que son predominantes en ellos, mientras que en los gases el factor predominante es el intercambio de moléculas entre capas de diferentes velocidades. Todas las moléculas de un gas están en continuo movimiento aleatorio, cuando hay un movimiento en bloque debido al flujo, dicho movimiento se superpone a los movimientos aleatorios y luego se distribuye a todo el fluido mediante colisiones moleculares, así una molécula rápida que pasa a una capa de menor velocidad, tiende a acelerarla, mientras que si una molécula lenta pasa a una capa rápida, tiende a frenarla. Así este intercambio molecular crea un esfuerzo de corte, o produce una fuerza de fricción entre las capas adyacentes, no otra cosa es la viscosidad. La actividad molecular crece con la temperatura y de ahí que la viscosidad de los gases aumente, también, con la temperatura.

En los siguientes gráficos (Fig. N° 11, 12 y 13) se pone en evidencia la influencia de la temperatura la viscosidad de algunos fluidos.



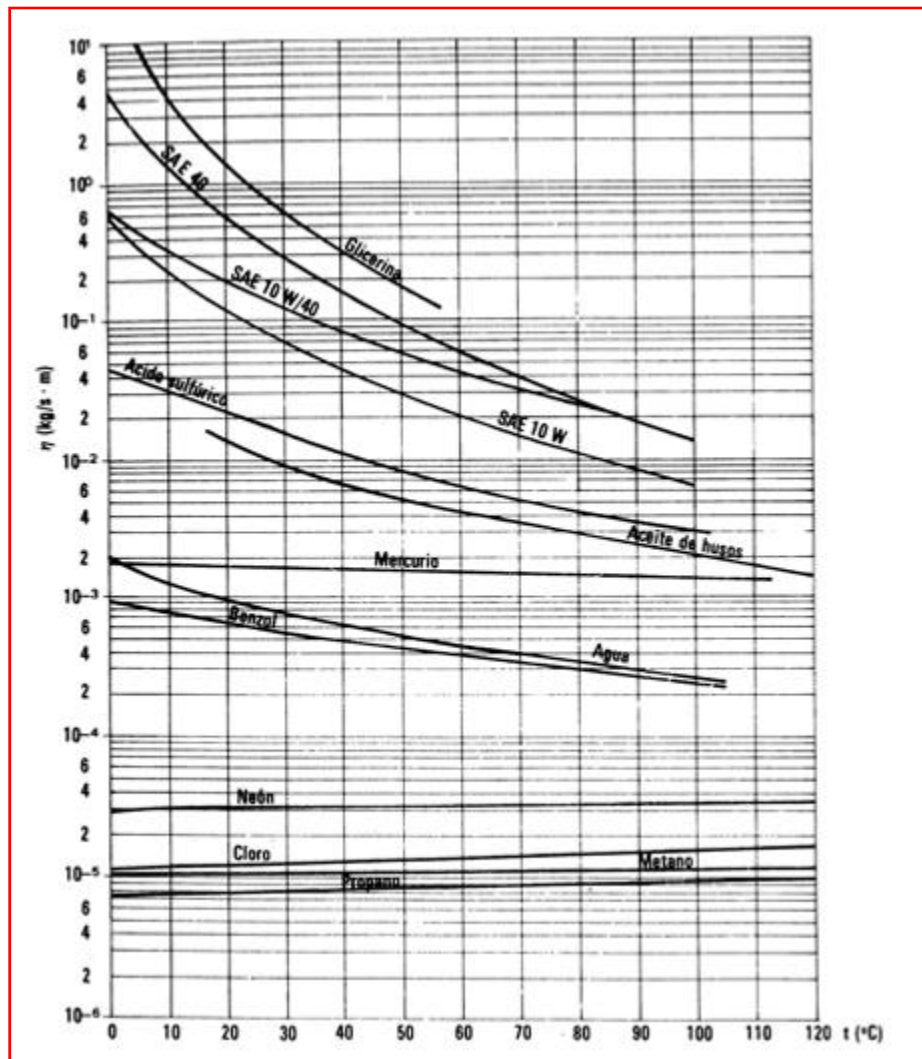


Fig. N° 11: Viscosidad dinámica de algunas sustancias en función de la temperatura

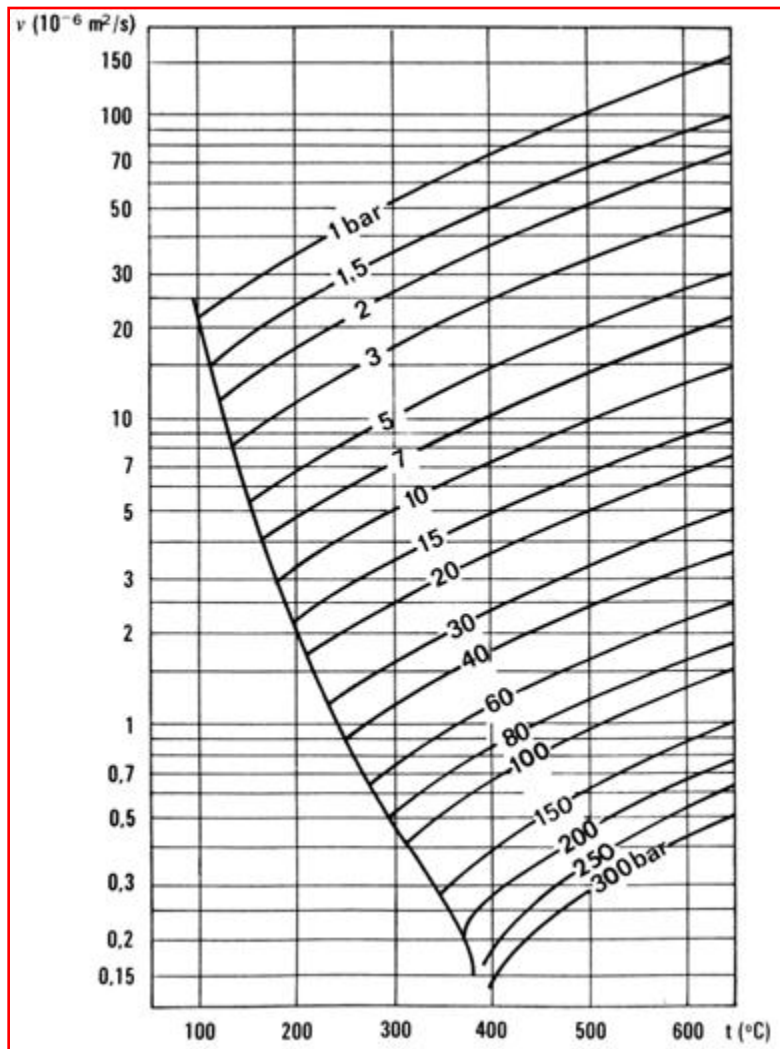


Fig. N° 12: Viscosidad cinemática del vapor de agua en función de la temperatura

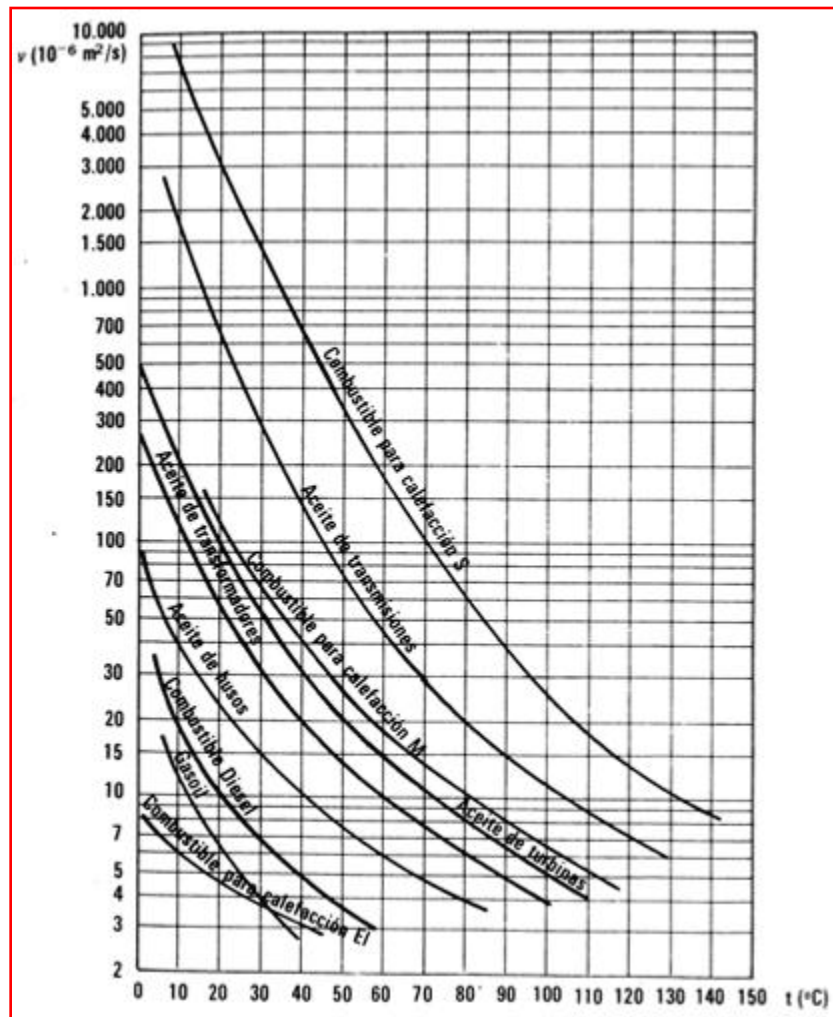


Fig. N° 13: Viscosidad cinemática de aceites en función de la temperatura

Para los líquidos se cumple:  $\mu = \mu_0 \cdot e^{-\lambda(t-t_0)}$

donde  $\mu$  y  $\mu_0$  son las viscosidades a las temperaturas  $t$  y  $t_0$  respectivamente y  $\lambda$  un coeficiente que para los aceites lubricantes toma valores entre 0,023 a 0,033.

Como las tensiones tangenciales aparecen cuando el fluido está en movimiento, según la ecuación de la viscosidad de Newton, en reposo, un fluido



real se comporta como uno ideal, es decir sin viscosidad o por lo menos sin ponerla de manifiesto.

**Unidades:**

Las dimensiones de la viscosidad absoluta son las de fuerza por unidad de área dividida por las del gradiente de velocidad.

En el sistema CGS, se tiene:

$$\mu \equiv \frac{\left[ \frac{\text{din}}{\text{cm}^2} \right]}{\left[ \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]} = \frac{\left[ \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{cm}^2} \right]}{\left[ \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]} = \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right]$$

donde:  $\left[ \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right] = [\text{Poise}]$  en honor a Poiseuille.

Un “Poise” es la viscosidad absoluta de un fluido en el cual la fuerza de 1 [dina], actuando sobre una capa de 1 [cm<sup>2</sup>] de superficie, imprime a esta capa una velocidad de desplazamiento de 1 [cm/s], con relación a otra capa paralela de la misma dimensión, situada a 1 [cm] de distancia.

Dado que la mayoría de los fluidos tienen una baja viscosidad, el centipoise, equivalente a: 1 [centiPoise] = 0.01 [Poise], resulta una unidad más conveniente. Además, la viscosidad del agua a 20 [°C] es casi exactamente igual a 1 [ctP].

Si relacionamos la viscosidad absoluta con la densidad de un fluido obtenemos la viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{16}$$

definida de esta manera porque no involucra fuerza sino sólo longitud y tiempo en su ecuación, cuyas unidades en el sistema CGS son:

$$\nu \equiv \frac{\left[ \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right]}{\left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]} = \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] = \text{Stoke, en homenaje a Stokes.}$$

El centiStoke es a menudo una unidad más conveniente, equivaliendo:

$$1 [\text{ctSk}] = 0,01 [\text{Sk}]$$

En la **Tabla N° 7** se dan los valores de  $\nu$  para algunos líquidos y en la **N°8**, los de la viscosidad dinámica y cinemática de gases a 1,01325 bar y 0°C.



**Tabla N° 7: Viscosidad cinemática de líquidos industriales**

Líquido	t [°C]	$\nu \cdot 10^{-4}$ [m <sup>2</sup> /s]
Gasolina	18	0,0065
Agua dulce	20	0,0101
Alcohol anhidro	18	0,0133
Hg	20	0,0157
Petróleo ligero	18	0,25
Petróleo pesado	18	1,4
Aceite lubricante	20	1,72

**Tabla N° 8: Viscosidad dinámica y cinemática de gases a 1,01325 bar y 0°C.**

Gas	$\mu \cdot 10^{-6}$ [Nt.s/m <sup>2</sup> ]	$\nu \cdot 10^{-6}$ [m <sup>2</sup> /s]
H <sub>2</sub>	8,50	94,6
Aire seco	17,16	13,3
O <sub>2</sub>	19,26	13,5
He	18,76	104,8
NH <sub>3</sub>	9,05	11,8
N <sub>2</sub>	16,65	13,5
CO <sub>2</sub>	13,66	6,9
SO <sub>2</sub>	11,68	4,0

**Unidades no convencionales de  $\nu$ :**

En la práctica se utilizan frecuentemente, unidades empíricas de la viscosidad, que no se expresan en función de las unidades fundamentales.

Las principales son:

Grados Engler: °E, de uso en Europa.

Segundos Saybolt Universal: SSU y Segundos Saybolt Furol: SSF, de uso en E.E.U.U.

Segundos Redwood Standar: SRS y Segundos Redwood Admiralty: SRA, de uso en Inglaterra.

Los grados Engler se definen como:

$$\text{°E} = \frac{\text{tiempo de escurrimiento de } 200 \text{ cm}^3 \text{ del líquido a la temperatura } t}{\text{tiempo de escurrimiento de } 200 \text{ cm}^3 \text{ de agua a } 20^{\circ}\text{C}} \quad (17)$$

Para la determinación de los tiempos involucrados en la ecuación, se hace uso del viscosímetro de Engler, Fig. N° 14, el cual consta, a grandes rasgos, de un recipiente cilíndrico de latón de 106 [mm] de  $\Phi_{\text{int}}$  y de fondo



esférico, que desagua por un tubo de 2,9 [mm] de  $\Phi$  y 200 [mm] de longitud que se cierra mediante un obturador. Todas las dimensiones del viscosímetro están normalizadas.

El recipiente se llena del líquido cuya viscosidad se quiere medir y se mantiene a temperatura constante en baño María. A continuación se levanta el obturador y se mide con un cronómetro el tiempo necesario para evacuar 200 [cm<sup>3</sup>] de líquido.

El tiempo de escurrimiento del agua en el viscosímetro de Engler constituye la constante del aparato y oscila entre 51 [s] a 52 [s], lo que significa que, si un líquido fluye en 104 [s], posee aproximadamente una viscosidad cinemática relativa de 2°E.

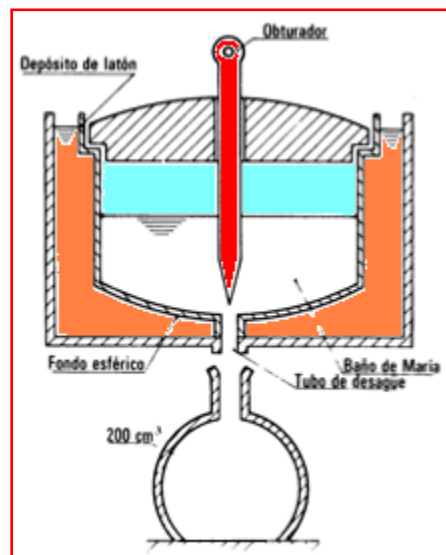


Fig. N° 14: Esquema de un viscosímetro para la determinación de la viscosidad cinemática en °E

En los otros casos, SSU, SSF, SRS Y SRA, el valor de la viscosidad se obtiene midiendo únicamente el tiempo de escurrimiento del líquido y la viscosidad resulta medida en segundos.

En el caso de los viscosímetros Saybolt, utilizados en la industria del petróleo, en los Saybolt Universal, el  $\Phi_{orif} \cong 1,7$  [mm] y los Saybolt Furol (para los aceites muy pesados), poseen un  $\Phi_{orif} \cong 3$  [mm] y en ambos casos, el volumen del líquido es de 60 [cm<sup>3</sup>].

En los viscosímetros Redwood Standar,  $\Phi_{orif} \cong 3,8$  [mm] y en los Redwood Admiralty,  $\Phi_{orif} \cong 1,6$  [mm] y el volumen del líquido en cuestión de 50 [cm<sup>3</sup>].

Las relaciones de conversión de una a otra de estas unidades a unidades convencionales de la viscosidad cinemática, dependen de la temperatura del líquido a ensayar, sin embargo para los fines prácticos se han





confeccionado tablas independientes de la temperatura.

A continuación se reproduce una tabla de conversión de unidades.

**Tabla N° 9: Conversión de unidades de viscosidad**

Centistokes cStokes mm <sup>2</sup> /S	°Engler °E	Saybolt Universal Segundo SSU	Redwood Segundos n.1 SRW n. 1	Centistokes cStokes mm <sup>2</sup> /S	°Engler °E	Saybolt Universal Segundo SSU	Redwood Segundos n.1 SRW n. 1
1	1	-	-	115	15	525	465
12	2	65	55	150	20	685	610
22	3	100	90	200	26	910	810
30	4	140	120	300	39	1385	1215
38	5	175	155	400	53	1820	1620
45	6	210	185	500	66	2275	2025
60	8	275	245	750	97	3365	2995
75	10	345	305	1500	197	6820	6075
90	12	415	370	-	-	-	-

Para comparar lubricantes, en cuanto a su viscosidad se refiere, no se puede utilizar esta clase de relaciones prácticas y se torna necesario recurrir al análisis de la curva viscosidad-temperatura de cada uno de ellos; esto es así debido a que la temperatura influye notablemente en los valores de la viscosidad de un aceite, disminuyendo rápidamente con el aumento de la temperatura hasta el **punto de inflamación** (cuando el estado del lubricante se hacen inflamable) e inversamente, a muy bajas temperaturas la viscosidad crece a tal punto que debajo de cierta temperatura, el lubricante cesa de escurrir, alcanzando el **punto de congelación**.

Un procedimiento más expeditivo para la comparación de lubricantes y aceites utilizados en las transmisiones oleohidráulicas se basa en cotejar el llamado “índice de viscosidad” (I V) que caracteriza el efecto de las variaciones de temperatura sobre el cambio de viscosidad de un fluido. Un fluido tiene un alto I V si su viscosidad varía poco con la temperatura.

Se ha convenido en asignar a aceites parafínicos un I V = 100 y a aceites nafténicos un I V = 0 (Fig. n° 15).

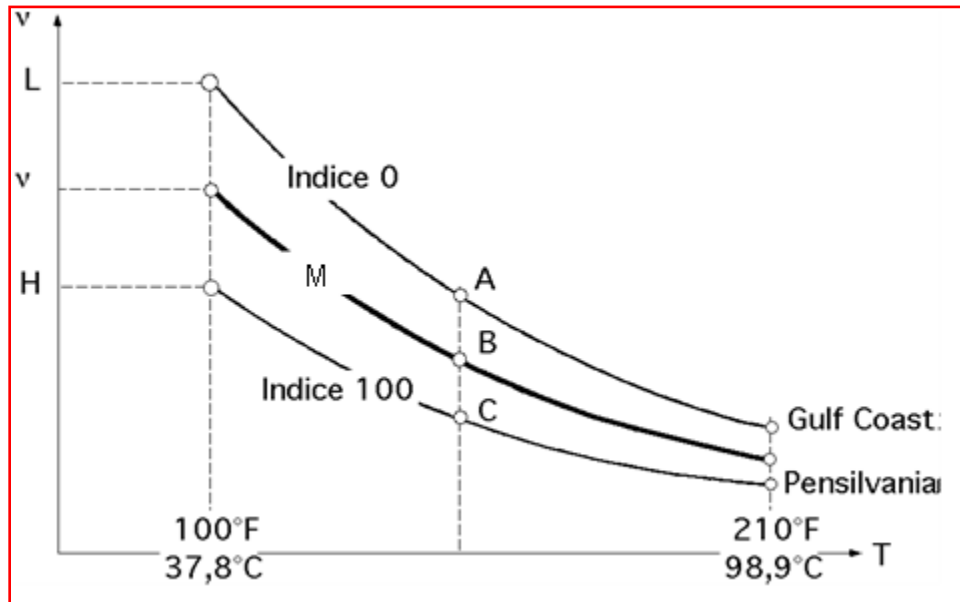


Fig. N° 15: Índice de viscosidad

Así, por ejemplo, un lubricante cualquiera (curva M), posee un I V, para una determinada temperatura (que generalmente se toma a 38 °C), que se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$I V = \frac{AB}{AC} \cdot 100 = \frac{L - v}{L - H} \cdot 100 \quad (18)$$

Cabe destacar que existen lubricantes que tienen un I V > 100 y otros con un I V < 0.

La relación anterior indica que la línea MB tiende hacia la horizontal a medida que AB tiende a valer AC, en cuyo caso el aceite mantiene su viscosidad a cualquier temperatura intermedia. En cambio, si AB disminuye, la variación de viscosidad aumenta.

En el comercio, la viscosidad de los aceites se expresa mediante el número SAE, establecido por la Society of Automotive Engineer de USA, con dos graduaciones:

- 1.- En base a la viscosidad a  $\sim 99$  [°C], ej: SAE 20, 30, 40, 50.
- 2.- En base a la viscosidad a  $\sim -18$  [°C], denominada graduación invernal y caracterizada por la letra W, ej.: SAE 5W, 10W, 20W.

En la Tabla N°9, se dan las correspondencias entre N° SAE y valores de la viscosidad de los aceites.

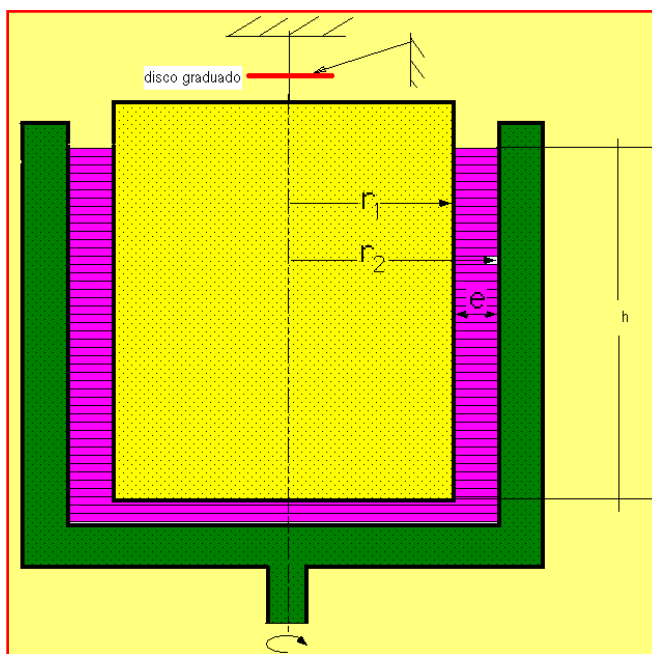
**Tabla N°9: N° SAE para aceites a 50 [° C]**

N° SAE	10	20	30	40	50	60
°E	3 a 5	5 a 7	7 a 9	9 a 12	12 a 17	17 a 19
ctP ~	160 a 220	230 a 330	360 a 430			

Puede darse el caso de aceites que cumplan simultáneamente con las especificaciones correspondientes a dos o más grados de viscosidad SAE. Así, por ejemplo, si un aceite tiene una viscosidad de 12 [SSU] a - 18 [°C], es un aceite de especificación SAE 10W y si su viscosidad a 99 [°C] es de 65 [SSU] cumplirá también con la especificación del aceite SAE 30. Es, por lo tanto, un aceite SAE 10W-30. Estos aceites han sido denominados **aceites multigrados**, se formulan para minimizar las variaciones de la viscosidad con la temperatura, para ello, se emplean mejoradores del I V de alto polímero en estos aceites. Tales aditivos son altamente No-Newtonianos y pueden sufrir una pérdida permanente de viscosidad debido al deslizamiento.

Para la determinación del valor de la viscosidad absoluta o dinámica  $\mu$  de un líquido se emplea el **Método de los cilindros coaxiales**.

El instrumento (Fig. N° 16) consta de dos cilindros, uno de los cuales (el interior) es de un diámetro ligeramente menor que el otro (el exterior) y se encuentra suspendido de su eje por un hilo de torsión o un resorte previamente calibrado; adosado a él, se encuentra un disco graduado. Entre ambos, es decir en el intersticio que separa los cilindros se coloca el líquido cuya viscosidad se desea medir.



**Fig. N° 16: Instrumento para medir la viscosidad dinámica de líquidos**



El cilindro exterior gira con  $n$  [rpm] y en el arranque es:

velocidad tangencial:  $v = \omega \cdot r = \omega \cdot \frac{d_2}{2}$  ; siendo:  $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$  ;

resulta:  $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \frac{d_2}{2}$

la variación de la velocidad en el intersticio es:  $\Delta v = v - 0 = v = \frac{\pi \cdot n}{60} \cdot d_2$

Luego el cilindro exterior comunica su movimiento al cilindro interior (a través del líquido) el cual torsiona el hilo o el resorte hasta que el  $M_{t\text{resorte}}$  iguala al  $M_t$  desarrollado por las fuerzas debidas a la viscosidad, que actúan en la pared exterior del cilindro interior.

Por la ecuación de viscosidad de Newton:

$$\tau = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y} = \frac{F}{A} ; \text{ también: } \tau = \frac{M_t}{r_1 \cdot A} = \frac{M_t}{d_1/2 \cdot A} ; \text{ con } \Delta y = \frac{d_2 - d_1}{2} ;$$

obtenemos:

$$\mu = \frac{\Delta y \cdot M_t}{\Delta v \cdot \frac{d_1}{2} \cdot A} = \frac{\frac{d_2 - d_1}{2} \cdot M_t}{\left(\frac{\pi \cdot n}{60} \cdot d_2\right) \cdot \frac{d_1}{2} \cdot (\pi \cdot d_1 \cdot h)} = \frac{d_2 - d_1}{\pi^2 \cdot \frac{d_2 \cdot d_1^2}{60}} \cdot \frac{M_t}{n} \Rightarrow \mu = K \cdot \frac{M_t}{n} \quad (19)$$

donde:  $K = \frac{d_2 - d_1}{\pi^2 \cdot \frac{d_2 \cdot d_1^2}{60}} \cdot h$  es la constante del instrumento.

El valor de  $M_t$  se mide en el disco giratorio graduado cuando se cumple la condición que el cilindro interior se frena.

Cabe destacar que estos experimentos son de laboratorio.

## 10) Solubilidad:

Se denomina disoluciones a las mezclas homogéneas de dos o más sustancias. La sustancia presente en mayor cantidad se denomina disolvente y a la de menor cantidad se le llama soluto y es la sustancia disuelta.

La solubilidad es la capacidad que tiene una sustancia para disolverse en otra. La solubilidad de un soluto es la cantidad de éste.

Tipos de disoluciones de los fluidos:

Disolvente	Soluto	Ejemplo
Líquido	Líquido	Vinagre (ácido ascético en agua)
	Gas	Gaseosas
Gas	Líquido	Aire húmedo
	Gas	Aire, gas natural (propano y butano)



**Efecto de la temperatura y la presión en la solubilidad de los gases en los líquidos:**

Los gases disueltos en líquidos se comportan de manera inversa a como lo hacen los sólidos, disminuyendo su solubilidad a medida que se incrementa la temperatura. Los gases disueltos en agua potable ( $O_2$ ,  $Cl$  y  $N_2$ ), los que a presión y temperatura ordinarias pueden encontrarse en un 2 % del volumen, son las pequeñas burbujas que aparecen cuando el líquido se calienta y aún no llega al punto de ebullición. Cuando el agua hierve queda totalmente desgasificada, por lo cual su sabor es distinto del que posee el agua sin hervir, por ello se recomienda airear esta agua antes de beberla.

Con respecto a la influencia de la presión, si bien los cambios de presión no modifican la solubilidad de un sólido en un líquido (si un sólido es insoluble en agua, no se disolverá aunque se aumente bruscamente la presión ejercida sobre él).

En cambio la solubilidad de los gases es directamente proporcional a la presión.

La solubilidad del aire en el agua tiene particular importancia en el escurrimiento de este líquido en tuberías, pues el desprendimiento de aire disuelto, sea por aumento de la temperatura o por disminución de la presión, origina perturbaciones e inestabilidad en el flujo.

Como la solubilidad del  $O_2$  es casi el doble que la del  $N_2$ , si la presión disminuye, la mezcla de gas desprendida contiene mayor cantidad de  $O_2$ , es decir, posee **oxígeno naciente**. Este **oxígeno naciente** es altamente corrosivo para las paredes interiores de las tuberías metálicas y además contribuye a la formación de las burbujas que provocan la erosión por cavitación en las máquinas hidráulicas.