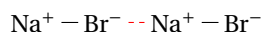




Fuerzas ion-ion. Ocurren entre dos iones con cargas opuestas. También se conocen como enlaces iónicos, es decir, las fuerzas que mantienen unidos a los compuestos iónicos.



Naturalmente, entre las moléculas o compuestos podemos encontrar más de una fuerza intermolecular. Cuando esto ocurre, siempre hay un tipo de interacción intermolecular

que sobresale del resto por ser más fuerte o importante, es decir, tiene mayor influencia en las propiedades físicas de la sustancia.

En orden ascendente de importancia o influencia, las fuerzas intermoleculares se organizan como:

Dispersión < Dipolo-Dipolo < Puente de hidrógeno < Ion-Dipolo < Ion-Ion

Para determinar qué interacciones intermoleculares están presentes en una sustancia, seguiremos las indicaciones del diagrama 1.

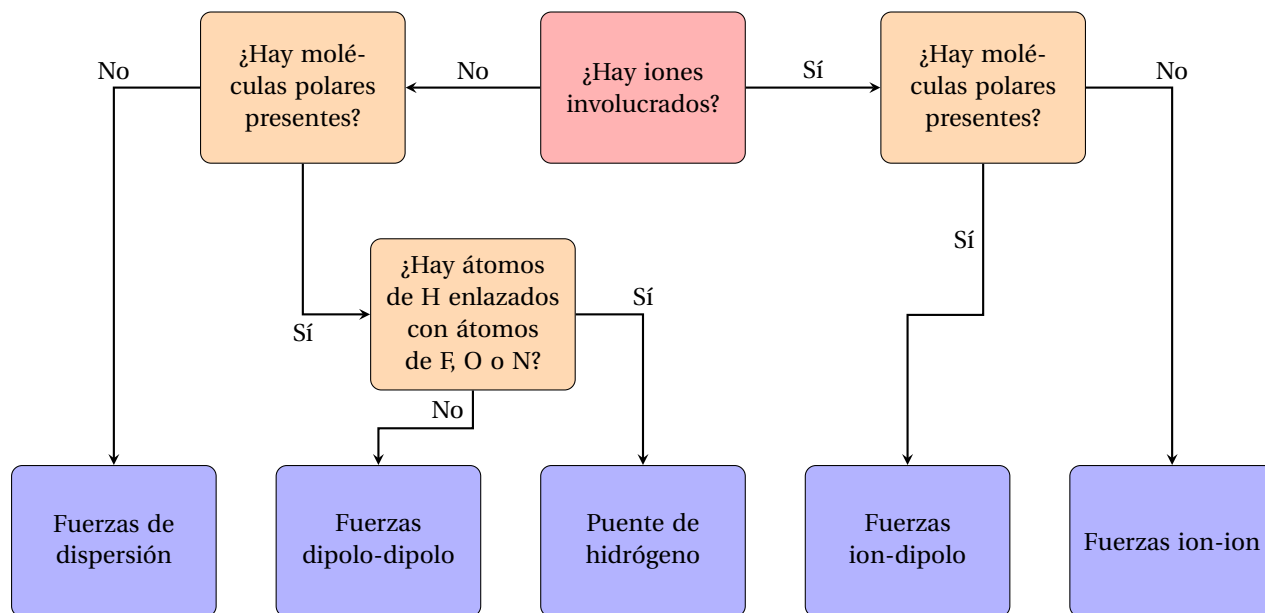
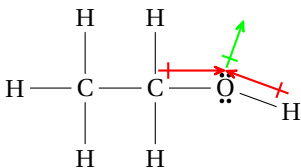


Diagrama 1. Diagrama de flujo para determinar fuerzas intermoleculares.

Estudiemos las estructuras en cuestión para determinar lo que pide el problema.

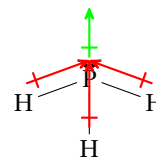
(a) El etanol es un compuesto orgánico en el que no hay iones involucrados. Como ocurre con cualquier sustancia, las **fuerzas de dispersión** están presentes en el etanol. Sus dipolos de enlace C—O y O—H permiten que sea una molécula polar y que, por tanto, también estén presentes las fuerzas **dipolo-dipolo**. Por otro lado, el enlace O—H da paso a que esta molécula forme **puentes de hidrógeno**.



Los puentes de hidrógeno tienen mayor influencia en las propiedades del etanol.

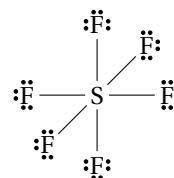
(b) Además de las **fuerzas de dispersión**, la fosfina presenta **fuerzas dipolo-dipolo**. Esto se debe a que la suma vectorial de los dipolos de enlace H—P da como resultado un mo-

mento dipolar $\mu > 0$.



Las fuerzas dipolo-dipolo tienen mayor influencia en las propiedades de la fosfina.

(c) Como consecuencia de su geometría molecular, los dipolos de enlace del hexafluoruro de azufre se cancelan, es decir, no presenta momento dipolar. Por tanto, en esta molécula solo están presentes las **fuerzas de dispersión**.



Solo las fuerzas de dispersión tienen influencia en las propiedades del hexafluoruro de azufre.

2. Clasifica los compuestos H_2S , H_2O , CH_4 , H_2 y KBr , en orden creciente de

- punto de ebullición,
- presión de vapor, y
- viscosidad.

➤ Solución

Por lo general, las propiedades físicas de los líquidos varían de acuerdo con la intensidad de las fuerzas intermoleculares entre las partículas (átomos, moléculas, iones) que componen el líquido. Los efectos generales de estas atracciones sobre las propiedades físicas de los líquidos se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Efectos generales de las fuerzas intermoleculares sobre las propiedades físicas de un líquido.

Propiedad	Fuerzas intermoleculares	
	Débiles	Fuertes
Fuerzas de cohesión	Menor	Mayor
Viscosidad	Menor	Mayor
Tensión superficial	Menor	Mayor
Calor específico	Menor	Mayor
Punto de ebullición	Menor	Mayor
Entalpía de vaporización	Menor	Mayor
Presión de vapor	Mayor	Menor
Evaporación	Mayor	Menor

Cabe mencionar que, en casos donde dos o más sustancias coincidan con sus fuerzas intermoleculares, su masa molar se usará para determinar en qué material es más fuerte la interacción: cuánto más grande es la masa molar, más fuerte es la fuerza intermolecular.

Analicemos la polaridad y la masa molar de cada sustancia para determinar los tipos de fuerzas intermoleculares que están presentes. Cuanto más fuertes son las fuerzas intermoleculares, mayor es el punto de ebullición y la viscosidad de la sustancia, y menor es la presión de vapor (tabla 1).

El KBr es iónico, por lo que hierve a la temperatura más alta, es más viscoso y tiene menor presión de vapor que el resto. El H_2O presenta puentes de hidrógeno y hierve a la temperatura siguiente más alta; además, es menos viscoso y tiene mayor presión de vapor que el KBr . El H_2S es otra sustancia covalente polar de la lista, por lo que presenta interacciones dipolo-dipolo. Tanto el CH_4 como el H_2 son apolares. La molécula de CH_4 (mayor masa molar) se polariza¹ más fácil que la molécula de H_2 (menor masa molar), por lo que las fuerzas de dispersión son más fuertes en el CH_4 .

Entonces, las sustancias se organizan en orden creciente de punto de ebullición y viscosidad, como $\text{H}_2 < \text{CH}_4 < \text{H}_2\text{S} <$

$\text{H}_2\text{O} < \text{KBr}$. Por el contrario, se clasifican en orden creciente de presión de vapor como $\text{KBr} < \text{H}_2\text{O} < \text{H}_2\text{S} < \text{CH}_4 < \text{H}_2$.

3. Organiza los sólidos siguientes en orden de puntos de fusión crecientes: NaF , MgF_2 y AlF_3 .

➤ Solución

Por lo general, el punto de fusión de un sólido es mayor en materiales que tienen las fuerzas intermoleculares más fuertes. En este caso tratamos con tres compuestos iónicos, donde las fuerzas ion-ion son las más importantes, por tanto, nos apoyaremos de la Ley de Coulomb (ecuación 1) para clasificarlos como se pide.

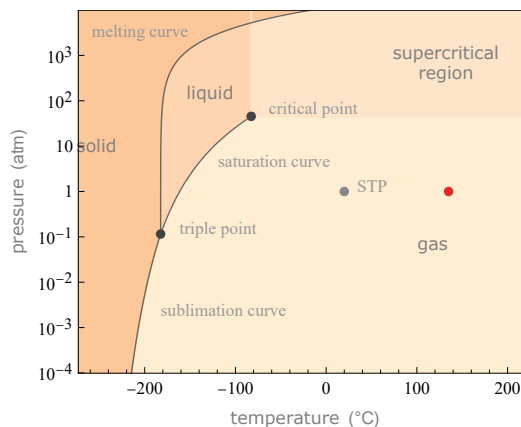
De la ecuación 1 se obtiene la relación de proporcionalidad siguiente:

$$F \propto \frac{|q_+q_-|}{r}$$

Aunque desconocemos la distancia internuclear (r), con ayuda de las cargas de sus iones determinaremos en qué compuesto iónico es más fuerte la fuerza ion-ion: cuánto mayor sea el producto de cargas, más fuerte será la interacción intermolecular.

Los productos de cargas son $|+1 \cdot -1| = 1$ para el NaF ; $|+2 \cdot -1| = 2$ para el MgF_2 ; y $|+3 \cdot -1| = 3$ para el AlF_3 . Por tanto, se organizan en orden creciente de punto de fusión como $\text{NaF} < \text{MgF}_2 < \text{AlF}_3$.

4. Analiza el diagrama de fases del metano y responde lo que se pide.



- ¿Cuánto vale la temperatura crítica aproximada?
- ¿Cuál es la presión aproximada en el punto triple?
- ¿En qué estado de agregación se encuentra el metano a 1 atm y -180°C ?
- ¿En qué estado se encontrará el metano cuando se comprima desde 1 atm y 0°C hasta que ocurra un cambio de fase?

¹La polarización aumenta al aumentar el número de electrones y, por tanto, al aumentar la masa molar de un material. Por ello, las fuerzas de dispersión son, por lo general, más fuertes para sustancias que son más grandes o que tienen más electrones. Para moléculas que son muy grandes o bastante polarizables, el efecto total de las fuerzas de dispersión puede ser incluso mayor que las interacciones dipolo-dipolo o los puentes de hidrógeno.

➤ Solución

Los diagramas de fase muestran las relaciones de equilibrio presión-temperatura entre las diferentes fases de una sustancia pura dada en un sistema cerrado. El análisis de los diagramas de fase se aplica solo a sistemas cerrados, en los que la materia no se transfiere a los alrededores. Esta limitación es importante cuando se involucra la fase de vapor.

Analicemos la figura 1 para esclarecer algunos puntos importantes sobre los diagramas de fases.

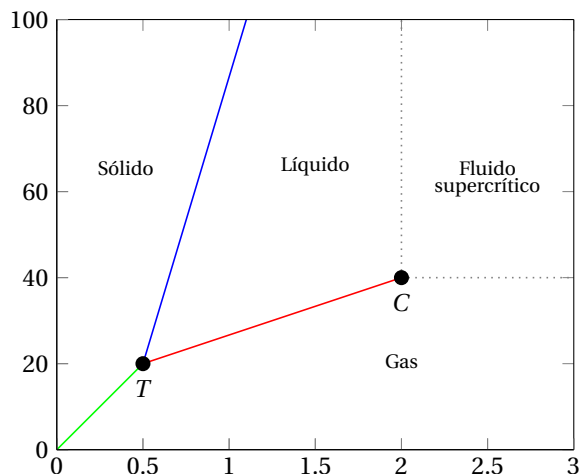


Figura 1. Diagrama de fases genérico de una sustancia pura.

La línea roja corresponde con la **curva de saturación**. Los puntos a lo largo de esta curva representan las combinaciones de temperatura y presión para las que el líquido y el gas coexisten en equilibrio. En puntos por encima de esta curva, la forma estable de la sustancia pura es líquida; debajo de la curva, es vapor.

La línea verde corresponde con la **curva de sublimación**. A presiones y temperaturas a lo largo de esta curva, el sólido y el vapor están en equilibrio.

La línea azul corresponde con la **curva de fusión**. Representa las condiciones de equilibrio líquido-sólido. Por lo general, esta curva tiene una pendiente positiva² conforme aumenta la presión, porque para la mayoría de las sustancias la forma sólida es más densa que la forma líquida.

En el diagrama de fases solo hay un punto en el que las tres fases de una sustancia (sólida, líquida y gaseosa) coexisten en equilibrio. A esto se le llama el **punto triple (T)**.

La **temperatura crítica** es la temperatura por encima de la cual un gas no puede licuarse, es decir, la temperatura por encima de la cual el líquido y el gas no existen como fases distintas. Una sustancia a una temperatura superior a su temperatura crítica se denomina **fluido supercrítico**.

La **presión crítica** es la presión requerida para licuar un gas a su temperatura crítica. La combinación de temperatura y presión críticas se denomina **punto crítico (C)**.

Estudemos ahora el diagrama de fases del metano y respondamos lo que se pide.

(a) La temperatura crítica (y la presión crítica) corresponde con el punto crítico, donde coexisten las fases líquida, gaseosa y el fluido supercrítico. El metano tiene una temperatura crítica alrededor de -80°C .

(b) En el punto triple coexisten las fases líquida, sólida y gaseosa. De acuerdo con el diagrama de fases, la presión del metano en el punto triple es alrededor de 0.1 atm.

(c) El metano es un líquido a 1 atm y -180°C .

(d) El diagrama de fases del metano muestra un punto etiquetado como STP, las siglas en inglés de temperatura y presión estándar, es decir, a 1 atm y 0°C . Si el metano se comprime, su presión aumentará desde ese punto (STP) hasta cambiar de estado gaseoso a fluido supercrítico.

Recursos adicionales

1. Agudelo, A. F. & Restrepo, O. J. (s.f.). Termodinámica y diagramas de fase [Artículo]. Disponible en www.edutics.mx/GQU.
2. Colegio de Ciencias y Humanidades (s.f). Fuerzas intermoleculares [Web]. Disponible en www.edutics.mx/GQo.
3. Torres, N., Landau, L., Baumgartner, E. & Monteserin, H. (julio, 2010). Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo [Artículo]. Disponible en www.edutics.mx/GQJ.
4. Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Diagramas de fase [PDF]. Disponible en www.edutics.mx/GQ3.
5. Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Fuerzas intermoleculares [PDF]. Disponible en www.edutics.mx/GQ4.

²El agua es una de las pocas sustancias en las que este no es el caso, ya que su diagrama de fases muestra una pendiente negativa. Esto se debe a que el hielo es menos denso que el agua líquida en las proximidades del equilibrio líquido-sólido.