

U.D. 2: ESTADOS DE LA MATERIA

1. Los estados de agregación y sus propiedades
2. La Teoría Cinético Molecular
3. Los cambios de estado
4. Las leyes de los gases
5. Ejercicios de repaso

1. Los estados de agregación y sus propiedades

La materia ordinaria se encuentra habitualmente en alguno de estos tres estados: sólido, líquido o gas (vapor). El término vapor es equivalente al de gas, a todos los efectos. Sea cual sea la sustancia de la que estén hechos los cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos, tienen ciertas propiedades características:

Propiedades	Sólidos	Líquidos	Gases
Forma	Constante	Variable (fluidos)	Variable (fluidos)
Volumen	Constante	Constante	Variable
Compresibilidad	Nula	Nula	Muy alta
Densidad	Alta (salvo excepciones)	Menos alta	Muy baja y variable.

Los sólidos tienen forma constante, salvo que se deformen por la acción de alguna fuerza. También tienen un volumen constante, ya que no se pueden comprimir ni expandir. Sus densidades son, en general, mayores que las de líquidos y gases, pero hay algunos sólidos de muy poca densidad por lo que flotan en algunos líquidos, como la madera o el corcho.

Los líquidos tienen volumen constante, ya que tampoco se comprimen ni expanden. Sus densidades son altas pero inferiores a las de los sólidos, salvo alguna excepción, como el mercurio. No tienen forma constante, ya que se adaptan a la del recipiente, por lo que se les llama fluidos.

Los gases tienen volumen variable, ya que se expanden por sí solos y también pueden comprimirse. Sus densidades son muy bajas y además son variables, ya que su volumen también lo es. También son fluidos, ya que adaptan su forma a la del recipiente. Los gases también presentan cierta viscosidad, pero muy pequeña, lo que explica que algunos tarden un poco en difundirse por el aire.

Compresión: reducción del volumen de un gas al aplicarle una fuerza o una presión externa. "Compresión" es el acto de comprimir, no confundir con "comprensión", que es el acto de comprender.

Expansión: aumento del volumen de un gas al disminuir o desaparecer la fuerza o presión externa que lo comprimía.

Fluir: moverse libremente un líquido o un gas, adaptándose a la forma del recipiente o del cauce.

Fluidos: son los líquidos y los gases.

Hemos dicho que el volumen de sólidos y líquidos es constante, pero puede variar un poco si variamos su temperatura, porque pueden dilatarse o contraerse.

Dilatación: aumento del volumen de un cuerpo al aumentar su temperatura.

Contracción: disminución del volumen de un cuerpo al disminuir su temperatura.

Todos los cuerpos se dilatan y se contraen, pero unos más que otros. Los gases se dilatan y contraen mucho más que sólidos y líquidos. Las sustancias que más se dilatan y contraen son los metales. De ahí el uso del mercurio en los termómetros (hoy prohibido por su toxicidad).

Viscosidad es otra propiedad de los fluidos que consiste en su resistencia a cambiar de forma, esto es, a fluir. Hay líquidos más viscosos que el agua, como la miel o el aceite, y otros menos viscosos que ella, como el alcohol etílico.

2. La teoría cinético molecular

La teoría cinético molecular (TCM) de la materia fue elaborada durante varios años con las aportaciones de diversos científicos, para intentar explicar por qué la materia puede presentarse en los tres estados conocidos así como las propiedades de esos estados e incluso los cambios de estado. Como toda teoría, es un conjunto de hipótesis o postulados:

Postulados de la TCM

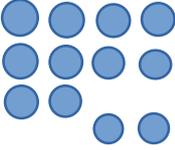
1. **Toda la materia está formada por partículas muy pequeñas.** Estas partículas (átomos, moléculas, etc) son tan pequeñas que no se pueden ver ni siquiera con microscopio electrónico.
2. **Las partículas que forman la materia están separadas unas de otras por vacío.** Nunca llegan a estar en contacto. Por ello decimos que **la materia es discontinua.**
3. **Todas las partículas de una misma sustancia son iguales entre sí en tamaño, forma, masa y otras propiedades, y distintas de las partículas de otras sustancias.**
4. **Hay fuerzas de cohesión que tienden a acercar unas partículas a otras.** Estas fuerzas son de naturaleza eléctrica, y son **más intensas o más débiles según las sustancias** (según el tipo de partículas). Si las partículas se acercan mucho, estas mismas fuerzas resultan ser de repulsión (como un muelle), por lo que impiden el contacto entre las partículas.
5. **Las partículas están en movimiento continuo y desordenado.** Esto significa que están moviéndose siempre, y que cada una puede hacerlo en dirección y con velocidad distintas de las otras. Por esto se dice que las partículas tienen energía cinética (de movimiento). Debido a su movimiento desordenado, las partículas pueden "chocar" unas con otras (aproximarse dos de ellas tanto que resulten repelidas ambas).
6. **Los choques entre partículas son totalmente elásticos: en ellos no se pierde energía cinética (energía de movimiento).** Cuando chocan dos partículas, la energía que pierda una la gana la otra.
7. **La temperatura de un cuerpo es una magnitud directamente proporcional a la energía cinética promedio de sus partículas.** Cuanto mayor es la temperatura de un cuerpo, mayor es la agitación de sus partículas. Por ello el movimiento de las partículas se llama "movimiento de agitación térmica", y **la suma de las energías cinéticas de todas las partículas de un cuerpo es la "energía térmica" del mismo.** La mínima temperatura absoluta, 0 K o - 273,15 °C, es la temperatura que correspondería a un sólido cuyas partículas se encontraran todas en reposo, no se movieran en absoluto. Ese estado es imposible de alcanzar.

Ej. 2.1. Indica si las siguientes frases son correctas o no, y en su caso explica los errores usando la TCM:

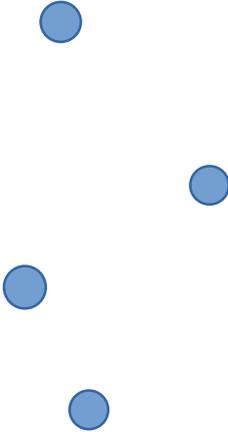
- a) Los líquidos están formados por partículas disueltas en un fluido.
- b) Las partículas de los gases tienden a moverse solamente hacia arriba.
- c) No hay partículas frías ni partículas calientes, sino partículas que se mueven lentamente y partículas que se mueven con mayor rapidez.

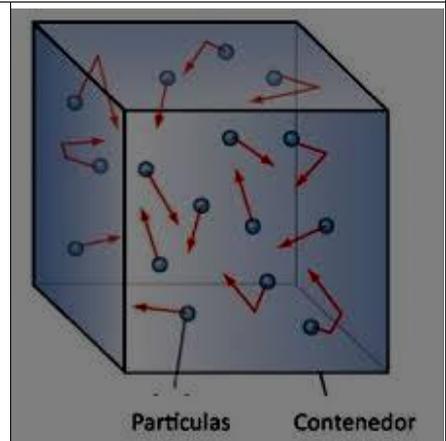
Explicación de los estados de agregación y de sus propiedades

Con los postulados de la TCM podemos elaborar un modelo para cada estado de la materia, que explique sus propiedades características y los cambios de estado:

Modelo cinético de los sólidos	
	<p>⑩ Las partículas de los sólidos están muy próximas unas de otras, pero no en contacto.</p> <p>⑩ Las partículas no están en reposo, sino vibrando, pero no se desplazan.</p> <p>⑩ Las partículas ocupan posiciones fijas. No pueden cambiar de posición unas respecto a otras porque las fuerzas de cohesión se lo impiden.</p> <p>⑩ En los sólidos cristalinos o cristales las partículas se encuentran muy ordenadas formando hileras y planos. Se dice que tienen estructura cristalina.</p> <p>⑩ En los sólidos amorfos las partículas no están ordenadas, pero tampoco intercambian sus posiciones. Decimos que tienen estructura vítrea.</p>

Modelo cinético de los líquidos	
	<p>⑩ Las partículas de los líquidos están muy próximas unas de otras, pero no en contacto, prácticamente igual que las de los sólidos.</p> <p>⑩ Las partículas no se encuentran en reposo, vibran, se agitan y se desplazan.</p> <p>⑩ Las partículas no ocupan posiciones fijas, cambian de posición unas respecto a otras. Están desordenadas. Las fuerzas de cohesión impiden que se alejen unas de otras pero no pueden impedir que se desplacen.</p>

Modelo cinético de los gases	
	<p>⑩ Las partículas de los gases están muy alejadas unas de otras. La distancia media entre unas y otras es mucho mayor que su tamaño.</p> <p>⑩ Las partículas no se encuentran en reposo, vibran, se agitan y se desplazan a gran velocidad.</p> <p>⑩ Las partículas no ocupan posiciones fijas. Cambian de posición unas respecto a otras. Las fuerzas de cohesión no pueden impedir que se alejen unas de otras.</p> <p>⑩ Debido a sus grandes velocidades, las partículas chocan entre sí y con las partículas de cualquier objeto líquido o sólido con el que se encuentren, ejerciendo presión sobre estos objetos. En realidad las partículas no llegan a entrar en contacto, pero al acercarse demasiado se repelen mutuamente.</p>



A una misma temperatura, como por ejemplo 10 °C, el hierro es sólido, el agua es líquida y el oxígeno es gas. Esto es así porque las fuerzas de cohesión entre las partículas de hierro son más fuertes que las que existen entre las partículas de agua, y las que existen entre las partículas de oxígeno son mucho más débiles.

Los sólidos tienen formas fijas porque las fuerzas de cohesión mantienen a sus partículas en posiciones fijas. Los líquidos y los gases fluyen -cambian de forma adaptándose a la del recipiente- porque las fuerzas de cohesión no pueden mantener a sus partículas en posiciones fijas.

Los gases se expanden espontáneamente porque las fuerzas de cohesión entre sus partículas no pueden evitar que se alejen unas de otras en su movimiento desordenado de agitación térmica. Sin embargo los sólidos y los líquidos no lo hacen porque las fuerzas de cohesión sí pueden impedir que sus partículas se separen.

Algunos minerales suelen presentar un hábito (un aspecto externo) con elementos geométricos bien definidos, como caras planas, aristas y vértices. Es el caso de la sal común, la pirita, el cuarzo, etc. Ello es un reflejo de su estructura interna, ya que son cristales. Casi todos los minerales son cristales, pero muchos no presentan forma cristalina externa por la erosión que han sufrido o porque son agregados de muchos microcristales. Ejemplos de sólidos amorfos son unos pocos minerales y los sólidos artificiales como los plásticos, el vidrio, los metales, etc.

Ej. 2.2. Explica, usando la TCM, los hechos siguientes:

- a) Los gases se pueden comprimir y sin embargo los sólidos y los líquidos no.
- b) Algunos líquidos, como el aceite, son más viscosos que otros, como el agua.
- c) Algunos sólidos, como el hierro, son más densos que otros, como la madera.

Ej. 2.3. Indica si las siguientes frases son correctas o no, y en su caso explica los errores usando la TCM:

- a) Las fuerzas de cohesión tienden a acercar las partículas de sólidos y líquidos, pero tienden a separar las de los gases.
- b) Los gases son transparentes porque sus partículas también lo son.
- c) Al comprimir un gas, sus partículas se hacen más pequeñas.

Explicación de otros efectos del calor sobre los cuerpos

Mediante la TCM podemos explicar la dilatación de los cuerpos así: Cuando un cuerpo, sólido, líquido o gas, se calienta (absorbe calor), aumenta su energía térmica, y por tanto su temperatura. Sus partículas se agitan con mayor rapidez, y cuando chocan con otras del mismo cuerpo las empujan más, con lo que todas las partículas del cuerpo se alejan más unas de otras y el cuerpo se dilata (aumenta su volumen).

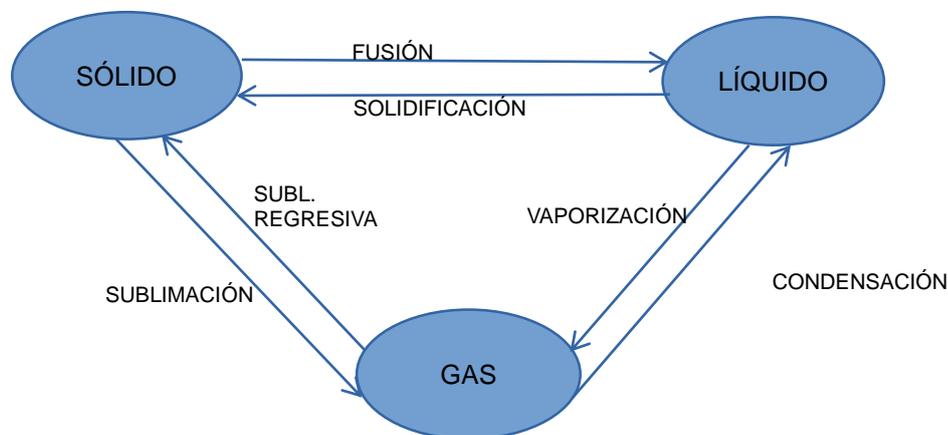
Ej. 2.4. Explica cómo y por qué se produce la contracción de un cuerpo, usando la TCM.

Ej. 2.5. Explica, usando la TCM, los siguientes hechos:

- a) La viscosidad de los líquidos disminuye al calentarlos y aumenta al enfriarlos.
- b) En general, los sólidos se disuelven mejor en agua caliente que en agua fría.

3. Los cambios de estado

Cambios de estado son procesos físicos por los que una sustancia pasa de un estado a otro sin que se altere su naturaleza (sin dejar de ser la misma sustancia).



Podemos clasificar los cambios de estado en progresivos y regresivos.

⑩ Cambios de estado progresivos son aquellos que para producirse en una sustancia, ésta debe absorber calor del entorno. Son la fusión, la vaporización y la sublimación.

⑩ Cambios de estado regresivos son aquellos que para producirse en una sustancia, ésta debe ceder calor al entorno. Son la condensación, la solidificación y la sublimación regresiva o inversa.

Es importante señalar tres cuestiones:

⑩ Con la excepción que se expondrá más adelante, todos los cambios de estado suceden a temperaturas fijas, siempre las mismas para cada sustancia, y diferentes de las de otras sustancias. Así el agua (hielo) siempre funde a 0 °C e hierve a 100 °C, mientras que el hierro por ejemplo, funde a 1535 °C e hierve a 3000 °C. Por ello, las temperaturas de cambio de estado son propiedades específicas de las sustancias.

⑩ La temperatura de fusión o punto de fusión de la mayor parte de las sustancias es la misma que la de solidificación, y la temp. o punto de ebullición es la misma que la de condensación. Así, el hielo funde a 0 °C y a esa misma temperatura congela (solidifica) el agua.

⑩ La solidificación también se llama a menudo congelación, y la condensación también recibe los nombres de licuación o licuefacción.

En realidad, los puntos de fusión y ebullición dependen también del valor de la presión atmosférica, especialmente del de ebullición, siendo más altos para una misma sustancia cuanto mayor es la P. atm. Los valores que se dan normalmente son para una P. atm. de una atmósfera, valor muy normal.

La vaporización de un líquido puede suceder de dos modos bastante distintos:

⑩ Evaporación: es una vaporización lenta, que sucede sólo en la superficie del líquido y a cualquier temperatura.

⑩ Ebullición: es una vaporización rápida, que sucede tanto en la superficie como en el seno del líquido (se forman burbujas de vapor en su interior), y que se produce sólo a una cierta temperatura.

Ej. 2.6. De la siguiente lista de términos, redondea los correctos y tacha los incorrectos: ebullición, embullición, evaporación, evaporización, vaporación, vaporización.

Ej. 2.7. Une con líneas cada término con su definición:

Condensación	Cambio de estado líquido a gas
Ebullición	Cambio de estado sólido a líquido
Evaporación	Cambio de estado líquido a sólido
Fusión	Paso de sólido a gas
Solidificación	Cambio de estado líquido a gas, lento y superficial
Sublimación	Cambio de estado gas a sólido
Sublimación regresiva	Paso de estado líquido a gas, rápido y en todo el líquido
Vaporización	Paso de estado gas a líquido

Ej. 2.8. Indica qué cambios de estado tienen lugar mientras suceden los siguientes fenómenos naturales:

- Ⓢ Formación de nubes y nieblas (están formadas por pequeñísimas gotitas de agua líquida).
- Ⓢ Deseccación de un charco de agua.
- Ⓢ Formación y caída de la nieve.
- Ⓢ Los espejos se empañan cuando echamos el aliento sobre ellos.
- Ⓢ Formación y caída de granizo.
- Ⓢ Cuando abrimos el depósito de un coche olemos el combustible, gasolina o gas oil.
- Ⓢ Cuando desempaquetamos una pastilla de jabón, olemos su fragancia.
- Ⓢ Formación del rocío (gotitas de agua líquida sobre superficies sólidas).

Ej. 2.9. Los siguientes fenómenos tienen que ver con cambios de estado. Explica por qué suceden, usando la TCM:

- Ⓢ La ropa húmeda se seca antes si se extiende que si se mantiene doblada o arrugada.
- Ⓢ Si echamos aceite en una sartén, podemos olerlo, pero si freímos algo con él, el olor es más intenso.
- Ⓢ El rocío se forma de madrugada, y no durante el día.
- Ⓢ En la playa o en la piscina, sentimos más frío al salir del agua que dentro de ella.
- Ⓢ El rocío se forma más fácilmente sobre la superficie de los coches que sobre las calles.
- Ⓢ Los días muy fríos, si empieza a nevar disminuye la sensación de frío (realmente aumenta un poco la temperatura).

Explicación de los cambios de estado mediante la TCM:

Cuando un sólido se calienta (absorbe calor) aumenta su energía térmica, es decir, sus partículas se agitan con mayor rapidez. A una cierta temperatura, algunas partículas tienen la suficiente energía para vencer las fuerzas de cohesión que la mantenían en una posición fija, por lo que abandonan esa posición y pueden desplazarse, pero no separarse totalmente de las otras. Mientras el sólido sigue absorbiendo calor, otras partículas hacen lo mismo. El cuerpo pierde su forma y fluye. Decimos que está fundiendo: pasando al estado líquido.

Cuando un gas se enfría (pierde calor), disminuye su energía térmica, es decir, sus partículas se mueven más lentas. Cuando la temperatura ha bajado a un cierto valor, algunas partículas van tan lentas que cuando chocan o pasan cerca de otras, se quedan unidas a ellas porque ya no tienen suficiente energía para vencer las fuerzas de cohesión. Si el gas se sigue enfriando, otras partículas hacen lo mismo y se van juntando unas con otras formando pequeñas gotitas. Decimos que el gas está condensando: pasando al estado líquido. Mientras esas gotitas son muy pequeñas, siguen moviéndose entre las otras partículas del gas, formando nieblas o nubes. Si siguen creciendo, su peso llega a hacerlas caer, formando la lluvia.

Ej. 2.10. Explica, usando la TCM, los restantes cambios de estado. Al menos, las dos formas de vaporización: la evaporación y la ebullición.

Ej. 2.11. Indica si las siguientes frases son correctas o no, y en su caso explica los errores usando la TCM:

- a) Cuando fundimos un sólido, como por ejemplo el estaño, queda disuelto en agua.
- b) Cuando un líquido se vaporiza, desaparecen las fuerzas de cohesión entre sus partículas.

4. Las leyes de los gases

Los gases ejercen presión porque sus partículas se mueven con gran libertad, a grandes velocidades, y en todas direcciones, al azar. Por tanto, chocan continuamente contra todo otro objeto con el que tropiezan. Estos choques son la causa de la presión.

Esta presión se ejerce en todas direcciones y su valor es el mismo en todos los puntos del gas.

Esta presión es la responsable, por ejemplo, de que los globos y los neumáticos se mantengan hinchados, la que hace que el butano y cualquier otro gas circulen por tuberías, la que hace que se cuezan los alimentos en las ollas a presión, etc.

La presión de los gases puede expresarse en distintas unidades, pero sólo usaremos la unidad llamada "atmósfera", de símbolo "atm".

La presión atmosférica, es decir, la presión que ejerce el aire sobre la superficie terrestre, sobre nosotros, etc, es variable, pero suele tener un valor aproximado a una atmósfera, algunos días un poco más y otros días un poco menos. La presión del aire contenido en un neumático de automóvil suele estar entre dos y tres atm, y la del butano contenido en una bombona es de unas 7 u 8 atm.

¿De qué factores depende la presión de un gas?

La presión de un gas encerrado se debe a los choques de sus partículas contra cualquier objeto que encuentren, luego depende de los siguientes factores:

- ⊙ **Número de partículas del gas:** cuantas más partículas haya mayor será la presión, porque habrá más choques por segundo contra las paredes del recipiente.
- ⊙ **Volumen del recipiente:** cuanto mayor sea el volumen del recipiente menor será la presión, porque las partículas tardarán más tiempo en llegar a las paredes y habrá menos choques por segundo.
- ⊙ **Velocidades de las partículas, o sea, temperatura del gas:** cuanto mayor sea la temperatura del gas mayor será su presión, porque sus partículas se moverán más rápido y habrá más choques por segundo contra las paredes.

Si variamos cualquiera de estos tres factores, la presión del gas variará también.

Si tenemos un gas encerrado herméticamente, de manera que no entre ni salga nada del recipiente, el número de sus partículas permanece constante, no varía. En esa situación se cumplen ciertas relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura del gas, que fueron estudiadas por distintos científicos:

4.1. Ley de Boyle y Mariotte.

Los científicos Robert Boyle (inglés) y Edme Mariotte (francés), en el siglo XVII, mantuvieron gases encerrados a temperatura constante en recipientes de volumen variable, como por ejemplo una jeringa cuyo émbolo podemos mover, y con el orificio tapado. Comprobaron lo siguiente:

Si comprimían el gas, o sea, si reducían su volumen, su presión interna aumentaba, ya que sus partículas tenían menos espacio y chocaban más veces por minuto contra las paredes del recipiente.

Si aumentaban su volumen, su presión disminuía.

Pero la cosa no quedaba ahí. Si reducían su volumen a la mitad, su presión no aumentaba al triple ni al cuádruple, sino justamente al doble. Si reducían su volumen a la tercera parte, su presión aumentaba justo al triple. Si aumentaban su volumen a otro diez veces mayor, su presión se reducía justamente a la décima parte.

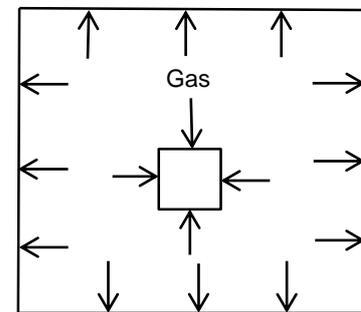


Fig. 2.1. Presión ejercida por un gas

En casos como éste se dice que las magnitudes tienen una relación matemática inversamente proporcional, o que son inversamente proporcionales.

Puesto que esto se cumplía siempre, lo enunciaron como una ley física, o ley de la naturaleza: **la presión y el volumen de cualquier gas encerrado a temperatura constante son magnitudes inversamente proporcionales.** Esta ley se puede expresar matemáticamente de estos cuatro modos:

$$P = \frac{cte.}{V} \quad V = \frac{cte.}{P} \quad P \cdot V = cte. \quad P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

donde cte. es un valor numérico constante, que no varía mientras el gas conserve constantes el número de partículas y la temperatura.

Obsérvese que las cuatro formas son equivalentes. En las dos primeras podemos ver claramente que al aumentar una magnitud, V o P, disminuye la otra, y viceversa. En la tercera vemos que el producto de ambas magnitudes es siempre constante, ya que lo que una aumenta lo disminuye la otra. La cuarta forma, que es la más útil para resolver problemas de cálculo, significa que si tenemos un gas encerrado en un volumen V_1 y con una presión P_1 , y variamos su volumen a temperatura constante hasta otro valor V_2 , su presión variará también hasta otro valor P_2 , pero los productos $P \cdot V$ siempre serán iguales.

Algunos problemas típicos que se resuelven mediante esta ley son los siguientes:

Problema resuelto nº 1: Tenemos un gas encerrado que ocupa un volumen de 2 litros a la presión de 2 atm. Calcula su presión si lo comprimimos a T cte. hasta que ocupe un vol. de 1 litro.

Datos:

$V_1 = 2$ litros
 $P_1 = 2$ atm
 $V_2 = 1$ litro
 T cte.
 $P_2 = ?$

Resolución:

Puesto que el gas está encerrado y T permanece cte., podemos aplicar la ley de Boyle y Mariotte:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Despejamos la incógnita P_2 : $P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}$

Sustituimos los valores numéricos y calculamos: $P_2 = \frac{2 \cdot 2}{1} = 4$ La nueva presión será de 4 atm.

Analizamos el resultado: la presión ha aumentado al doble de la inicial. Es lo que predice la ley de Boyle y Mariotte, ya que el volumen se redujo a la mitad.

Problema resuelto nº 2: Tenemos un gas encerrado que ocupa un volumen de 2 litros a la presión de 2 atm. Calcula qué volumen ocuparía cuando su presión fuese de 1 atm., manteniendo constante la temperatura.

Datos:

$V_1 = 2$ litros
 $P_1 = 2$ atm
 $P_2 = 1$ atm
 $V_2 = ?$
 T cte.

Resolución:

El gas está encerrado y T permanece cte., luego podemos aplicar la ley de Boyle y Mariotte: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

Despejamos $V_2: V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2}$

Sustituimos valores numéricos y calculamos: $V_2 = \frac{2 \cdot 2}{1} = 4$ El nuevo volumen será de 4 litros.

Analizamos el resultado: el volumen ha aumentado al doble del inicial, ya que la presión se redujo a la mitad.

Representación gráfica de la ley de Boyle y Mariotte

En la fig. 2.2. se ha representado gráficamente la presión de un gas en bar frente a su volumen en litros. Para ello se han usado los valores de P y V calculados en el problema resuelto. Estos datos se recogen previamente en una tabla de valores:

V (litros)	2	1	4
P (bar)	2	4	1

En la fig. 2.3., sin embargo, se ha representado el volumen de otro gas, en litros, frente a su presión en atm. En ambas gráficas se observa que al aumentar la presión el volumen disminuye, y viceversa.

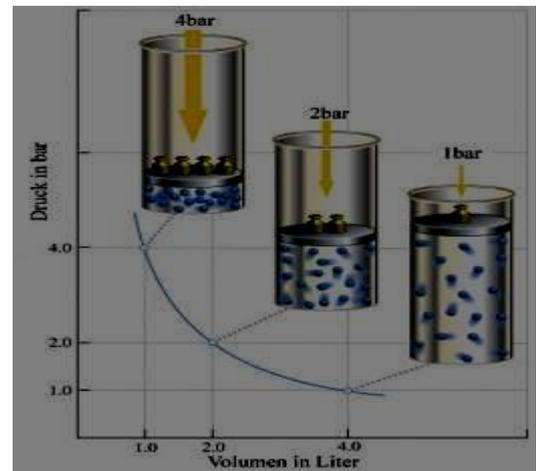


Fig. 2.2.

Ej. 2.12. a) Construye la tabla de valores correspondiente a la gráfica de la fig. 2.3.

b) Comprueba que los valores de V y P representados en esa fig. cumplen la ley de Boyle y Mariotte, por ejemplo comprobando que en todos los casos $P \cdot V = cte$.

c) Calcula el volumen de este gas si su presión se reduce a 0,1 atm, y también si se reduce a 0,01 atm.

d) ¿Puede llegar a anularse por completo la presión de este gas ($P_2 = 0$)? ¿Cuál sería entonces el volumen del gas?

e) ¿Podría un gas llegar a tener volumen nulo ($V_2 = 0$)? ¿Qué presión tendría entonces?

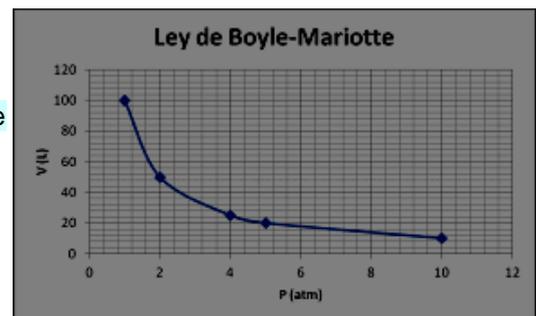


Fig. 2.3.

4.2. Ley de Charles.

El científico francés Jacques Charles mantuvo también gases encerrados en jeringas pero fue variando su temperatura para ver cómo variaba su volumen, es decir cómo se movía el émbolo hacia afuera o hacia adentro.

Hay que señalar que en esta situación la presión interna del gas es constante, y permanece igual a la presión externa (atmosférica), ya que Charles no empujaba el émbolo ni tiraba de él. Comprobó lo siguiente:

Si calentaba el gas, o sea, si elevaba su temperatura, el gas se dilataba empujando el émbolo hacia afuera, o sea: aumentaba su volumen. Esto lo explica la TCM: las partículas del gas aumentaban su agitación y golpeaban más veces por segundo y más fuerte contra las paredes del recipiente. Como resultado desplazaban el émbolo hacia afuera, con lo que aumentaba el volumen del gas.

Si por el contrario enfriaba el gas, el émbolo se desplazaba hacia adentro. El gas se contraía, o sea, reducía su volumen. Esto también lo explica la TCM: las partículas del aire exterior empujaban al émbolo más que las del interior.

Comprobó que esto se cumplía siempre y lo enunció como otra ley: **ley de Charles: el volumen de cualquier gas encerrado a presión constante es directamente proporcional a su temperatura absoluta.** Es decir, si se

duplica la temperatura absoluta (en kelvin) de cualquier gas encerrado, su volumen también se duplicará, etc. Esta ley se puede expresar matemáticamente así:

$$V = cte \cdot T \qquad \frac{V}{T} = cte. \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad T = cte' \cdot V$$

donde cte y cte' son valores numéricos constantes, que no varían mientras el gas conserve constantes el número de partículas y la presión. En estas expresiones, la temperatura debe expresarse en kelvin (k), no en grados centígrados (°C).

Obsérvese que las cuatro formas son equivalentes. La primera indica que al aumentar T aumenta V proporcionalmente. La segunda muestra que el cociente entre V y T siempre tiene el mismo valor, esto es, es constante. La tercera forma es la más útil para resolver problemas, y se deduce de la segunda. La cuarta forma se obtiene de la primera despejando T:

$$T = \frac{1}{cte} \cdot V \qquad \text{y teniendo en cuenta que la inversa de una constante también es otra constante:}$$

$$\frac{1}{cte} = cte' \qquad \text{tenemos} \qquad T = cte' \cdot V$$

Problema resuelto nº 3: Tenemos 20 litros de gas encerrado a 50 °C. ¿Qué volumen ocupará si lo calentamos, a P cte., hasta 100 °C?.

Datos:

$$V_1 = 20 \text{ litros}$$

$$T_1 = 50 \text{ °C} = (273 + 50) \text{ k} = 323 \text{ k}$$

$$V_2 = ?$$

P cte.

$$T_2 = 100 \text{ °C} = (273 + 100) \text{ k} = 373 \text{ k}$$

Resolución:

Puesto que el gas está encerrado y la P permanece cte., podemos aplicar la ley de Charles: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$$\text{Despejamos la incógnita } V_2: \quad V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$\text{Sustituimos los valores numéricos y calculamos el resultado:} \quad V_2 = \frac{20 \cdot 373}{323} = 23$$

El nuevo volumen será de 23 litros.

Analizamos el resultado: Tal como predice la 1ª ley de Charles y Gay Lussac, el gas se dilata al aumentar su temperatura. Pero su volumen no llega a duplicarse ya que la temperatura en kelvin tampoco se duplica.

Problema resuelto nº 4: Tenemos 20 litros de gas encerrado a 50 °C. ¿A qué temperatura deberíamos enfriarlo para que su volumen se redujese a la mitad, manteniendo cte. su presión?

Datos:

$$V_1 = 20 \text{ litros}$$

$$T_1 = 50 \text{ °C} = (273 + 50) \text{ k} = 323 \text{ k}$$

P cte.

$$T_2 = ?$$

$$V_2 = 10 \text{ litros, la mitad de } V_1$$

Resolución:

Puesto que el gas está encerrado y la P permanece cte., podemos aplicar la ley de Charles: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$$\text{Despejamos } T_2: T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1}$$

$$\text{Sustituimos valores numéricos y calculamos:} \quad T_2 = \frac{10 \cdot 323}{20} = 161,5 \text{ k}$$

$$\text{Habrá que enfriar el gas a } 161,5 \text{ k} = (161,5 - 273) \text{ °C} = -111,5 \text{ °C}$$

Analizamos el resultado: Para reducir el volumen a la mitad, hay que enfriar el gas a la mitad de su temperatura inicial (en k), tal como predice la ley de Charles.

Representación gráfica de la ley de Charles

En la fig. 2.4. se ha representado gráficamente el volumen de un gas en ml (mililitros) frente a su temperatura en grados centígrados. La gráfica es una línea recta inclinada, e indica que el volumen del gas aumenta al aumentar su temperatura, y disminuye al bajar aquella.

No hay datos por debajo de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que esas son temperaturas difíciles de alcanzar, pero si prolongásemos la recta veríamos que el volumen se haría nulo justamente a una temperatura de $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, exactamente a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que se pensó que esta debía ser la mínima temperatura posible.

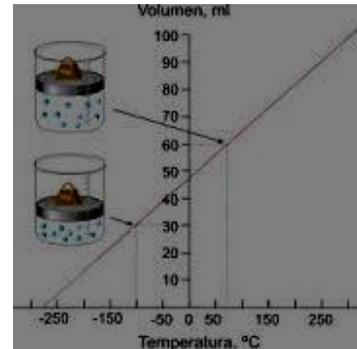


Fig. 2.4.

Más tarde, Lord Kelvin tomó esa temperatura como cero en una nueva escala de temperatura llamada escala kelvin o absoluta, ya que en ella no hay valores negativos.

La fig. 2.5. es similar a la anterior, pero el volumen se representa en litros y la temperatura en kelvin, por lo que ahora la gráfica pasa por el origen de coordenadas. El significado es el mismo de antes: el volumen sería nulo en el cero absoluto de temperatura.

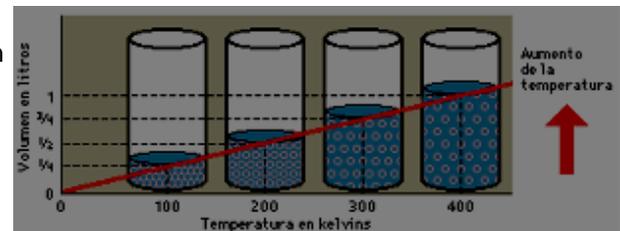


Fig. 2.5.

Ej. 2.13. a) Obtén la tabla de valores correspondiente a la gráfica de la fig. 2.5. y comprueba que los valores de V y T representados cumplen la ley de Charles.

b) ¿Cuál debería ser la temperatura del gas para que su volumen fuese de 2 litros?

c) ¿Cuál sería el volumen del gas a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

4.3. Ley de Gay-Lussac.

Otro científico francés, Joseph Gay-Lussac, estudió las relaciones entre presión y temperatura en gases encerrados en recipientes rígidos, cuyo volumen no puede variar, como por ejemplo un tanque, una bombona de butano, o una botella. Encontró lo siguiente:

Al calentar el gas aumentaba su presión. La TCM lo explica así: al calentar el gas sus partículas aumentan su agitación y golpean más veces por minuto y más fuerte contra las paredes del recipiente. El volumen de éste no puede variar, luego el único efecto del calentamiento será aumentar la presión interna del gas.

Al enfriar el gas, disminuía su presión. ¿Puedes explicarlo tú con ayuda de la TCM?

Tras comprobar que esto se cumplía siempre, Gay-Lussac lo enunció como una nueva ley física: **la presión de cualquier gas encerrado a volumen constante es directamente proporcional a su temperatura absoluta.**

$$P = cte \cdot T \qquad \frac{P}{T} = cte. \qquad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad T = cte' \cdot P$$

donde, de nuevo, cte y cte' son constantes, y la temperatura debe expresarse en kelvin (k), no en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$). Se puede demostrar igualmente que las cuatro formas son equivalentes.

Problema resuelto nº 5: Un tanque rígido de 200 litros contiene gas propano a 20 °C y 10 atm de presión. a) ¿Qué sucederá si lo calentamos hasta 100 °C?. b) ¿A qué temperatura deberíamos enfriarlo para que su presión fuese de 1 atm?

Datos:

V = 200 litros

T₁ = 20 °C = (273 + 20) k = 293 k

P₁ = 10 atm

a) ¿Qué sucederá si T₂ = 100 °C = (273 + 100) k = 373 k?

b) T₂ = ? si P₂ = 1 atm.

Resolución:

El recipiente es rígido, luego el volumen del gas permanecerá constante. Por tanto podemos aplicar en ambos casos la ley de Gay Lussac: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

a) Al aumentar la temperatura y no poder hacerlo el volumen, según la ley de Gay Lussac aumentará la presión del gas.

Despejamos P₂: $P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1}$ Sustituimos valores y calculamos: $P_2 = \frac{10 \cdot 373}{293} = 12,7$

La presión del gas aumenta hasta 12,7 atm.

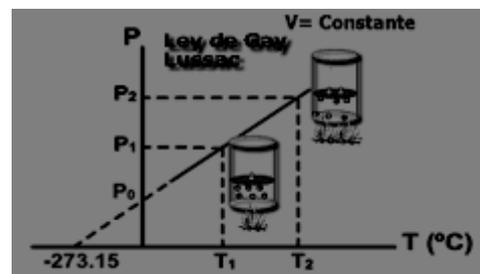
Analizamos el resultado: Efectivamente, la nueva presión es mayor que la inicial, al haber aumentado la temperatura del gas.

b) Despejamos T₂: $T_2 = \frac{P_2 \cdot T_1}{P_1}$ Sustituimos valores numéricos y calculamos: $T_2 = \frac{1 \cdot 293}{10} = 29,3 \text{ k}$ Habría que enfriar el gas a 29,3 k = (29,3 - 273) °C = -243,7 °C

Analizamos el resultado: Para reducir la presión del gas habría que enfriarlo, como predice la ley de Gay-Lussac. La temperatura tendría que ser tan baja porque la disminución de presión también es muy grande, de 10 atm a 1 atm.

Representación gráfica de la ley de Gay-Lussac

La fig. 2.6. representa la presión de un gas encerrado a V cte. frente a su temperatura en °C. No se indican las unidades de presión. De nuevo la gráfica es una recta inclinada, lo que indica que P y T son magnitudes directamente proporcionales. Prolongando la recta se deduce que la presión del gas se anularía en el cero absoluto de temperatura (-273,15 °C).



En la gráfica de la fig. 2.7., similar a la anterior, se representa la presión del gas en atm, y la temperatura en k. Obsérvese que si prolongásemos la recta, ésta pasaría por el origen de coordenadas.

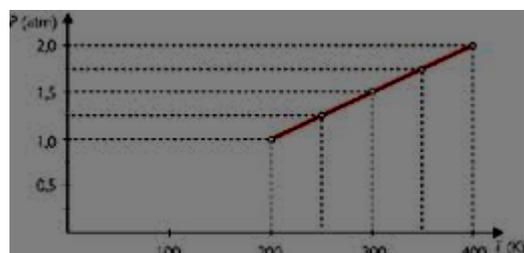


Fig. 2.7.

Ej. 2.14. Obtén la tabla de valores correspondiente a la gráfica de la fig. 2.7. y comprueba que los valores de P y T cumplen la ley de Gay-Lussac.

Ej. 2.15. Para el gas representado en la gráfica de la fig. 2.7., calcula lo siguiente: a) ¿Qué presión alcanzaría a 1000 k? b) ¿Qué sucedería si lo enfriamos a -200 °C?.

5. Ejercicios de repaso

Ej. 2.16. Indica si las siguientes frases son correctas o no, y en su caso explica los errores usando la TCM:

- a) Entre las partículas de los gases hay aire.
- b) Las partículas de los líquidos son más blandas que las de los sólidos.
- c) Para ayudar a que un líquido se evapore, debemos enfriarlo.
- d) Los líquidos y los sólidos caen al suelo porque sus partículas pesan. Los gases no caen porque sus partículas no pesan.
- e) Todas las partículas de todas las sustancias son exactamente iguales entre sí.

Ej. 2.17. Explica, usando la TCM, los siguientes hechos:

- a) Algunos sólidos, como el talco o la cera, son muy blandos, se rayan con la uña. Sin embargo otros como la calcita o el mármol, son más duros y no se rayan con la uña.
- b) Algunos líquidos se disuelven bien entre sí, como el agua y el alcohol, por lo que decimos que son miscibles. Sin embargo otros no, como el agua y el aceite, por lo que decimos que son inmiscibles.

Ej. 2.18. El profesor dibujará en la pizarra varios esquemas para representar la dilatación de un sólido. Indica cuáles de ellos son incorrectos y por qué.

Ej. 2.19. El profesor dibujará en la pizarra varios esquemas para representar la disolución de una gota de tinta en un poco de agua. Indica cuáles de ellos son incorrectos y por qué.

Ej. 2.20. Responde y justifica tus respuestas citando las leyes de la ciencia en que te bases:

- a) Si dejamos un globo inflado cerca de una estufa, puede llegar a reventar. ¿Por qué?
- b) ¿Qué le sucederá a un gas encerrado a temperatura constante si dejamos que se expanda?
- c) Para medir la presión de los neumáticos de un coche, debe hacerse en frío, sin haber circulado mucho, antes de que los neumáticos se calienten demasiado.

Ej. 2.21. Tenemos un gas encerrado en un recipiente de volumen variable. Cuando su temperatura es de 100 k ocupa un volumen de 30 mL. Calcula sus volúmenes a las temperaturas de 150 k, 200 k, 350 k y 400 k. Representa gráficamente el volumen del gas frente a su temperatura.