

Mecánica de Fluidos

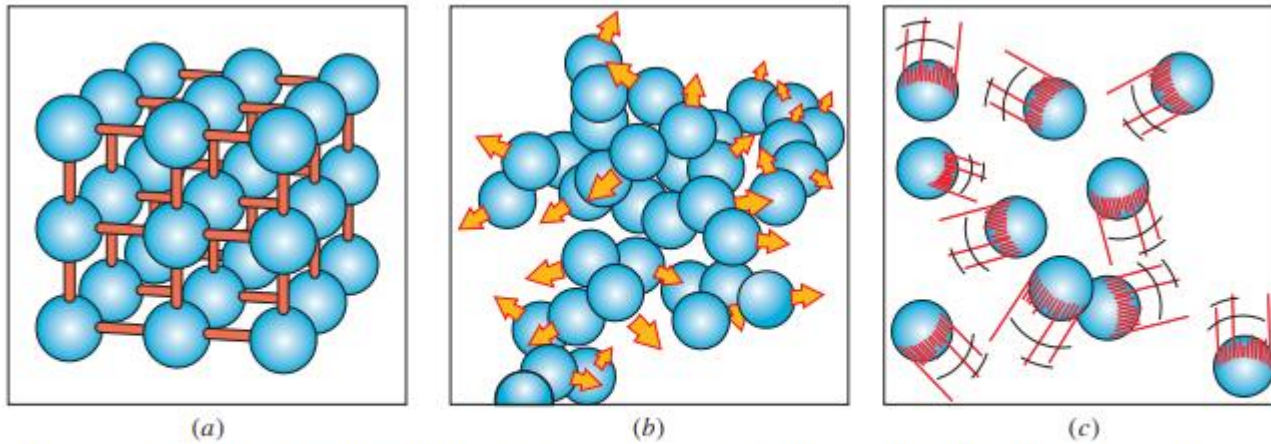
Clase 2

Propiedades de los fluidos

IC. MSc PhD Julián David Rojo H.

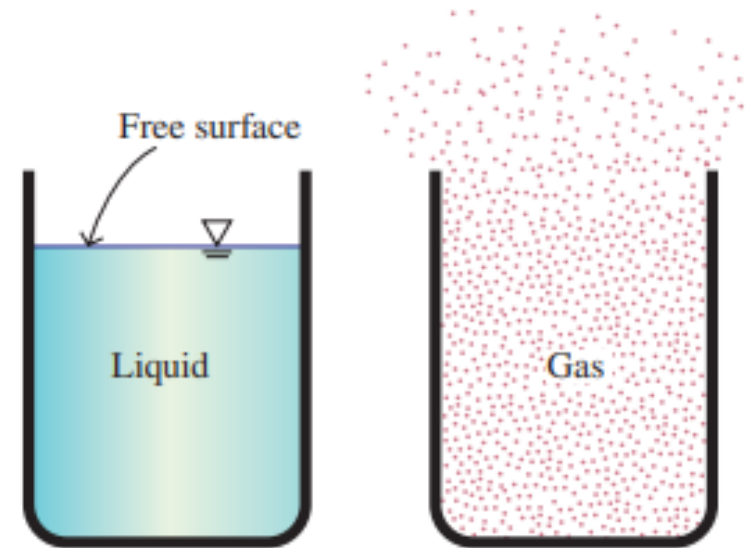
Fluidos

- En un sentido amplio son sustancias que: **Se deforman con facilidad**, **carecen de forma propia**, **asumen la forma de los recipientes que la contienen**.



The arrangement of atoms in different phases: (a) molecules are at relatively fixed positions in a solid, (b) groups of molecules move about each other in the liquid phase, and (c) individual molecules move about at random in the gas phase.

Un sólido en cambio no se deforma con facilidad dado que las fuerzas de ligadura mantienen las moléculas en posiciones fijas.



Los líquidos generan una superficie libre.

Los gases se expanden y llenan todo el recipiente

Características moleculares de los fluidos.

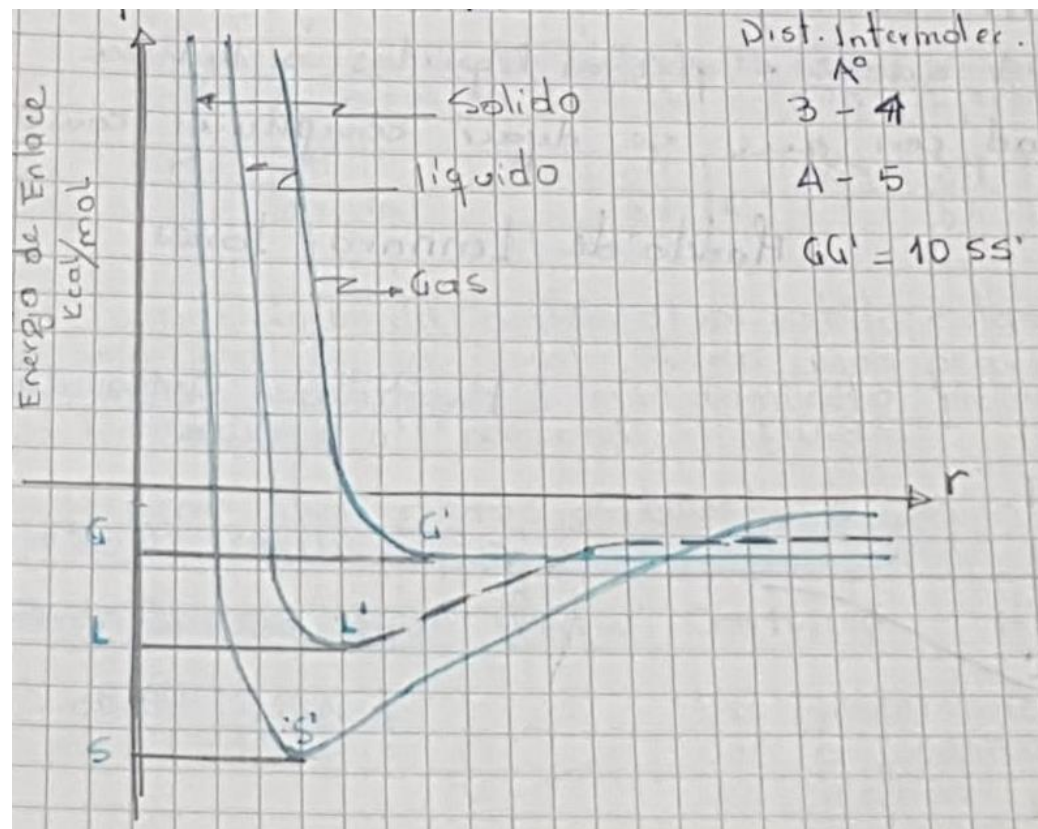
Eje vertical corresponde a la **energía de interacción** (realmente corresponde a la energía para romper la interacción).

Eje horizontal: distancia de **separación entre átomos (r)**:

Imagine dos átomos en el infinito y los comienza a acercar.

En la medida que los átomos se acercan la energía de interacción se vuelve más negativa, hasta alcanzar un valor mínimo (punto de inflexión) conocido como **energía de enlace** donde se forma una molécula estable.

Entre más negativo sea el punto de inflexión mas fuerte es el enlace entre moléculas (se requiere más energía para romper los enlaces).



El gráfico permite analizar las diferencias entre sólidos, líquidos y gases a partir de la energía de los enlaces y la separación de las moléculas.

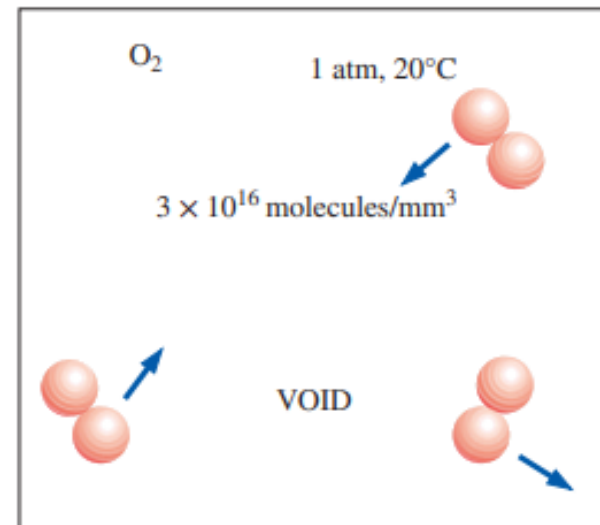
Fluidos como medios Continuos

Los fluidos son un medio **natural-continuo-deformable** y sin rigidez.

- En la fase gaseosa la materia está conformada por átomos espaciados con amplitud.
- Sin embargo conviene descartar la naturaleza atómica y verla como una sustancia *continua*, homogénea y sin agujeros. Es decir, un **medio continuo**.

Condición: El concepto del **continuo** es aplicable *cuando la distancia promedio de trayectoria de las moléculas en sus colisiones (λ) (trayectoria libre media de las moléculas), sea mucho menor que la longitud significativa más pequeña del problema (L).*

Número de Knudsen $K_n = \frac{\lambda}{L}$ Menor a 0.01 se puede considerar un continuo



Oxigeno

Diámetro: 3E-10 m
Masa: 5.3E-26 kg
Recorrido: 6.3E-8 m

Implicaciones del medio continuo

Continuidad en la masa: Existirá un contacto no interrumpido de partículas.

Continuidad en la variación de las magnitudes características:

- Las magnitudes se definen en todos los puntos del medio.
- Las magnitudes son derivables en todos los puntos del medio
- La variación de las magnitudes en la vecindad de un punto A sigue la ley de cálculo diferencial

$$\Delta M = \frac{\partial M}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial M}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial M}{\partial z} \Delta z + \frac{\partial M}{\partial t} \Delta t$$

Magnitudes en los medios continuos

Dependiendo del movimiento de las moléculas dentro de un volumen dado la masa puede variar en el espacio y en el tiempo pues existirán aglomeraciones o vaciamientos de masa molecular.

Por ello, para acercarse al concepto del continuo se tiene en cuenta el **concepto de propiedades intensivas** las cuales son definidas dentro de un volumen óptimo en el cual dichas magnitudes son estables.

$$Mag = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V^*} \frac{\delta M}{\delta V}$$

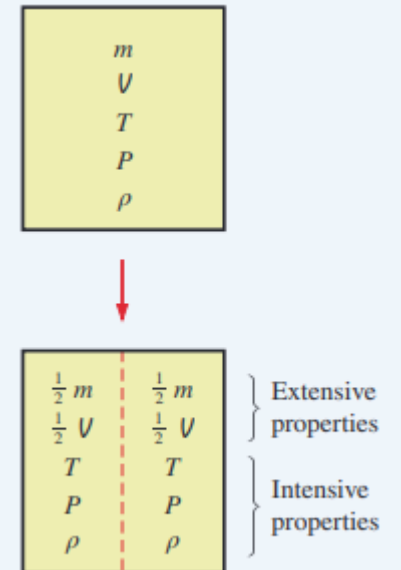
Donde *Mag*: es una propiedad intensiva, δV^* es el volumen óptimo, *M* es una propiedad del sistema.

Propiedades Intensivas: Aquellas que son independientes de la masa del sistema.

Propiedades extensivas: Que dependen del tamaño (masa) del sistema.

Propiedades específicas: Propiedades extensivas por unidad de masa.

Para diferenciar las propiedades extensivas de las intensivas divídalas imaginariamente en dos partes. ¿Se conserva el valor?



Propiedades físicas de los fluidos

- Densidad y gravedad específica.
- Inercia, Masa, Peso y Peso específico.
- Ley de Gases Ideales.
- Presión de vapor.
- Compresibilidad
- Tensión superficial y capilaridad
- Viscosidad

Densidad y gravedad específica.

- **Densidad:** Masa por unidad de volumen:

$$\rho = \frac{\partial m}{\partial V} = \frac{m}{V}$$

La densidad de una sustancia suele depender de la temperatura y la presión (especialmente en los gases).

- **Gravedad específica o densidad relativa:** razón entre la densidad de una sustancia y la densidad de una sustancia estándar (por lo general agua a 4°C la cual es de 1000 kg/m³)

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_{H_2O}}$$

Substance	SG
Water	1.0
Blood (at 37°C)	1.06
Seawater	1.025
Gasoline	0.68
Ethyl alcohol	0.790
Mercury	13.6
Balsa wood	0.17
Dense oak wood	0.93
Gold	19.3
Bones	1.7–2.0
Ice (at 0°C)	0.916
Air	0.001204

Inercia, masa, peso y peso específico

- **Inercia:** Oposición del fluido a cambiar por si mismo su estado de reposo o de movimiento uniforme.

- **Masa:** Propiedad de la materia que se resiste a la aceleración:

$$m = \iiint \rho dV = \bar{\rho}V$$

- **Peso:** Para un volumen de fluido dado, corresponde a la fuerza de atracción hacia el centro de la tierra por acción de la gravedad:

$$W = mg = \bar{\rho}Vg$$

- **Peso específico:** Peso por unidad de Volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{\bar{\rho}Vg}{V} = \rho g$$

El valor de la gravedad se puede aproximar a 9.8 m/s². Para mayor precisión se puede usar la siguiente ecuación:

$$g = g_0(1 + 0.0053\sin^2\phi)(1 - 0.0000003h)$$

Donde g_0 es la gravedad en el ecuador: 9.7803 m/s² ϕ representa la latitud y h la altura sobre el nivel del mar.

Densidad de los Gases Ideales

- Cualquier ecuación que relacione la presión, la temperatura y la densidad recibe el nombre *ecuación de estado*.
- La más sencilla de las ecuaciones de estado es la *Ley de gases Ideales*.

$$PV = nRT$$

P: presión absoluta

V: Volumen de fluido

n: Número de moles

R: Cte de gases ideales: 8.314 J/molK

T: Temperatura absoluta (K)

Sea M la masa molar; entonces.

$$m = nM$$

$$\rho = \frac{nM}{V} \quad \Rightarrow \quad n = \frac{\rho V}{M}$$

$$PV = \frac{\rho V}{M} RT \quad \Rightarrow \quad P = \rho \frac{R}{M} T$$

$$R_{gas} = \frac{R}{M_{gas}}$$

$$P = \rho R_{gas} T$$

Presión de Vapor y cavitación (I)

La temperatura y la presión son propiedades dependientes para las sustancias puras durante el cambio de fase (existe una relación uno a uno):

- Para una sustancia pura, a una presión dada, la temperatura a la cual una sustancia cambia de fase se le denomina temperatura de saturación (T_{sat}).
- Igualmente, a una temperatura dada, la presión a la cual una sustancia pura cambia de fase se le denomina presión de saturación (P_{sat}).

Presión de Vapor (P_v): presión ejercida por el vapor de una sustancia en equilibrio de fase con el líquido a una temperatura dada.

Cuando se está estudiando una sustancia pura, la presión de vapor es igual a la presión de saturación.

Presión de Vapor y cavitación (II)

La **presión parcial** se define como la presión de un gas o vapor en una mezcla con otros gases.

Por ejemplo: el aire en la atmósfera es aire seco (Nitrógeno y Oxígeno) más vapor de agua (H₂O).

La presión atmosférica es la suma de la presión parcial del aire seco y del vapor de agua. La presión de vapor de agua por lo general constituye a lo sumo el 4% de la presión total.

Si la presión de un sistema está por debajo de la presión de vapor se generará **Cavitación**, esto es burbujas de vapor que crean “cavidades” en el líquido las cuales colapsan conforme son barridas por el fluido.

Presión de saturación para el agua a diferentes temperaturas

Temperature $T, ^\circ C$	Saturation Pressure P_{sat}, kPa
-10	0.260
-5	0.403
0	0.611
5	0.872
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.38
50	12.35
100	101.3 (1 atm)
150	475.8
200	1554
250	3973
300	8581

Compresibilidad

- Los fluidos suelen expandirse cuando se calientan o despresurizan, o contraerse cuando se enfrían o presurizan.
- La **compresibilidad** se refiere al cambio en el volumen de una sustancia debida a un cambio en la presión que se ejerce sobre ella.
- Dado que la masa total del fluido $m = \rho V$ siempre permanece constante:

$$dm = d(\rho V) = \rho dV + V d\rho = 0$$

Luego:

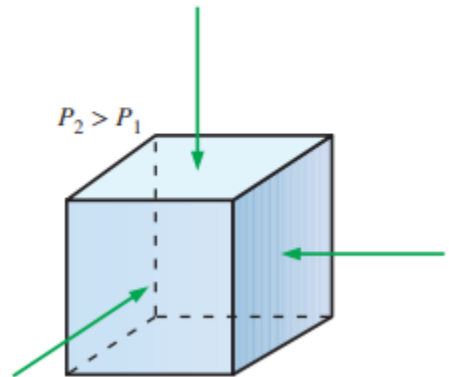
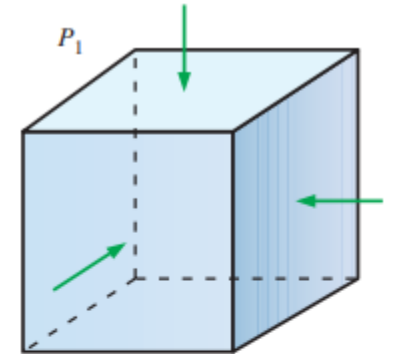
$$-\frac{V}{dV} = \frac{\rho}{d\rho}$$

Multiplicando por dP :

$$k = -\frac{dP}{dV/V} = \frac{dP}{d\rho/\rho}$$

En términos de cambios finitos:

$$k = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \frac{\Delta P}{\Delta\rho/\rho}$$



Nótese que k debe tener unidades de presión.

Coeficiente de compresibilidad

El **coeficiente de compresibilidad**, también conocido como **módulo de compresibilidad** o **módulo de elasticidad volumétrica**, se define como:

$$k = - \frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \frac{\Delta P}{\Delta \rho/\rho}$$

Valores grandes de k implican que se requieren grandes cambios de P para obtener pequeñas variaciones en el volumen. En esencia valores grandes de k se asocian a fluidos incompresibles (por ejemplo los líquidos).

Fluid	Bulk Modulus - K -
	SI Units (10^9 Pa, N/m^2)
Acetone	0.92
Benzene	1.05
Carbon Tetrachloride	1.32
Ethyl Alcohol	1.06
Gasoline	1.3
Glycerin	4.35
ISO 32 mineral oil	1.8
Kerosene	1.3
Mercury	28.5
Paraffin Oil	1.66
Petrol	1.07 - 1.49
Phosphate ester	3
SAE 30 Oil	1.5
Seawater	2.34
Sulfuric Acid	3.0
Water	2.15
Water - glycol	3.4
Water in oil emulsion	2.3

Observación: Para los gases ideales:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \rho} = \frac{dP}{d\rho} = RT = \frac{P}{\rho} \quad (T \text{ Cte}) \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = - \frac{\Delta V}{V}$$

Luego

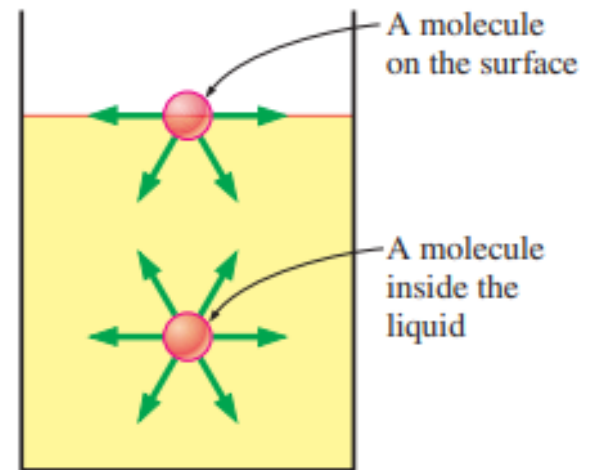
$$k = \frac{\Delta P}{\Delta \rho/\rho} = \rho \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = \rho \frac{P}{\rho} = P$$

El inverso de k se denomina **compresibilidad isotérmica**:

$$\alpha = \frac{1}{k}$$

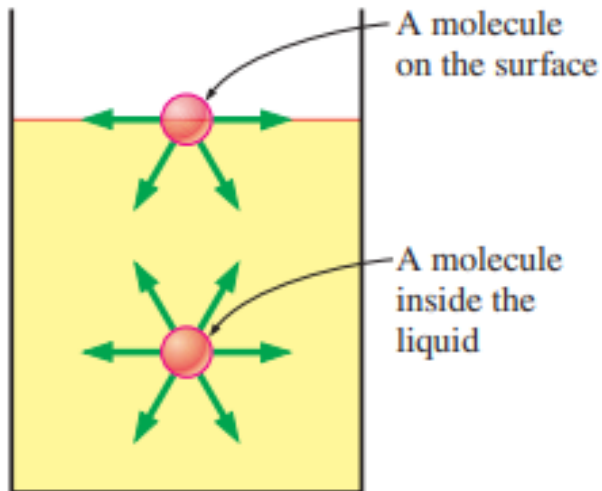
Tensión superficial y capilaridad

- Moléculas al interior del fluido: poseen fuerzas atractivas en todas las direcciones (Resultante nula, hay equilibrio)
- Moléculas en la superficie: Las fuerzas generan una resultante perpendicular a la superficie.
- El efecto resultante hace que el fluido minimice el área superficial
- **Energía superficial:** Trabajo que debe realizarse para llevar las moléculas en un numero suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie.
- **Tensión superficial:** La energía superficial es mecánicamente equivalente a la fuerza tangencial de contracción que actúa sobre una línea hipotética de longitud unitaria situada en la superficie.



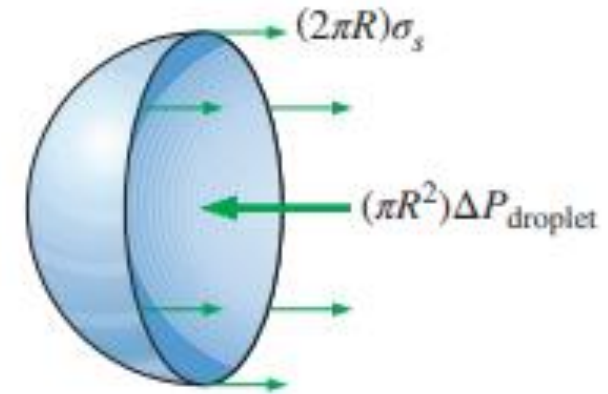
Tensión superficial

$$\sigma_s = \frac{F}{L}$$

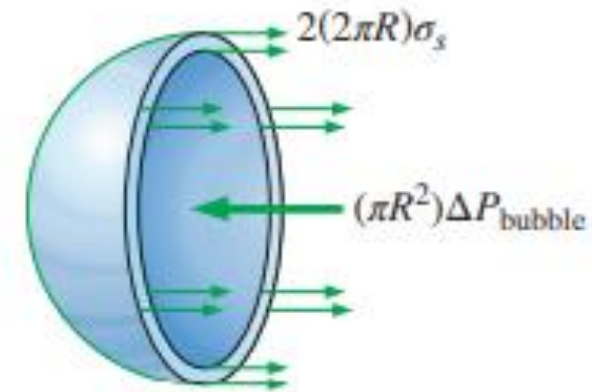


Surface tension of some fluids in air at 1 atm and 20°C (unless otherwise stated)

Fluid	Surface Tension σ_s , N/m*
†Water:	
0°C	0.076
20°C	0.073
100°C	0.059
300°C	0.014
Glycerin	0.063
SAE 30 oil	0.035
Mercury	0.440
Ethyl alcohol	0.023
Blood, 37°C	0.058
Gasoline	0.022
Ammonia	0.021
Soap solution	0.025
Kerosene	0.028



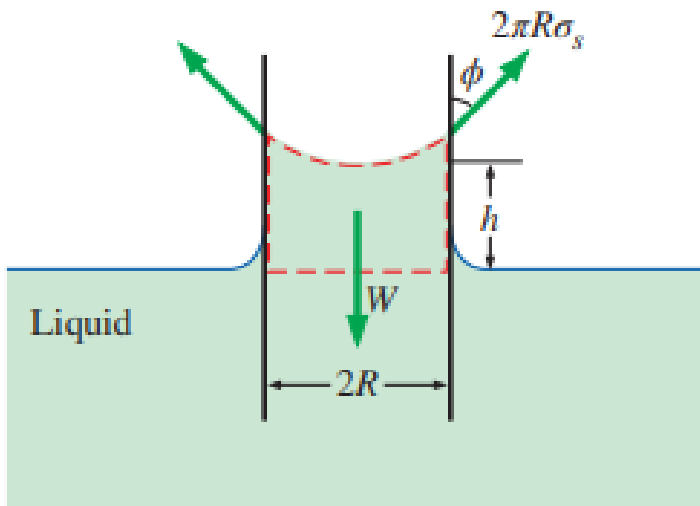
(a) Half of a droplet or air bubble



(b) Half of a soap bubble

Efecto Capilar

Efecto capilar: corresponde al ascenso o descenso de un líquido en un tubo de diámetro pequeño debido a la tensión superficial.



La intensidad del efecto capilar se cuantifica a partir del ángulo de contacto ϕ

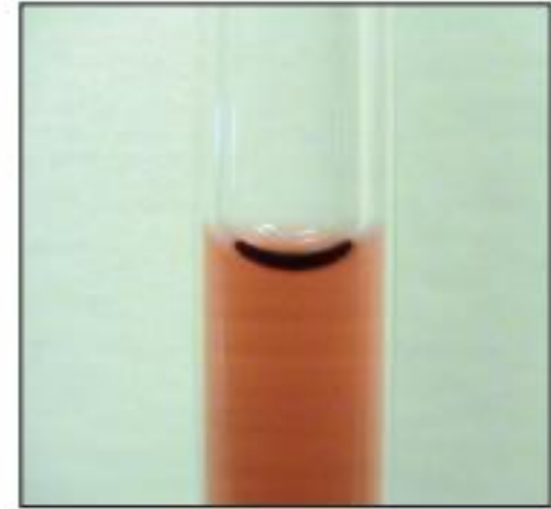
$$W = F_{\text{surface}}$$
$$\rho g(\pi R^2 h) = 2\pi R\sigma_s \cos \phi$$

Ángulos de contacto:

Interfaz agua-vidrio: 0°

Mercurio-vidrio: 130°

Queroseno-Vidrio: 26°



La superficie curva del líquido en un tubo capilar se denomina **menisco**.

TABLE A-1

Molar mass, gas constant, and ideal-gas specific heats of some substances

Substance	Molar Mass M , kg/kmol	Gas Constant R , kJ/kg·K*	Specific Heat Data at 25°C		
			c_p , kJ/kg·K	c_v , kJ/kg·K	$k = c_p/c_v$
Air	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Ammonia, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argon, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromine, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbon dioxide, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbon monoxide, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Chlorine, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Chlorodifluoromethane (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Ethane, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Ethylene, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluorine, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helium, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptane, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexane, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hydrogen, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Krypton, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Methane, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neon, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrogen, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Nitric oxide, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrogen dioxide, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxygen, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propane, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propylene, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Steam, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfur dioxide, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetrachloromethane, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroethane (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroethane (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenon, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

* The unit kJ/kg·K is equivalent to kPa·m³/kg·K. The gas constant is calculated from $R = R_u/M$, where $R_u = 8.31447$ kJ/kmol·K is the universal gas constant and M is the molar mass.

Boiling and freezing point properties

Substance	Boiling Data at 1 atm		Freezing Data		Liquid Properties		
	Normal Boiling Point, °C	Latent Heat of Vaporization h_{fg} , kJ/kg	Freezing Point, °C	Latent Heat of Fusion h_{if} , kJ/kg	Temperature, °C	Density ρ , kg/m ³	Specific Heat c_p , kJ/kg·K
Ammonia	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzene	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Brine (20% sodium chloride by mass)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Carbon dioxide	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Ethanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Ethylene glycol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosene	204–293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Methanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oil (light)					25	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petroleum	—	230–384	—	—	20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Refrigerant-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1443	1.23
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
Water	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18