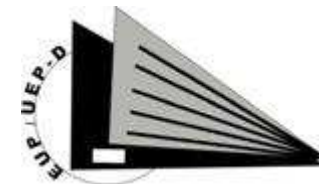
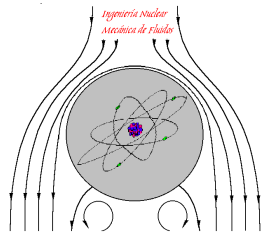


eman ta zabal zazu

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.



## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **DEFINICIÓN DE FLUIDO. SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS.**

El material sólo puede presentarse en dos estados, sólido o fluido. La distinción se hace en función de la reacción de las sustancias frente al esfuerzo cortante. Un sólido puede resistir un esfuerzo cortante con una deformación estática; un fluido no.

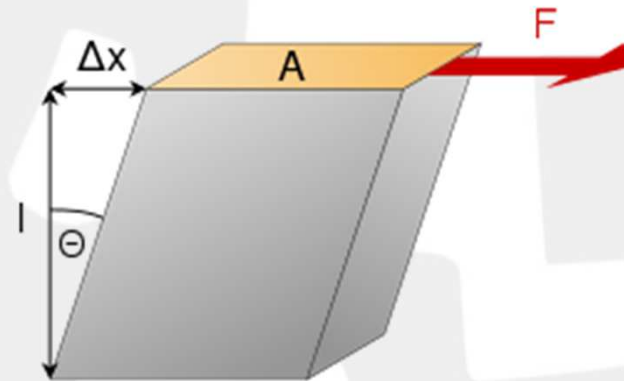


Fig. 2.1 Deformación estática en un sólido

Si se aplica una fuerza cortante sobre un sólido y sobre un fluido, en ambos casos el esfuerzo cortante será  $\tau = F/A$ , siendo  $A$  la superficie de contacto. El sólido se deformará un ángulo  $\theta$  y soportará el esfuerzo al que se ve sometido. En el fluido, el esfuerzo causará que la placa superior se mueva con velocidad uniforme ( $v \neq 0$ ), sin que importe lo pequeña que sea. Mientras se ejerza la fuerza, la deformación continuará.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **DEFINICIÓN DE FLUIDO. SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS.**

El sólido adquiere una deformación estática, resistiendo esfuerzos cortantes sin fluir. Contrariamente, el fluido en reposo necesita paredes para eliminar el esfuerzo cortante. Si se quitan las paredes, se crea un esfuerzo cortante y el fluido se derramará o se expandirá.

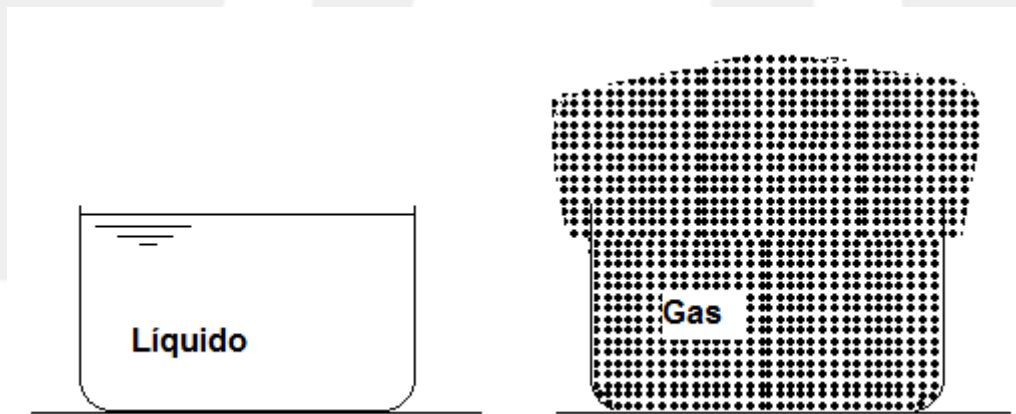


Fig. 2.2 Comportamiento de un líquido y un gas

Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

***DEFINICIÓN DE FLUIDO. SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS.***

El parámetro que diferencia los líquidos y los gases es la distancia intermolecular:

- Un líquido está compuesto por agrupaciones de moléculas muy cercanas, lo que hace que se produzcan enormes fuerzas de cohesión, con lo que tiende a conservar su volumen y, en el caso en que se encuentre en un recipiente no limitado por la parte superior, en un campo gravitatorio formará una superficie libre. Dada la cercanía entre moléculas, los líquidos resultan prácticamente incompresibles.
- En el caso del gas las moléculas se encuentran muy separadas, con fuerzas cohesivas despreciables, por lo que un gas es libre de expandirse hasta que encuentre las paredes que lo confinan. Dada esta dispersión molecular los gases resultan compresibles.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### ***EL FLUIDO COMO MEDIO CONTINUO.***

Al tratar el flujo de los fluidos matemáticamente, se necesita considerar que la estructura molecular original se reemplaza por un medio hipotético llamado medio continuo, lo cual significa que puede emplearse el cálculo diferencial en su análisis.

Si se considera, la velocidad en un punto del fluido, será cero todo el tiempo excepto cuando una molécula ocupa ese punto; entonces será la velocidad de la molécula. Este dilema se evita si se considera la velocidad en un punto como el promedio de la velocidad de masa de todas las moléculas que rodean el punto, por ejemplo, dentro de una pequeña esfera con radio grande comparado con la distancia media entre moléculas.

Deberá usarse la teoría molecular para calcular las propiedades del fluido que estén asociadas con movimientos moleculares (viscosidad). La densidad, volumen específico, presión, velocidad y aceleración se supone que varían continuamente en todo el fluido (o que son constantes).

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

La **viscosidad** se puede definir como la propiedad de un fluido por la cual éste ofrece resistencia al cambio de forma por la acción de fuerzas exteriores ó la propiedad del fluido por la cual éste ofrece resistencia a los esfuerzos cortantes.

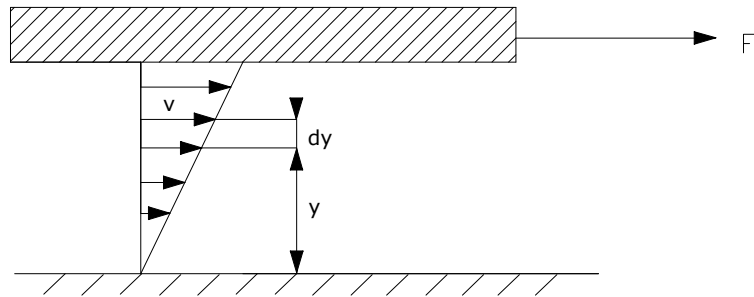


Fig. 2.3 Gradiente vertical de velocidades en un líquido

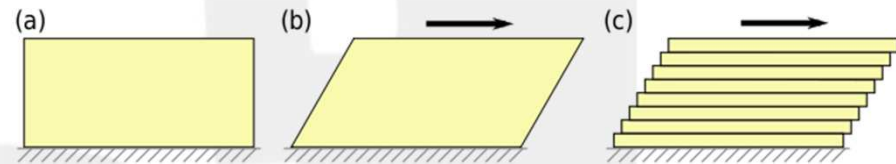


Fig. 2.4 Deformación en un líquido

Al ser la velocidad de las partículas fluidas en contacto directo con superficies sólidas igual a la velocidad de dichos contornos sólidos, tendremos una velocidad  $v$  igual a la de la placa superior en los puntos en contacto con dicha placa y una velocidad nula en los puntos en contacto con la placa inferior fija, es decir, aparecerá un gradiente de velocidad que será proporcional al esfuerzo al que sometemos al fluido.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

Según postula la ley de Newton de la viscosidad, ese factor de proporción es precisamente la **viscosidad dinámica**,  $\mu$ . Como consecuencia la expresión de la ley de Newton de la viscosidad será:

$$\tau = \mu \cdot \text{grad } v = F/A$$

A los fluidos que cumplen la ley de Newton de la viscosidad se les denomina *fluidos newtonianos*.

#### Unidades:

Sistema Internacional: 1 Poiseuille (Pl) = 1 Pa·s

Sistema Cegesimal: 1 Poise (Po) = 0,1 Pl

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

Todo fluido que no cumpla la ley de Newton de la viscosidad, se denomina fluido no-newtoniano. La ciencia que estudia el comportamiento de estos fluidos es la *reología* y se representa la respuesta de dichos fluidos frente a esfuerzos externos mediante el diagrama reológico.

Los fluidos no-newtonianos se pueden clasificar en tres grupos:

- Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo (Plásticos de Bingham, Fluidos pseudoplásticos, Fluidos dilatantes).
- Fluidos no-newtonianos dependientes del tiempo (Fluidos tixotrópicos, fluidos reopécticos).
- Fluidos viscoelásticos.

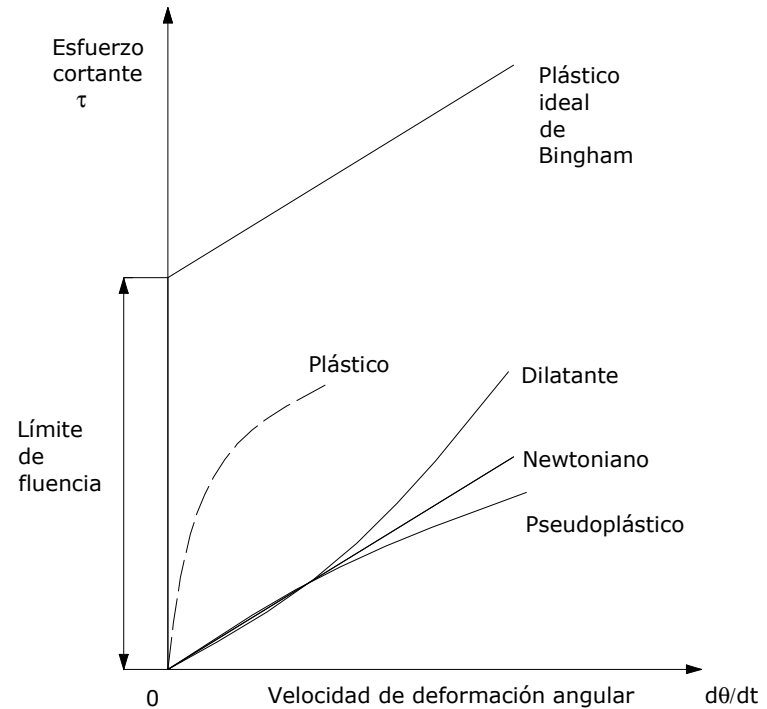


Fig. 2.5 Diagrama reológico



## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

Variación de la viscosidad con la temperatura: En los líquidos disminuye al aumentar la temperatura, mientras que en los gases aumenta con la temperatura.

$$\text{Líquidos} \longrightarrow \mu = Ae^{B/T}$$

Debido a la cercanía entre sus moléculas, la cohesión molecular es la causa preponderante de la viscosidad.

$$\text{Gases} \longrightarrow \mu_T = \mu_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \frac{1 + C/T_0}{1 + C/T}$$

En los gases, la causa preponderante de la viscosidad es la transferencia de cantidades de movimiento moleculares.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### ***VISCOSIDAD.***

*Variación de la viscosidad con la presión:* En los líquidos, la viscosidad dinámica aumenta exponencialmente con la presión. Los cambios son bastante pequeños para presiones que difieran de la presión atmosférica en alrededor de 1 bar. Por tanto, el efecto de la presión es ignorado.

Hay situaciones, sin embargo, en las que no se puede ignorar el efecto de la presión. Por ejemplo, la industria del petróleo requiere medidas de la viscosidad de los lubricantes y de los fluidos de perforación a presiones elevadas.

En los gases, para una temperatura dada, la viscosidad es independiente de la densidad y, por tanto, de la presión.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### ***VISCOSIDAD.***

Una medida de viscosidad muy utilizada cuando existen flujos es la viscosidad cinemática que es la razón entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido:

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

#### Unidades:

Sistema Internacional: 1 m<sup>2</sup>/s

Sistema Cegesimal: 1 cm<sup>2</sup>/s = 1 stoke (St)

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

En muchas aplicaciones industriales es suficiente determinar la viscosidad relativa, también llamada **viscosidad empírica**, que es la viscosidad del líquido objeto de ensayo medida comparativamente a la de un líquido patrón, que frecuentemente es el agua, realizándose la comparación en condiciones perfectamente definidas de temperatura constante. Algunos de los viscosímetros más utilizados son:

- Engler.
- Saybolt.
- Redwood.

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **VISCOSIDAD.**

Índice de viscosidad: El índice de viscosidad es una característica que permite definir en forma cuantitativa la variación de la viscosidad con la temperatura.

Para definirlo, se toman una serie de aceites patrón parafínicos, en los cuales la viscosidad varía muy poco con la temperatura, índice 100. Así mismo, se toman otra serie de aceites patrón nafténicos, en los que la viscosidad tiene una gran variación con la temperatura, índice 0.

Se toma un aceite de índice 100 y otro de índice 0 que tengan a 210 °F (98,8 °C) la misma viscosidad que el aceite a ensayar. Se comparan seguidamente las viscosidades a 100 °F (37,7 °C) de los aceites patrón y del aceite a ensayar. Siendo  $S_0$  la viscosidad del aceite de índice 0,  $S_{100}$  la viscosidad del aceite de índice 100 y  $S$  la viscosidad del aceite a ensayar (todas ellas a 100 °F), el índice de viscosidad de éste se define por la expresión:

Índice de viscosidad=

$$100 \frac{S_0 - S}{S_0 - S_{100}}$$

Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.  
***ELASTICIDAD Y MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICO.  
COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD CÚBICO.***

En la mayoría de los casos, un líquido se puede considerar incompresible, pero para situaciones en las que se producen cambios repentinos o grandes de presión, su compresibilidad es importante.

Si llamamos  $V$  al volumen inicial de una masa fluida sobre cuya superficie límite existe una presión  $P$  y dicha presión experimenta un incremento  $dP$ , se producirá una disminución de volumen  $-dV$ . La deformación volumétrica unitaria es proporcional al incremento de presión  $dP$ , siendo  $\alpha$  el coeficiente de proporcionalidad al que se denomina **coeficiente de compresibilidad cúbica**.

$$\frac{dV}{V} = -\alpha \cdot dP$$

Normalmente se trabaja con el inverso del coeficiente de compresibilidad cúbica, denominado **Módulo de Elasticidad Volumétrico**,  $E$ .

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{-dP}{dV/V}$$

Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.  
***ELASTICIDAD Y MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICO.  
COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD CÚBICO.***

En gases ideales:

*Proceso Isotermo* →  $E=P$

*Proceso Adiabático* →  $E=k \cdot P$

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **TENSIÓN SUPERFICIAL. CAPILARIDAD.**

Un líquido, al no ser capaz de expansionarse libremente, formará una interfase con un segundo líquido (inmiscible) o un gas.

Si se analiza la superficie libre de un líquido (contacto líquido/aire), en el interior del líquido una molécula es atraída por igual en todas las direcciones por las moléculas que le rodean, pero en la superficie libre, las atracciones entre las moléculas de aire y del líquido no están equilibradas.

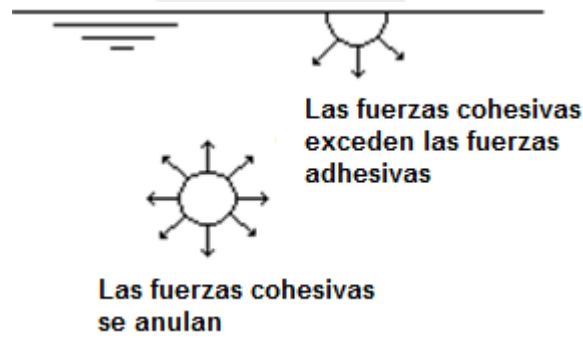


Fig. 2.6 Fuerzas sobre las moléculas del líquido

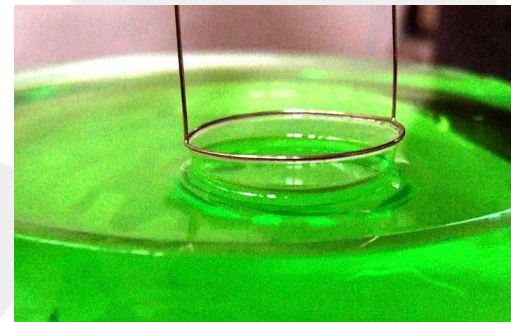


Fig. 2.7 Visualización de los efectos de la tensión superficial

La superficie del líquido se comporta como si fuera una membrana elástica bajo tensión. La tensión superficial es la fuerza necesaria para mantener la unidad de longitud de membrana en equilibrio. Varía únicamente con la temperatura.



## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **TENSIÓN SUPERFICIAL. CAPILARIDAD.**

La atracción capilar es causada por la tensión superficial y por el valor relativo de la adhesión entre líquido y sólido a la cohesión del líquido. Por la acción de la tensión superficial el líquido asciende (o desciende) dentro de un tubo vertical que se sumerge parcialmente en él. La comparación de las fuerzas de cohesión del líquido con las de adhesión del líquido al sólido produce dos situaciones diferentes:

a)  $F_{\text{adhesión líquido /sólido}} > F_{\text{cohesión líquido}}$

El líquido moja al sólido, el nivel interno es superior al externo, y la superficie interna es cóncava, se forma el menisco de elevación. Ejemplo: agua y vidrio.

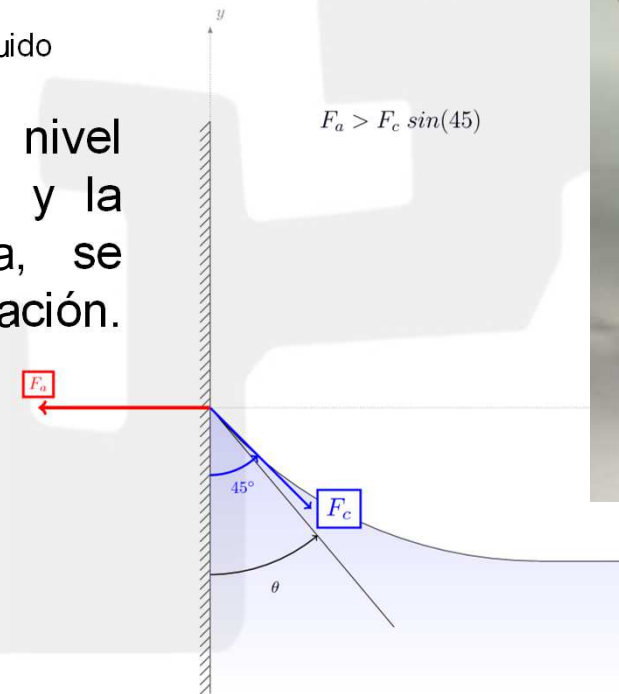


Fig. 2.8 Diagrama de fuerzas para el caso a)



Fig. 2.9 Ascenso capilar

Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.  
**TENSIÓN SUPERFICIAL. CAPILARIDAD.**

b)  $F_{\text{adhesión líquido /sólido}} < F_{\text{cohesión líquido}}$

El líquido no moja, la superficie libre es convexa y el menisco formado es de depresión. Ejemplo: Mercurio y vidrio.

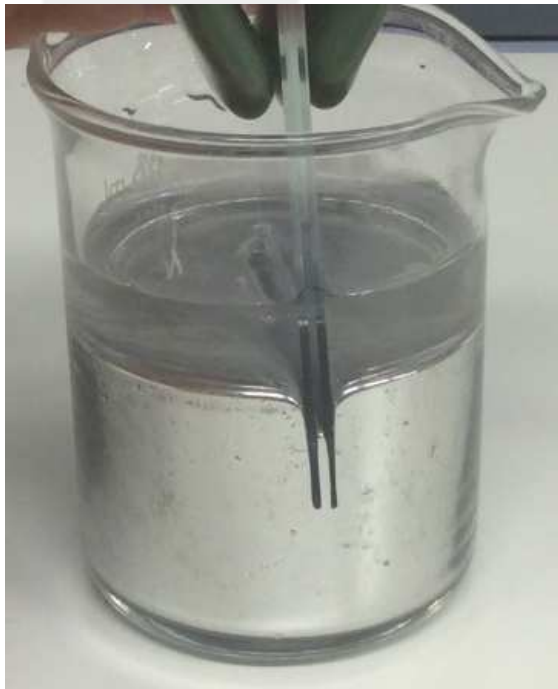


Fig. 2.10 Descenso capilar

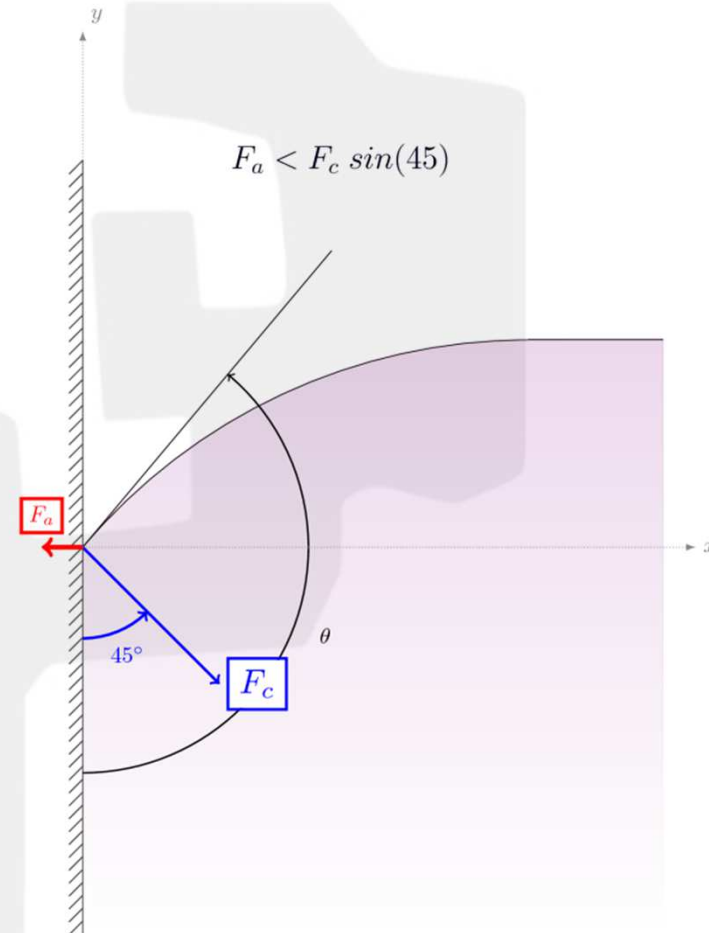


Fig. 2.11 Diagrama de fuerzas para el caso b)

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **TENSIÓN SUPERFICIAL. CAPILARIDAD.**

Se obtiene a continuación una expresión para el ascenso capilar  $h$  en un tubo circular de radio  $R$ , de un líquido con tensión superficial  $\sigma$  y ángulo de contacto  $\theta$ , como se muestra en la figura.

La componente vertical de la fuerza de tensión superficial debe equilibrar el peso de la columna de líquido de altura  $h$ .

$$2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma \cdot \cos \theta = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h \Rightarrow h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot R}$$

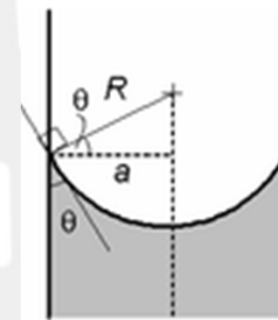


Fig. 2.12 Ascenso capilar

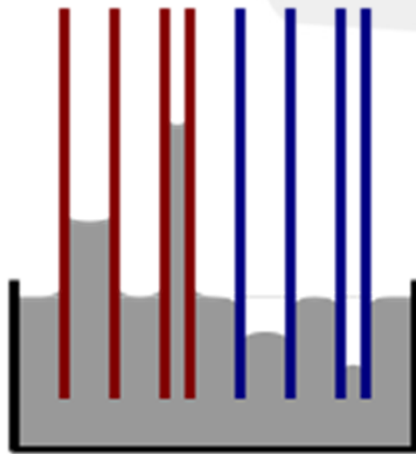


Fig. 2.13 Ley de Jurin

En relación a dicho fenómeno, la Ley de Jurin dice: “**el producto del diámetro por la altura de ascenso o descenso en un tubo capilar es constante para una pareja de líquido y sólido en contacto y a una determinada temperatura**”.

$$h \cdot d = \text{cte}$$

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### **TENSIÓN DE VAPOR.**

Los líquidos se evaporan debido a que las moléculas se escapan de la superficie del líquido. Las moléculas de vapor ejercen una presión parcial en el espacio conocida como presión de vapor. Si el espacio por encima de la superficie libre del líquido es limitado (recipiente cerrado), después de un tiempo suficiente el número de moléculas de vapor que golpean la superficie del líquido y se condensan es justamente igual al número que se escapa en cualquier intervalo de tiempo, dándose así el equilibrio. Ya que este fenómeno depende de la actividad molecular, que es función de la temperatura, la presión de vapor de un fluido dado depende de la temperatura y aumenta con ella.

Cuando la presión por encima de un líquido es igual a la presión de vapor del líquido ocurre la ebullición.

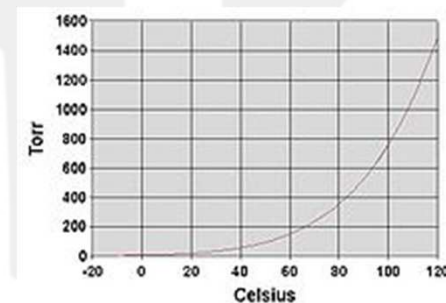


Fig. 2.14 Evolución de la presión de vapor con la temperatura

## Tema 2: Propiedades físicas de los fluidos. Definiciones.

### ***TENSIÓN DE VAPOR.***

En muchas situaciones, es posible que se produzcan presiones muy bajas en ciertos puntos del sistema. En tales circunstancias las presiones pueden ser iguales a la presión de vapor, o menores y el líquido se evapora rápidamente.

Es el fenómeno de la **cavitación**. Se forma una bolsa o cavidad de vapor en rápida expansión, que generalmente es barrida lejos de su punto de origen y penetra regiones donde la presión es mayor que la presión de vapor, la cavidad se desploma. Este fenómeno afecta a conducciones y máquinas hidráulicas.