



CURSO INTERSEMESTRAL
FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM

09 AL 20 DE ENERO DE 2017



PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS

Rogelio Soto Ayala

DEFINICIÓN DE SUSTANCIA PURA

Una sustancia pura posee las siguientes dos características:

1.- Es una sustancia simple que presenta sólo una forma relevante de trabajo casiestático (para nuestro curso: sustancia simple compresible).

DEFINICIÓN DE SUSTANCIA PURA

2.- Es una sustancia con una composición química invariable y homogénea. Es decir, es una sustancia o mezcla de sustancias, cuya cantidad relativa de cada una de las especies químicas en el sistema se mantiene fija.

Un sistema en el que se efectúa una reacción química no constituye una sustancia pura.

DEFINICIÓN DE SUSTANCIA PURA

Ejemplos de sustancias puras:

- i) El agua, en cualesquiera de sus fases o combinación de éstas.
- ii) El aire atmosférico (que es esencialmente una mezcla de oxígeno y de nitrógeno).
- iii) Una disolución de amoníaco en agua.

Sustancia pura

- Sustancia que tiene una composición química fija.
- Agua, nitrógeno, helio, dióxido de carbono.
- Mezcla de diferentes elementos o compuestos químicos.
Homogénea.

Aire

✓

Agua – Aceite

✗

Agua – Hielo

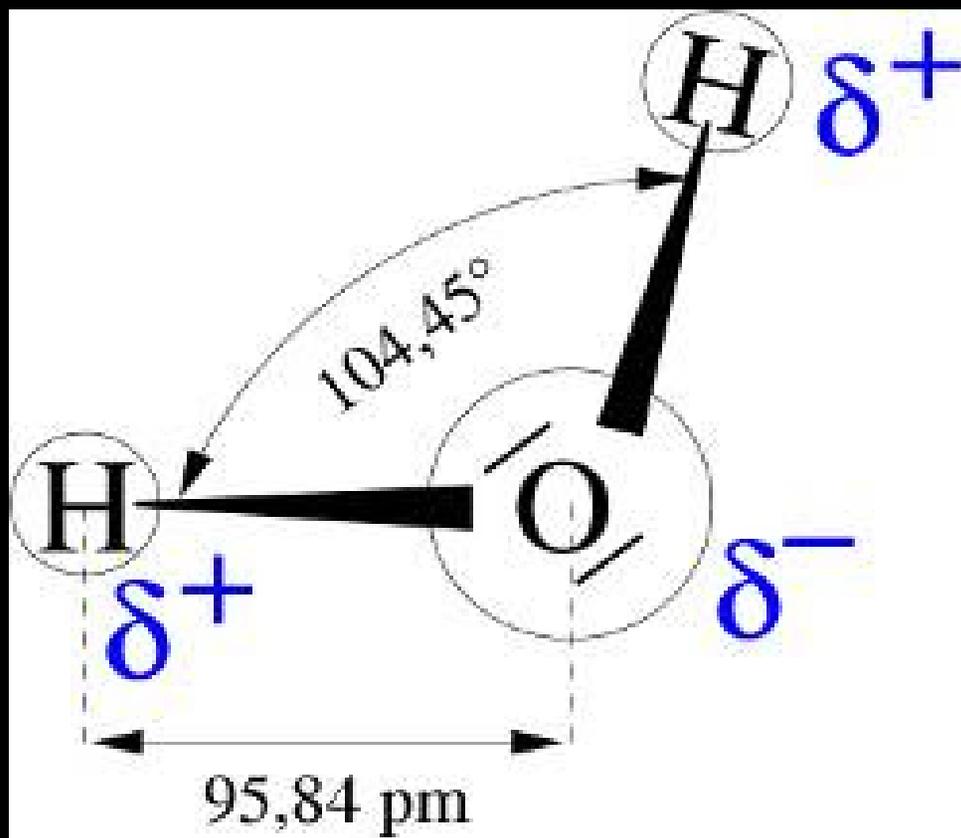
✓

Aire líquido – Aire gaseoso

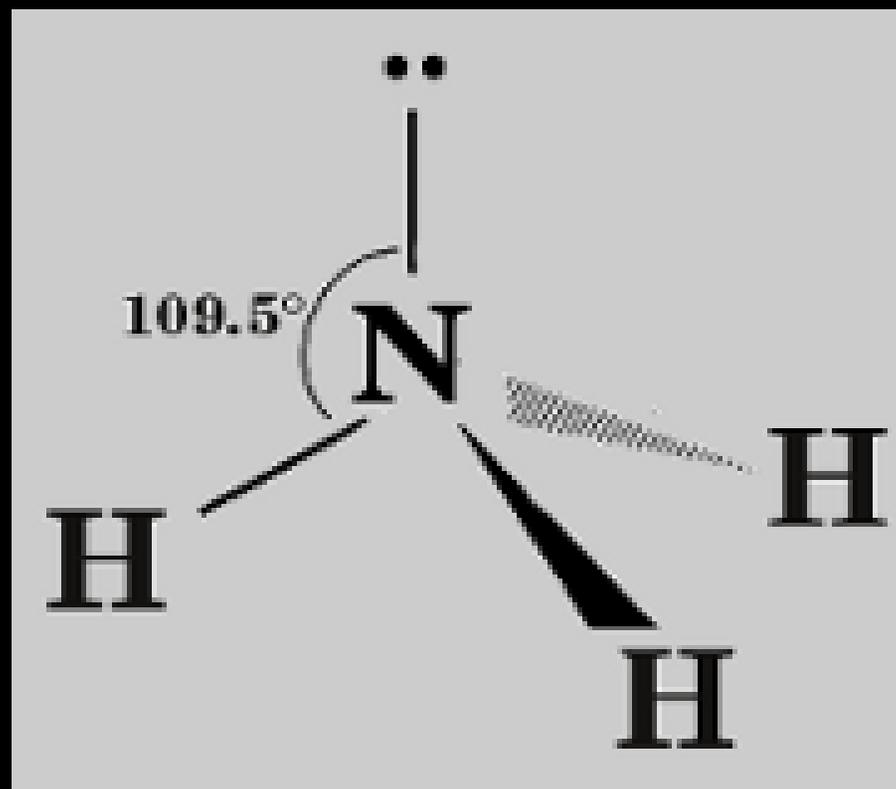
✗



ESTRUCTURA DEL AGUA



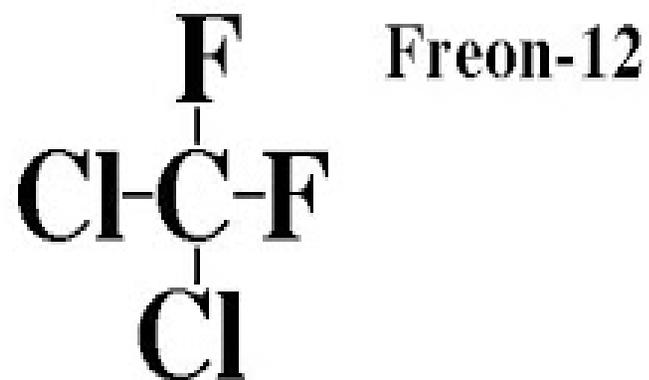
ESTRUCTURA DEL AMONIACO



ESTRUCTURA DEL FREÓN-12

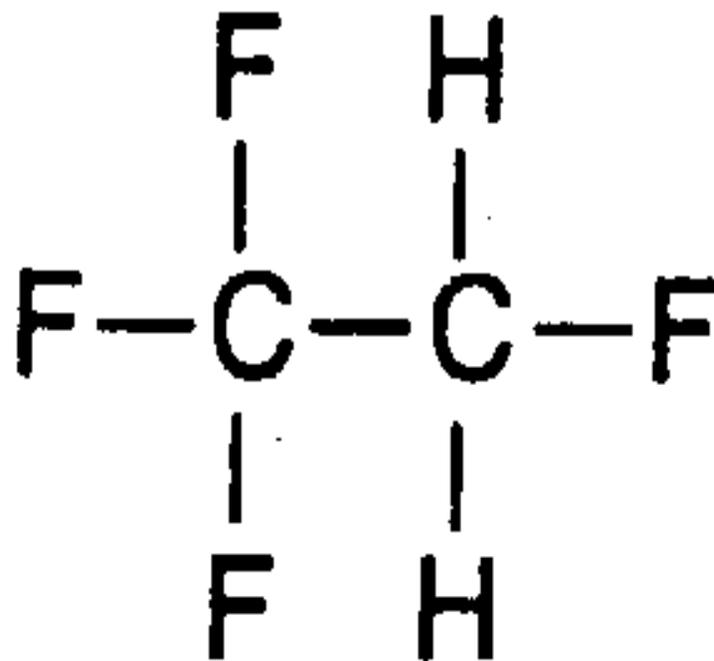
Haloalkanes

CFC's:



dichlorodifluoromethane

ESTRUCTURA DEL FREÓN-134A



CURVA DE CALENTAMIENTO DE UNA SUSTANCIA PURA (AGUA)

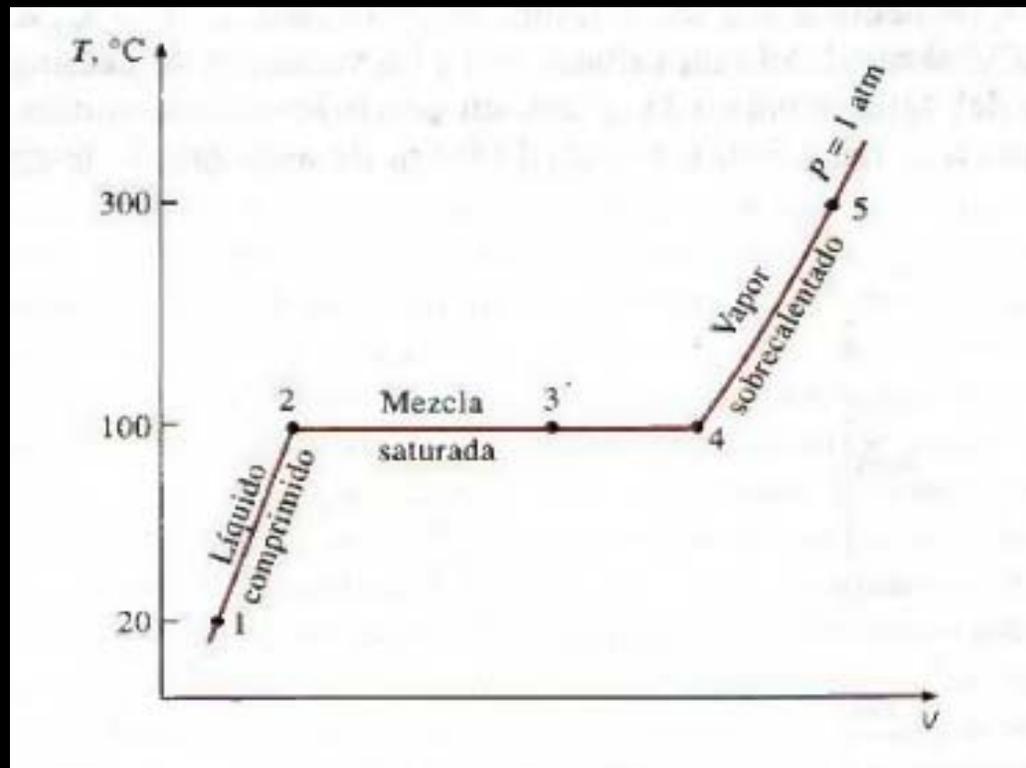
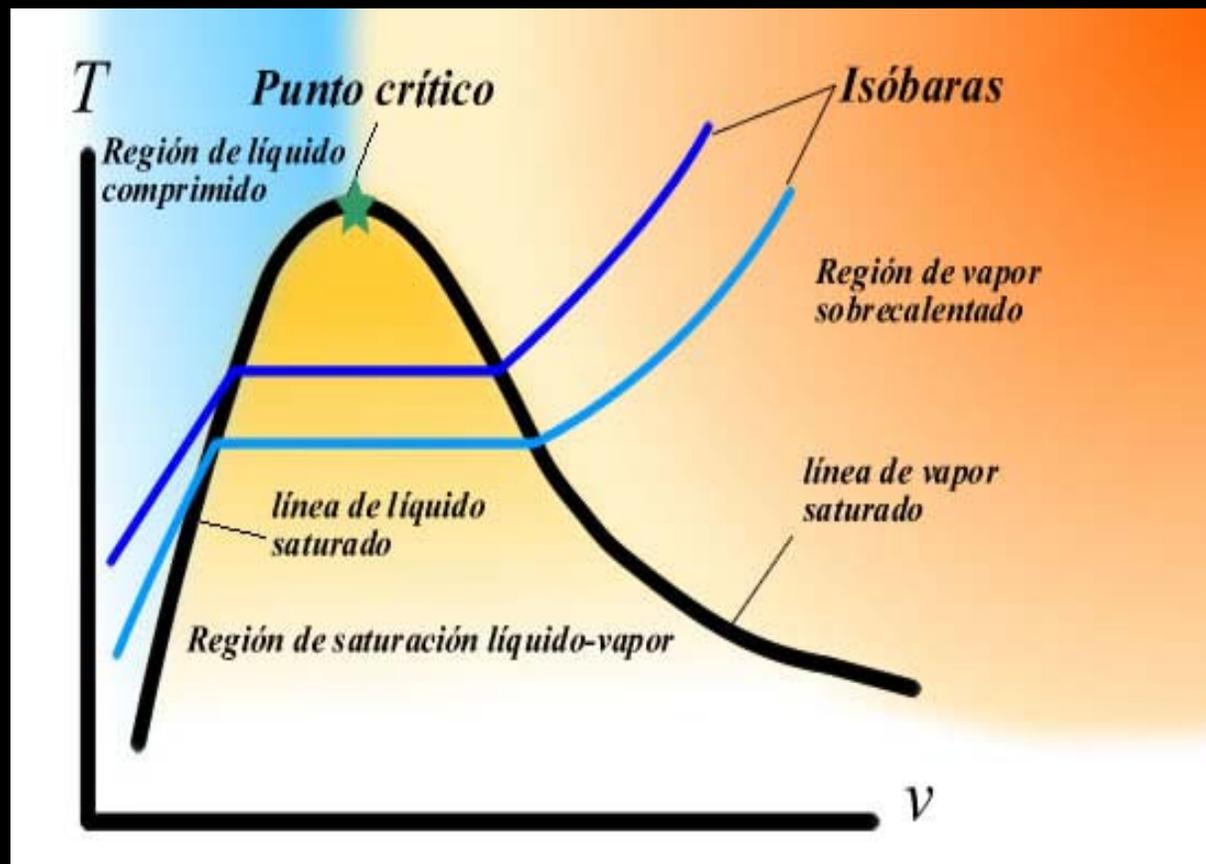


DIAGRAMA T-V DEL AGUA



SUPERFICIE PVT PARA UNA SUSTANCIA PURA

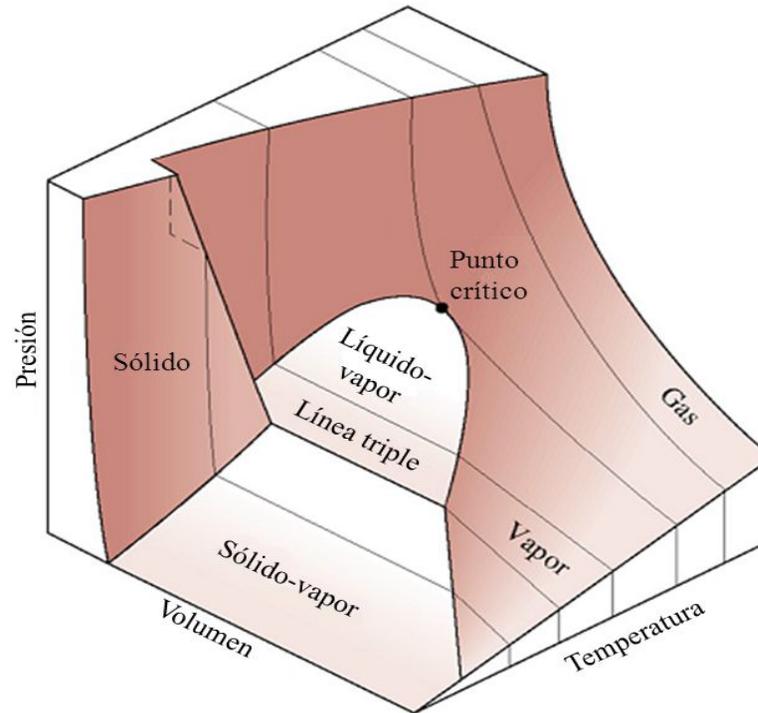
En vista de que de todas las propiedades existentes, la presión, el volumen y la temperatura se pueden medir directamente, no es extraño que muchos datos experimentales se expresen en función de estas tres.

Los resultados experimentales p - v - T se pueden graficar en un sistema de coordenadas rectangulares y los estados de equilibrio de la sustancia pura quedarán representados en una superficie p - v - T , en un espacio tridimensional.

SUPERFICIE P-v-T DE UNA SUSTANCIA PURA QUE SE EXPANDE AL CONGELARSE (COMO EL AGUA)

Derechos reservados © McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. Se requiere permiso para reproducir o proyectar.

FIGURA 2-27
Superficie P - v - T de una sustancia que se *expande* al congelarse (como el agua).





SUPERFICIE PVT DE UNA SUSTANCIA PURA QUE SE EXPANDE AL CONGELARSE (COMO EL AGUA)

- No obstante que las superficies p - v - T son muy comunes, las proyecciones de estas superficies sobre determinados planos resultan de mayor utilidad, ya que proporcionan información que se puede vislumbrar con mayor facilidad.
- A continuación se muestran los diagramas T - p , v - T , v - p , s - T , h - p y s - h del agua, tanto en la regiones líquida y vapor, como en la región de dos fases.

DIAGRAMA T-P DEL AGUA

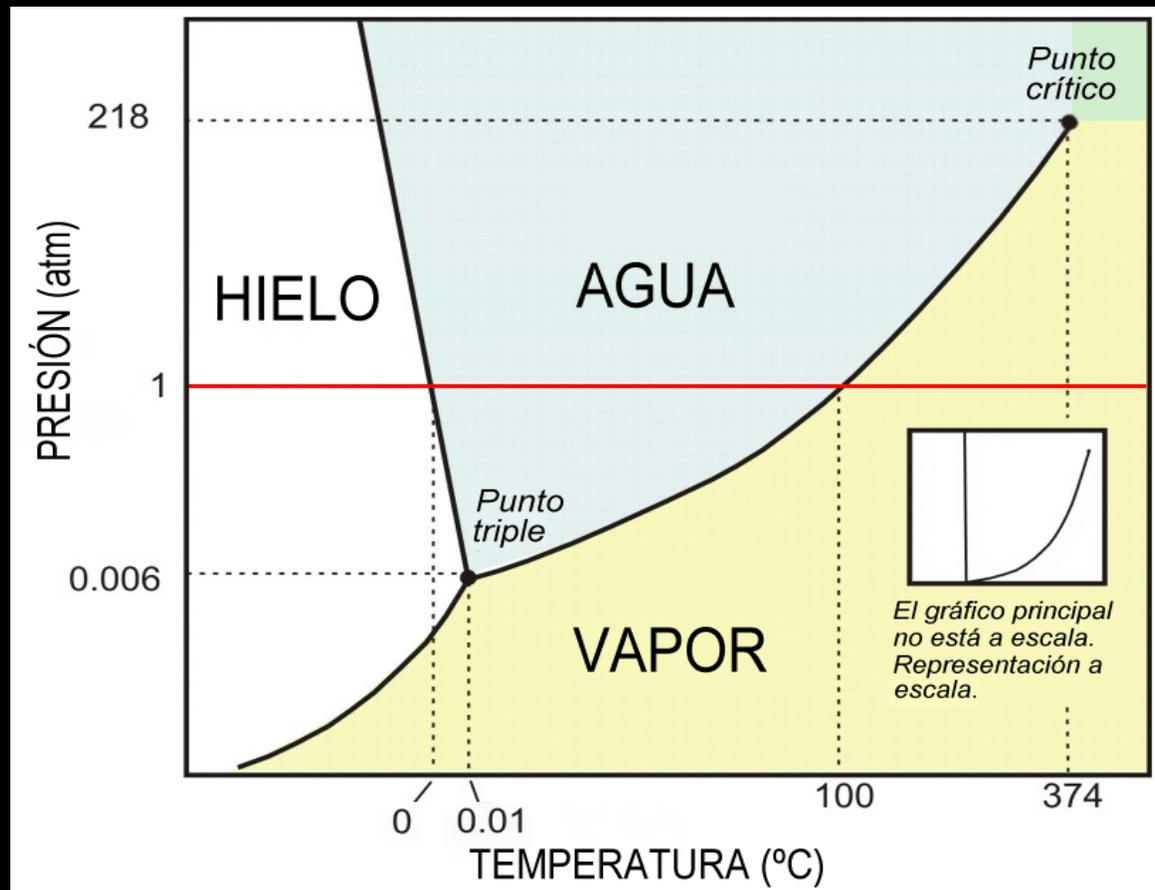


DIAGRAMA P-V DEL AGUA

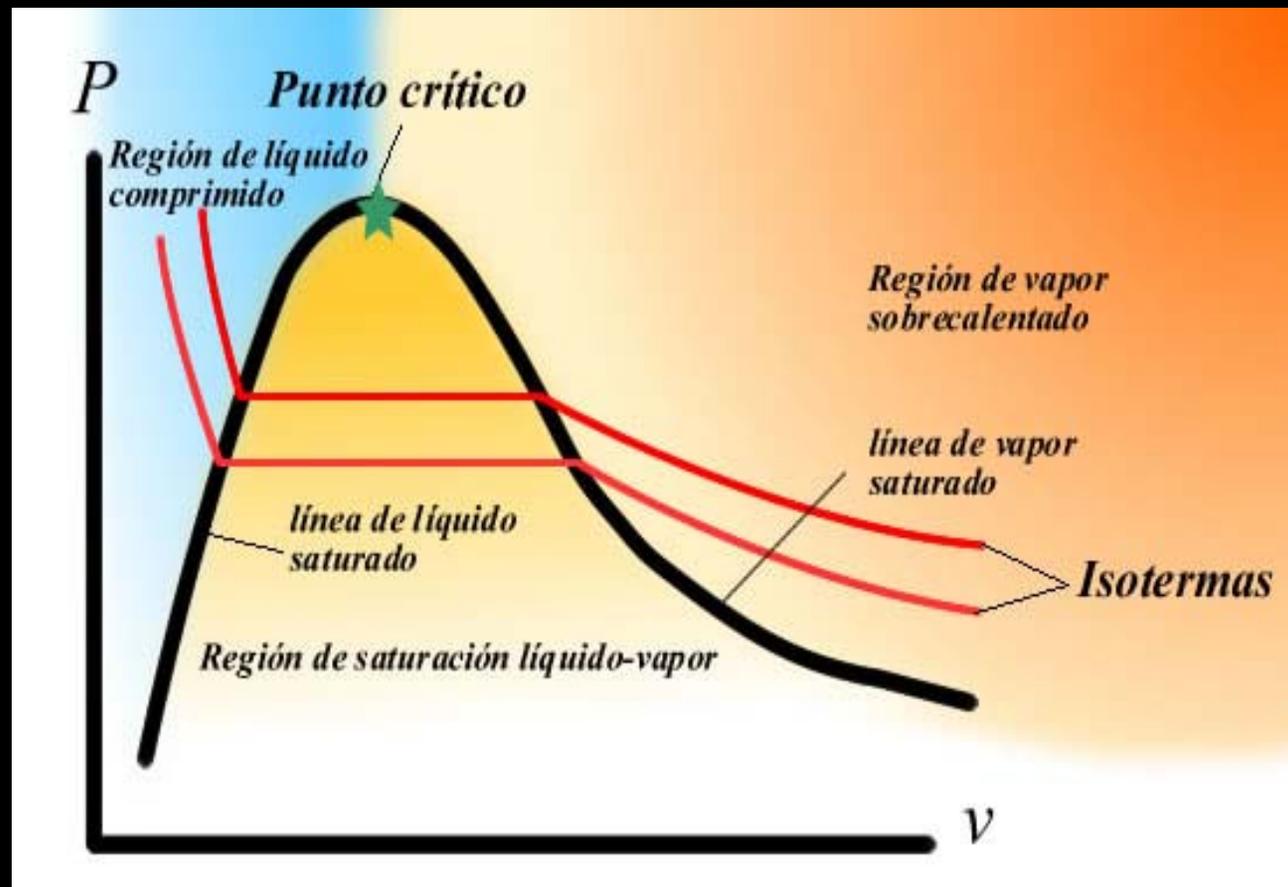


DIAGRAMA T-S DEL AGUA

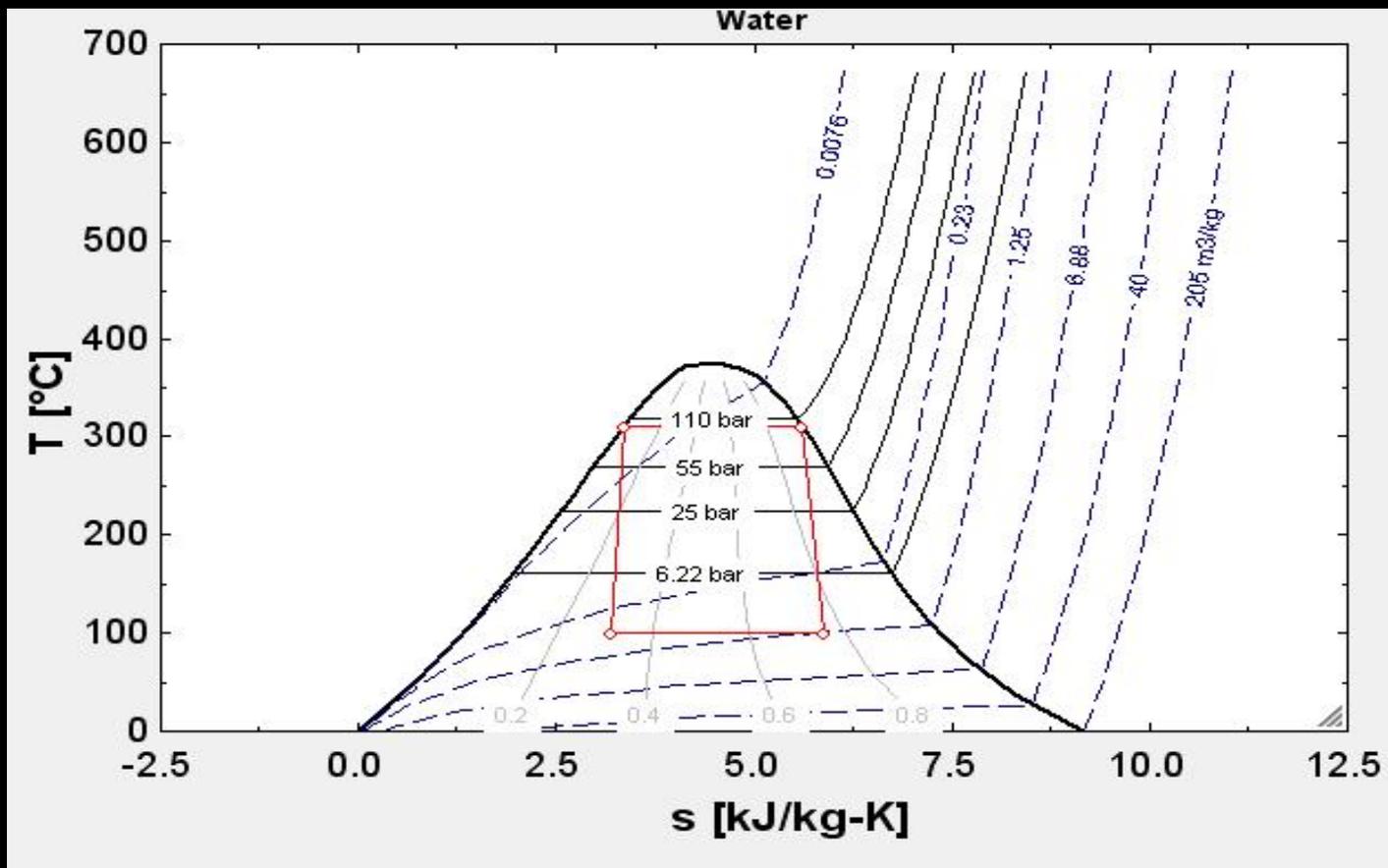


DIAGRAMA P-H DEL AGUA

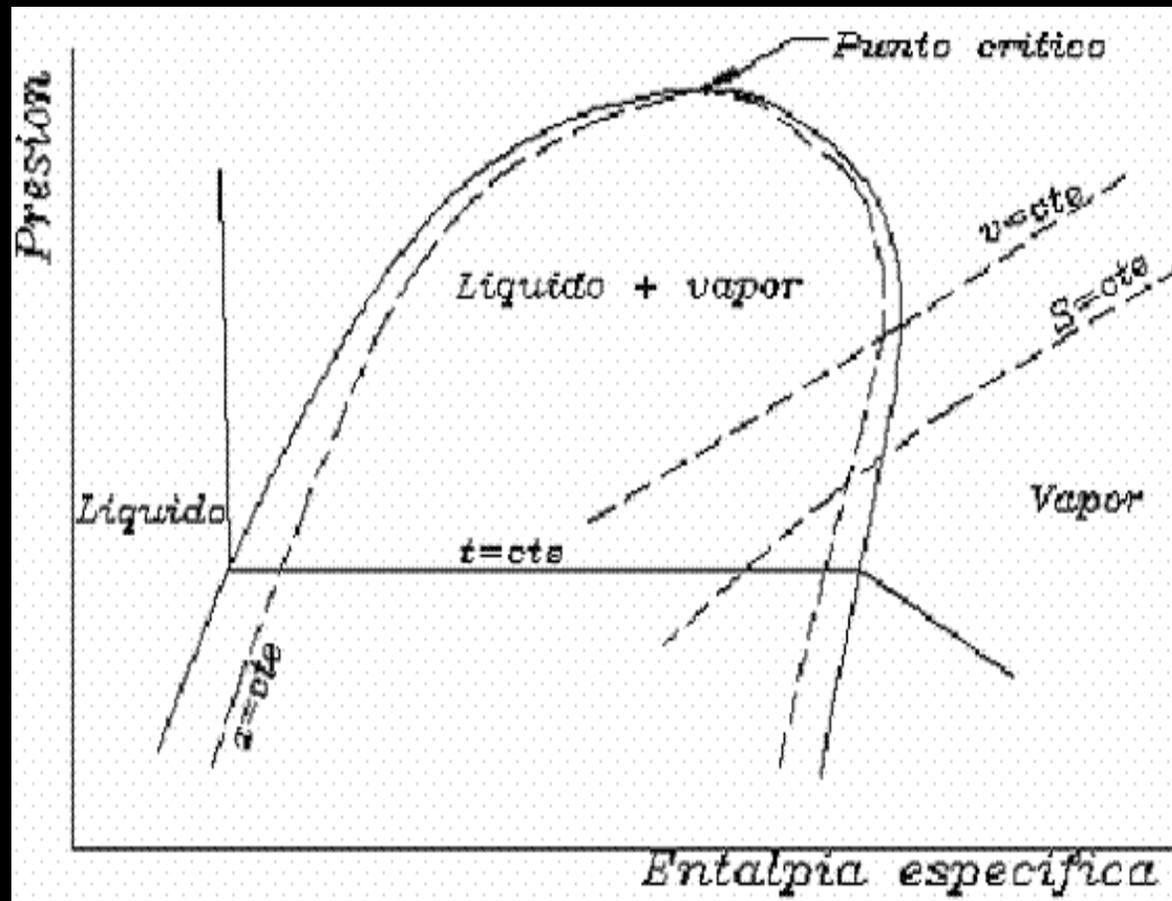
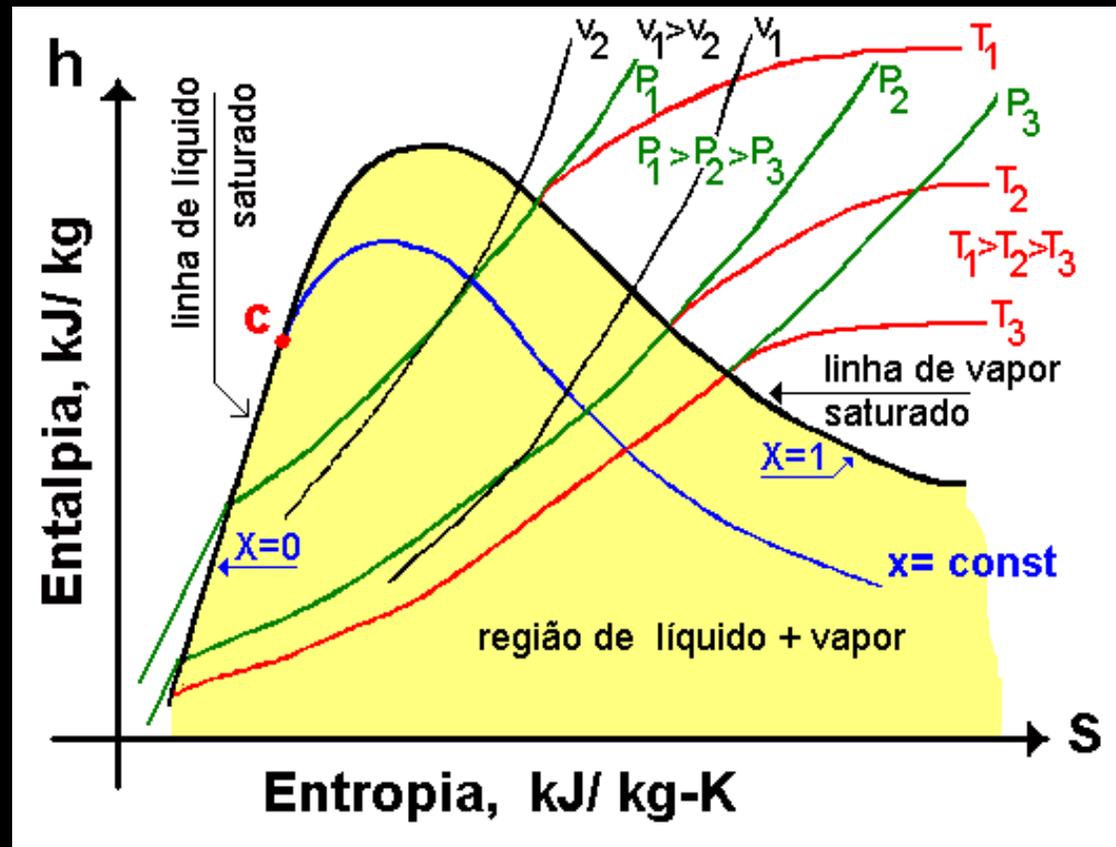


DIAGRAMA H-S DEL AGUA



EJERCICIO

CARACTERIZAR EL TIPO DE FLUIDO DE ACUERDO CON SUS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

T (°C)	P (kPa)	u (kJ/kg)	Fluido
50	9		
80	70		
125		1500	
170	791.7		
190		2590	

USO DE TABLAS Y CALIDAD DE UNA MEZCLA

- Otra manera alterna de presentar las propiedades termodinámicas de las sustancias, además del uso de los diagramas, es mediante el uso de tablas, en las cuales generalmente se enlistan los valores de p, T, v, u, h y s . Las tablas más utilizadas son:

i) Tabla de saturación.

- Esta tabla permite conocer las propiedades de un líquido saturado, de un vapor saturado o de una mezcla, una vez que se fija el valor de una propiedad intensiva, normalmente la presión o la temperatura.

USO DE TABLAS Y CALIDAD DE UNA MEZCLA

ii) Tabla de vapor de agua sobrecalentado.

- El conocimiento de dos propiedades intensivas permite conocer las demás propiedades para fluidos de esta naturaleza.

ii) Tabla de líquido comprimido o subenfriado.

- Aquí también el conocimiento de dos propiedades intensivas permite conocer las demás propiedades; sin embargo, una buena aproximación, si no se cuenta con tablas de líquido comprimido, se puede alcanzar utilizando las tablas de saturación y con la temperatura del fluido consultar las demás propiedades (las rotuladas con el subíndice f).

USO DE TABLAS Y CALIDAD DE UNA MEZCLA

- Con los valores indicados en la tabla de saturación es posible conocer las propiedades de una mezcla en equilibrio líquido-vapor.
- Si V es el volumen total de una mezcla:

$$V = V_f + V_g = m_f v_f + m_g v_g$$

- Al dividir cada uno de los términos entre la masa total de la mezcla (m), se obtiene:

$$\frac{V}{m} = v = \frac{m_f}{m} v_f + \frac{m_g}{m} v_g$$

- Expresión en la que v representa el volumen específico de la mezcla, y los subíndices f y g , el líquido saturado y el vapor saturado, respectivamente.

USO DE TABLAS Y CALIDAD DE UNA MEZCLA

- El cociente entre la masa del vapor y la masa total de la mezcla se le conoce como calidad (x), y la humedad (y), corresponde al cociente entre la masa del líquido y la masa total. Así, la expresión anterior se puede expresar como:

$$v = \frac{m_f}{m} v_f + \frac{m_g}{m} v_g = y v_f + x v_g$$

- Ya que la calidad más la humedad de una mezcla corresponde a la unidad, se tiene,

$$v = (1 - x) v_f + x v_g = v_f + x (v_g - v_f) = v_f + x v_{fg}$$

- Donde:

$$v_{fg} = v_g - v_f$$

USO DE TABLAS Y CALIDAD DE UNA MEZCLA

- Las otras propiedades específicas de la mezcla se expresan de manera análoga al volumen específico:

$$u = u_f + x u_{fg}$$

$$h = h_f + x h_{fg}$$

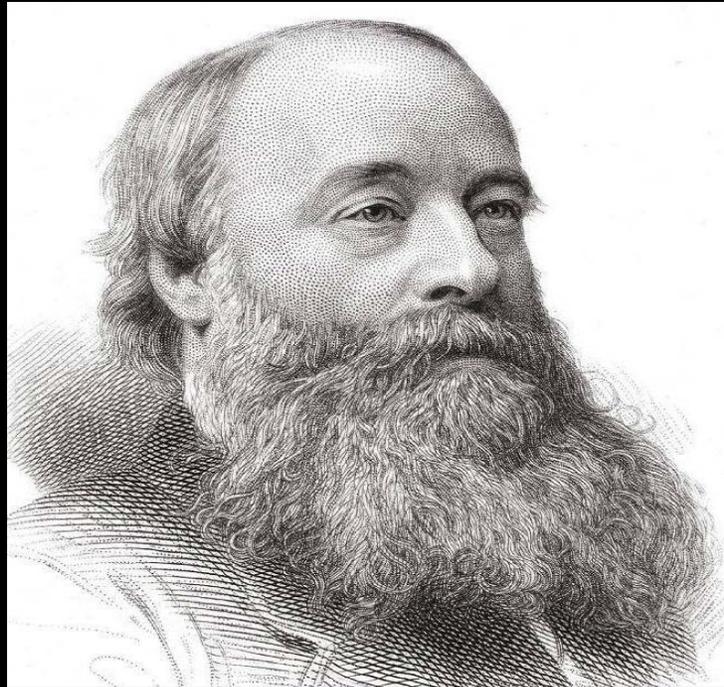
$$s = s_f + x s_{fg}$$

EJERCICIO

- ¿Cuánto vale la calidad de una mezcla si la mitad del volumen del recipiente está ocupado por agua como líquido saturado y la otra mitad por agua como vapor saturado?
- El recipiente tiene un volumen de 10 (L) y la temperatura de la mezcla es de 95 °C.

EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- Fue descrito por James Prescott Joule y William Thomson en 1852.



EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- Fue descrito por James Prescott Joule y William Thomson en 1852.

James Prescott Joule nació en 1818 en Inglaterra en el seno de una familia dedicada a la fabricación de cervezas. De carácter tímido y humilde, recibió clases particulares en su propio hogar de física y matemáticas, siendo su profesor el químico británico **John Dalton**; compaginaba estas clases con su actividad profesional, trabajando junto a su padre en la destilería.

Fue uno de los más notables físicos de su época, es conocido sobre todo por sus investigaciones en electricidad y termodinámica.

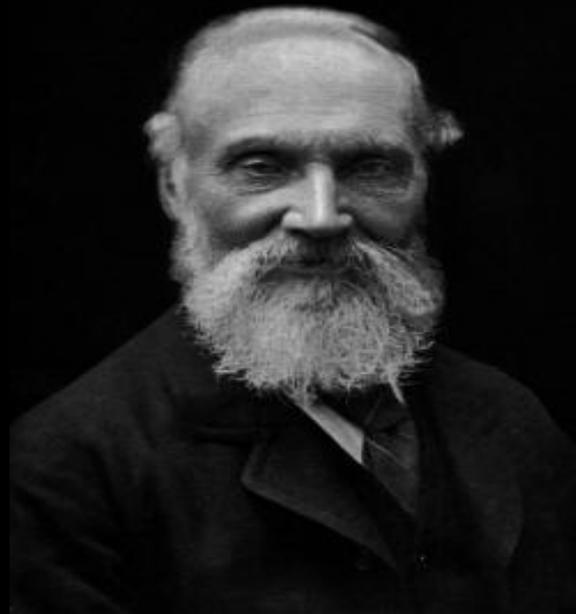
Joule estudió el magnetismo, y descubrió su relación con el trabajo mecánico, lo cual le condujo a la teoría de la energía. La unidad internacional de energía, calor y trabajo, el Joule (o Julio), fue bautizada en su honor. Trabajó con **Lord Kelvin** para desarrollar la escala absoluta de la temperatura, hizo observaciones sobre la teoría termodinámica y encontró una relación entre la corriente eléctrica que atraviesa una resistencia y el calor disipado, llamada actualmente como ley de Joule. Joule recibió muchos honores de universidades y sociedades científicas de todo el mundo. Sus escritos científicos (2 volúmenes) se publicaron en 1885 y 1887 respectivamente.

Colaboró con Thomson (Lord Kelvin) en la investigación del enfriamiento de los gases, descubriendo el efecto Joule-Thomson.

Murió el 11 de octubre de 1889 en Salford, Inglaterra.

EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- Fue descrito por James Prescott Joule y William Thomson en 1852.



EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- Fue descrito por James Prescott Joule y William Thomson en 1852.

William Thomson, primer barón Kelvin, fue un físico y matemático británico, nacido en **Belfast, Irlanda del Norte**, el **26 de junio de 1824**. Estudió en la famosa **Universidad de Glasgow** y **Cambridge**; en el año de 1846 fue nombrado **catedrático de filosofía natural en la Universidad de Glasgow**, puesto que desempeñó hasta su jubilación.

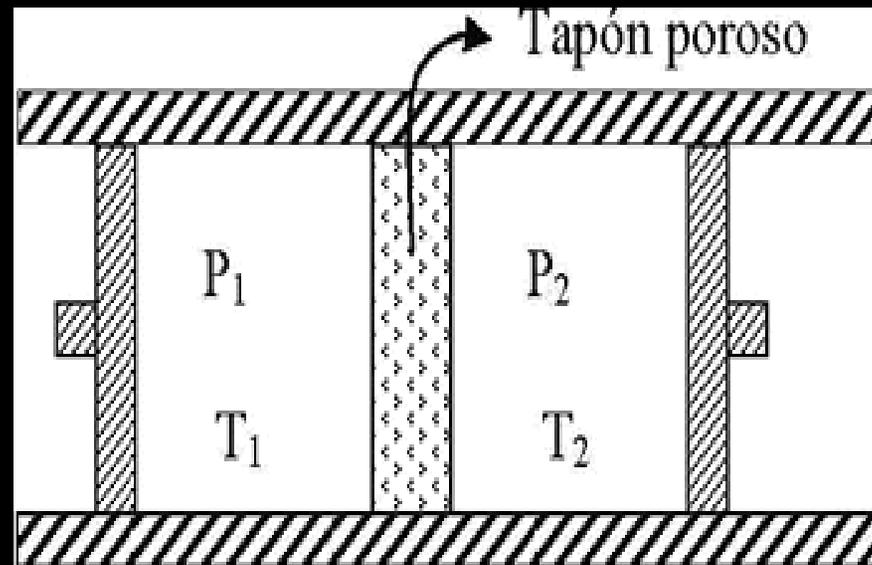
Kelvin fue el primer científico en llamar la atención sobre el campo de la **Termodinámica** con su fundamental descubrimiento de absorción calorífica llamado **Efecto Thomson**, el cual versa sobre las variaciones térmicas que sufren los gases cuando son obligados por efectos de una presión a pasar por orificios diminutos.

Como resultado de tales experiencias descubrió que el cero absoluto de temperatura se encuentra a los **-273 grados Celsius**, proponiendo una escala especial de temperatura, hoy llamada **Escala Kelvin**. Este físico además contribuyó con muchos inventos, como la **brújula marina**, el **sifón registrador** y el **galvanómetro de espejo** que permitieron el auge de la telegrafía submarina.

Thomson murió el **17 de diciembre de 1907**, en **Netherhall, Escocia**.

EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- A continuación se muestra el dispositivo del experimento de Joule-Thomson:



EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- En dicho experimento, la caída de presión se presenta al pasar el fluido por el tapón poroso que, generalmente, se fabrica de porcelana o de algodón. El dispositivo se construye de tal manera que la transferencia de calor y los cambios de energía cinética y potencial son despreciables. En otras palabras, el fluido fluye lo suficientemente lento a través del tapón poroso (restricción de flujo) y cualquier muestra finita que pasa por él está en un estado de equilibrio.
- De este modo, la primera ley de la termodinámica para el sistema, que opera en estado permanente con flujo también permanente, se reduce a:

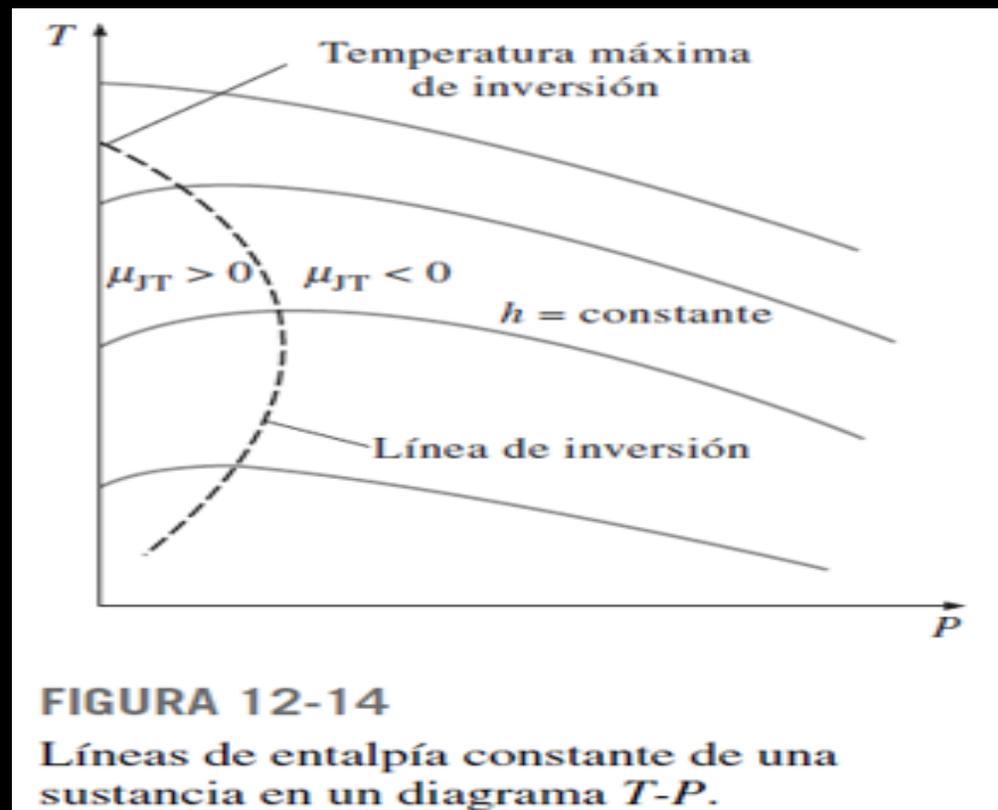
$$h_{ent} = h_{sal}$$

EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- Los datos que se obtienen en el experimento se grafican en un diagrama T-p. Se observa que cada una de las curvas de entalpia constante tiene un máximo llamado punto de inversión. El lugar geométrico de todos estos puntos de inversión recibe el nombre de curva de inversión.
- En cada uno de los puntos de inversión se satisface que:

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h = 0$$

EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON



EXPERIMENTO DE JOULE-THOMSON

- La curva de inversión delimita la zona de enfriamiento y calentamiento de una sustancia durante el experimento.
- Un coeficiente de Joule-Thomson positivo implica que se tiene una disminución de temperatura del fluido a la salida del tapón poroso, mientras que si se obtiene un valor negativo, la sustancia aumenta su temperatura después del estrangulamiento.
- El experimento de Joule-Thomson se aplica en el diseño de los sistemas de licuefacción de gases.

EJERCICIO

- Se estrangula vapor de agua desde 4.5 MPa y 400 °C hasta 3.5 MPa. Estime:
- a) El cambio de temperatura del vapor durante el proceso.
- b) El coeficiente de Joule-Thomson promedio.