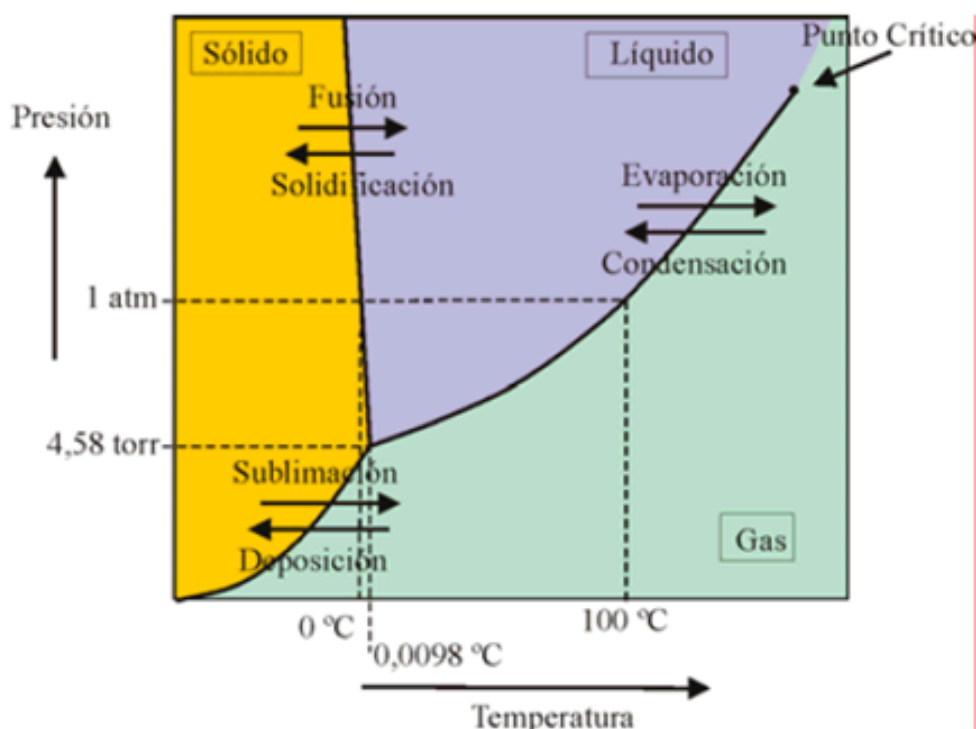


## EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR (ELV)

### 1. Objetivos y Fundamento Teórico

El objetivo de esta práctica es la obtención del calor latente de vaporización  $l^{vap}$  de dos sustancias: el agua y el alcohol etílico puro. Para ello tomaremos datos de presión  $P$  y temperatura  $T$  de cada uno de estos sistemas en la curva de coexistencia líquido-vapor, y ajustaremos estos datos a la ecuación de Clapeyron que caracteriza la curva de coexistencia y en la que aparece  $l^{vap}$  como parámetro de ajuste.



En el diagrama  $P$ - $T$  de un sistema de un componente (en la figura se representa el diagrama correspondiente al agua), la línea que separa dos fases  $\alpha$  y  $\beta$  del sistema se conoce como curva de coexistencia. Estableciendo el equilibrio entre las fases  $\alpha$  y  $\beta$  en la curva de coexistencia se obtiene la ecuación de Clapeyron, la cual determina la pendiente de la curva en cada punto:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta h^{\alpha \rightarrow \beta}}{T \Delta v^{\alpha \rightarrow \beta}} \quad (1)$$

donde  $\Delta h^{\alpha \rightarrow \beta}$  y  $\Delta v^{\alpha \rightarrow \beta}$  representan la variación de la entalpia por mol y la variación de volumen por mol, respectivamente, que experimenta el sistema al realizar el cambio de fase de primer orden entre  $\alpha$  y  $\beta$  a presión y temperatura constantes.

En la curva de coexistencia líquido-vapor  $\Delta h^{\alpha \rightarrow \beta} = l^{vap}$  por definición. Si además consideramos 1) que el volumen del gas es mucho mayor que la del líquido,  $v^{vap} \gg v^{liq}$ , y 2) que el sistema en fase vapor se comporta como un gas ideal,  $v^{vap} = \frac{RT}{P}$ , donde  $R$  es la constante universal de los gases ideales, tendremos:

$$\Delta v^{liq \rightarrow vap} = v^{vap} - v^{liq} \approx v^{vap} \approx \frac{RT}{P},$$

relación que utilizada en la Ec. (1) nos da:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{l^{vap}}{RT^2/P}$$

o bien:

$$l^{vap} = -R \frac{d \ln P}{d \left( \frac{1}{T} \right)} \quad (2)$$

La Ec. (2) nos permite obtener el calor latente de vaporización  $l^{vap}$  a partir de los valores de equilibrio  $P$  y  $T$ . En particular, nos permite calcular el calor de vaporización a partir de la pendiente de la recta que se obtiene al realizar un ajuste lineal de  $\ln P$  frente a  $1/T$ .

Nosotros en el laboratorio tomaremos pares de datos  $(P, T)$  en una región de la curva de coexistencia líquido-vapor que se encuentra lejana al punto crítico. En esta región de estudio podemos considerar como buenas las dos aproximaciones anteriores que asumimos al derivar la Ec. (2). Esto no sería posible si, por ejemplo, estudiásemos la curva de coexistencia en una región cercana al punto crítico, ya que en las proximidades del punto crítico se verifica que  $v^{vap} \approx v^{liq}$ .

## 2. Dispositivo Experimental



En el laboratorio disponemos de una cámara de ebullición que contiene alcohol puro (1) y otra que contiene agua destilada (1'). En las cámaras se establecerá el equilibrio entre la fase líquida y la fase vapor para cada una de estas dos sustancias. Previamente a la realización de la práctica, el técnico del laboratorio habrá realizado el vacío en cada una de las cámaras, utilizando unas salidas (2 y 2') que conectará a una bomba de vacío. De esta forma se tratará de evitar en la medida de lo posible la presencia en las cámaras de presiones residuales que puedan aparecer debido a un uso prolongado de las cámaras, y que puedan afectar de forma negativa (parásita) a la medida de las presiones en la región de coexistencia líquido-vapor.

Cada una de las cámaras dispone de un sensor de presión (3 y 3') acoplado a un manómetro digital externo (4) que mide la presión  $P$  en el interior de la cámara. El manómetro tiene una llave de dos vías (5) que nos permite elegir entre la cámara que contiene alcohol y la cámara que contiene agua. Previamente a su unión con el manómetro digital externo, cada uno de los sensores de presión se hace pasar por un baño de agua fría (6) con objeto de refrigerarlo y así poder evitar posibles daños en el manómetro debido a las altas temperaturas que se alcanzan en las cámaras de ebullición.

Cada cámara dispone además de una sonda (7 y 7') acoplada a un medidor de temperatura digital externo (8 y 8') que nos permite medir la temperatura  $T$  en el interior de la cámara. Cada cámara se encuentra apoyada sobre un calefactor eléctrico (9) con el que calentaremos la cámara.

### **3. Modus operandi**

A continuación se describe paso a paso todo el procedimiento experimental que se ha de llevar a cabo en el laboratorio. Haremos el estudio de las dos sustancias (agua y alcohol) por separado; primero estudiaremos una, el agua, y al finalizar, estudiaremos la restante, el alcohol.

1. Le pedimos al técnico de laboratorio que nos encienda el calentador eléctrico del agua, y que nos sitúe la llave del manómetro en la posición de la cámara correspondiente. Le pedimos también que nos encienda el manómetro y el medidor de temperatura.
2. Al conectar el calentador, la temperatura de la cámara de ebullición sube y por ende la presión. Procedemos a anotar pares ( $P, T$ ) hasta que la presión alcanza un valor de 5 bares. Llegados a este punto, le pedimos al técnico de laboratorio que desconecte el calefactor.
3. Tras un breve período de tiempo, la temperatura y la presión comienzan a bajar. Procedemos a anotar de nuevo pares ( $P, T$ ) hasta que la temperatura alcance 80 °C. Llegados a este punto daremos por finalizada la experiencia para el agua.
4. Repetimos todo el proceso (pasos 1.-3.) para el alcohol.

#### 4. Tratamiento de datos

El objetivo de esta práctica es la obtención del calor latente de vaporización  $l^{vap}$  del agua y el alcohol etílico puro. Para ello, utilizando los pares  $(P, T)$  medidos en laboratorio, realizaremos un ajuste lineal con término independiente ( $y = a + bx$ ) de  $\ln P$  frente a  $1/T$ . En virtud de la Ec. (2) el calor latente lo podremos calcular a partir de la pendiente del ajuste ( $b = -\frac{l^{vap}}{R}$ ). Haremos esto para los pares de datos  $(P, T)$  medidos durante el calentamiento y el enfriamiento de las cámaras de ebullición, tratándolos como dos muestras independientes de datos, lo que nos permitirá realizar un (mínimo) tratamiento estadístico de los resultados.