

PRÁCTICA 13

CURVA DE EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR DEL AGUA

OBJETIVO

Observación de la variación de la temperatura de ebullición del agua con la presión. Determinación del calor de vaporización del agua a partir de la medida de su presión de vapor a distintas temperaturas, entre 20 °C y 100 °C.

MATERIAL NECESARIO

Dispositivo experimental ya ensamblado que consta de:

- ✓ Matraz con agua (A)
- ✓ Manta calefactora (B) dotada de plataforma elevadora
- ✓ Termómetro de resistencia de Pt (C) que incluye sistema de regulación de la temperatura
- ✓ Refrigerador de serpentín (D) y balón grande (J) que evita que el vapor condense en el manómetro
- ✓ Manómetro de mercurio (F) que mide diferencias de presión respecto a la presión atmosférica
- ✓ Tubos de conexión con sus llaves de paso respectivas
- ✓ Bomba de vacío del tipo 'trompa de agua'.

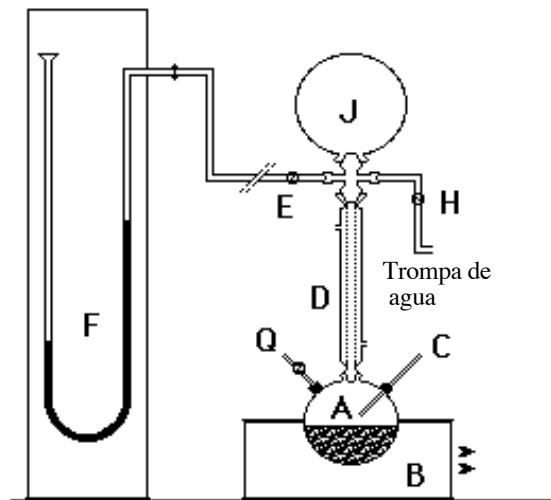


Figura 1. Dispositivo experimental

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La pendiente de la curva de equilibrio entre dos fases, correspondiente al diagrama presión-temperatura $p-T$, viene dada por la ecuación de Clausius-Clapeyron

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L_v}{T(v'' - v')} \quad (1)$$

siendo L_v el calor latente de cambio de fase (molar o específico), y v'' y v' los volúmenes específicos molares correspondientes a las fases de vapor y líquido, respectivamente.

En el caso de equilibrio líquido-vapor que nos ocupa, la presión de equilibrio p (la presión de la fase vapor en equilibrio con la fase líquida) se denomina presión de vapor. Si v'' representa el volumen molar (o específico) del vapor, entonces $v'' \gg v'$ y $v'' - v' \approx v''$. Aproximando el volumen molar del vapor $v'' = RT/p$, como un gas ideal, se obtiene

$$\frac{dp}{p} = \frac{L_v}{RT^2} dT \quad (2)$$

ecuación que, integrada admitiendo L_v constante en el intervalo de temperaturas considerado, conduce a

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{L_v}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (3)$$

donde p es la presión del vapor de agua correspondiente a la temperatura T .

La expresión anterior permite calcular el calor de vaporización L_v correspondiente a un pequeño intervalo de temperaturas. El calor de vaporización del agua varía ligeramente con la temperatura: a 0 °C es de 598 cal/g y a 100 °C de 540 cal/g. Como relación aproximada se puede emplear:

$$L_v(\text{cal/g}) = 598 - 0.52t(^{\circ}\text{C}). \quad (4)$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El montaje a emplear se muestra en la figura 1. Si a presión constante se suministra calor a un sistema líquido+vapor de agua+aire la temperatura crece mientras se elimina inicialmente el aire disuelto en el líquido en forma de burbujas. Posteriormente la temperatura permanece constante creando burbujas de agua pura en ebullición que debe ser viva. La presión de vapor de estas burbujas es la misma del sistema aire+vapor de la fase gaseosa, que medimos mediante el manómetro de mercurio. La presión se cambia (mediante la llave Q) admitiendo entre cada medida una pequeña cantidad de aire al interior del aparato. En este caso, la temperatura a medir debe ser la del agua, o en todo caso la del vapor muy próximo a las burbujas que rompen.

Se abre la llave H y se conecta la trompa de agua, comprobando que las llaves de paso están en la posición correcta. Hecho el vacío, se desconecta la trompa, y se cierra la llave H. Es importante comprobar si existen pérdidas: dejados transcurrir unos minutos no debe haber variación en la diferencia de alturas de las ramas manométricas. Se ha de establecer, para el primer ensayo, la menor presión posible (unos 20 mm Hg). Desde un principio se mantendrá abierto el circuito de refrigeración, para evitar que se condense agua en el manómetro.

Una vez estabilizada la temperatura de ebullición, se anotará ésta, así como la presión a que se realizó la experiencia. Hay que tener en cuenta que la presión que marca el manómetro F es diferencial (diferencia de presiones entre la atmósfera y la existente en el interior del aparato), por lo que, para calcular la presión que hay en el interior del aparato, la diferencia de altura entre las dos ramas del manómetro se restará de la presión atmosférica. Ésta se leerá en el barómetro del laboratorio y se corregirá por el efecto de temperatura.

Tomado el primer dato, se aumentará la presión en unos 0.5 cm Hg sobre el ensayo anterior, abriendo un poco la llave Q, tras lo cual se volverá a repetir la operación anterior, anotándose nuevamente los datos de presión y temperatura.

Para aumentar la temperatura se conecta la manta calefactora. *(No tocar el botón marcado con una T: no tiene ninguna aplicación para la práctica, sino sobre el funcionamiento interno.)*

Se espera hasta que el agua alcance de nuevo la ebullición en reflujo, es decir, el líquido hierve y la acción del agua fría que circula por la camisa de refrigeración D hace que condense y vuelve a A, encontrándose el sistema en estado estacionario. En el interior de A, y con objeto de que la ebullición no sea brusca, se han colocado unos trozos perfectamente limpios de cerámica, observándose, cuando se alcanza la ebullición, un continuo borboteo dentro del líquido problema.

Se anotan de nuevo los valores de presión y temperatura y se repite todo el proceso hasta que se alcanza la presión atmosférica (cada vez, se pide ir incrementando la presión en una cantidad ligeramente mayor que en la medida inmediatamente anterior). Así, se obtendrán diferentes pares de (temperatura del vapor, presión de vapor en equilibrio) que, empleados en conjunción con la ec. (3), permitirán obtener el calor de vaporización L_v en diversos intervalos.

Observaciones

- Una vez acabada la práctica, hay que bajar el calefactor mediante la plataforma de soporte, facilitando que se enfríe el líquido para la próxima sesión.
- Para la realización de cada medida es preciso esperar el tiempo suficiente para que se alcance el equilibrio; o en su caso, el estado estacionario: la temperatura se mantiene constante.
- Es necesario evitar que haya un exceso de vapor hacia el balón J, lo que se logra, si fuese necesario, aumentando el flujo de agua en el circuito de refrigeración, o disminuyendo la potencia de calefacción.
- Antes de accionar la trompa de agua para hacer el vacío, abrid la llave de paso señalizada con la letra H. Una vez hecho el vacío, hay que desconectar la trompa y cerrar, a continuación, la llave H.

Precauciones

- En el manejo de los aparatos eléctricos conectados a la red con el fin de evitar accidentes por electrocución: *no hay que tocar* las partes metálicas de dichos aparatos *con las manos húmedas* o ropas mojadas si éstos están conectados.
- Evitar también contactos con partes del montaje experimental a temperatura alta que puedan producir quemaduras (manta eléctrica, matraz de ebullición, etc.).

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- Tabla con tres columnas: temperatura $t(^{\circ}C)$, presión de vapor experimental p y presión de vapor leída en la tabla adjunta p_{tab} , ambas en mm Hg. Comentarios comparativos.
- Gráfica $\ln p$ frente a $1/T$. Ajusta los valores a una recta y determina su pendiente. De ella deduce L_v , que será el valor medio en el intervalo de temperaturas que se trabaja.

Otra posibilidad es trabajar con pares de puntos y la relación (3) en dos o tres intervalos: p. ej. 20-25°C, 40-45°C y 60-65°C.

TABLA

PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA DE 0 A 100° C

(Haar, L., Gallagher, J.S., and Kell, G.S., *NBS/NRC Steam Tables*, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1984.)

$t/^{\circ}\text{C}$	P/kPa	P/mmHg	$t/^{\circ}\text{C}$	P/kPa	P/mmHg
0.0000	0.61129	4.5851	51.000	12.970	97.283
1.0000	0.65716	4.9291	52.000	13.623	102.18
2.0000	0.70605	5.2958	53.000	14.303	107.28
3.0000	0.75813	5.6864	54.000	15.012	112.60
4.0000	0.81359	6.1024	55.000	15.752	118.15
5.0000	0.87260	6.5450	56.000	16.522	123.93
6.0000	0.93537	7.0159	57.000	17.324	129.94
7.0000	1.0021	7.5164	58.000	18.159	136.20
8.0000	1.0730	8.0482	59.000	19.028	142.72
9.0000	1.1482	8.6122	60.000	19.932	149.50
10.000	1.2281	9.2115	61.000	20.873	156.56
11.000	1.3129	9.8476	62.000	21.851	163.90
12.000	1.4027	10.521	63.000	22.868	171.52
13.000	1.4979	11.235	64.000	23.925	179.45
14.000	1.5988	11.992	65.000	25.022	187.68
15.000	1.7056	12.793	66.000	26.163	196.24
16.000	1.8185	13.640	67.000	27.347	205.12
17.000	1.9380	14.536	68.000	28.576	214.34
18.000	2.0644	15.484	69.000	29.852	223.91
19.000	2.1978	16.485	70.000	31.176	233.84
20.000	2.3388	17.542	71.000	32.549	244.14
21.000	2.4877	18.659	72.000	33.972	254.81
22.000	2.6447	19.837	73.000	35.448	265.88
23.000	2.8104	21.080	74.000	36.978	277.36
24.000	2.9850	22.389	75.000	38.563	289.25
25.000	3.1690	23.769	76.000	40.205	301.56
26.000	3.3629	25.224	77.000	41.905	314.31
27.000	3.5670	26.755	78.000	43.665	327.51
28.000	3.7818	28.366	79.000	45.487	341.18
29.000	4.0078	30.061	80.000	47.373	355.33
30.000	4.2455	31.844	81.000	49.324	369.96
31.000	4.4953	33.718	82.000	51.342	385.10
32.000	4.7578	35.686	83.000	53.428	400.74
33.000	5.0335	37.754	84.000	55.585	416.92
34.000	5.3229	39.925	85.000	57.815	433.65
35.000	5.6267	42.204	86.000	60.119	450.93
36.000	5.9453	44.593	87.000	62.499	468.78
37.000	6.2795	47.100	88.000	64.958	487.23
38.000	6.6298	49.728	89.000	67.496	506.26
39.000	6.9969	52.481	90.000	70.117	525.92
40.000	7.3814	55.365	91.000	72.823	546.22
41.000	7.7840	58.385	92.000	75.614	567.15
42.000	8.2054	61.546	93.000	78.494	588.75
43.000	8.6463	64.853	94.000	81.465	611.04
44.000	9.1075	68.312	95.000	84.529	634.02
45.000	9.5898	71.929	96.000	87.688	657.71
46.000	10.094	75.711	97.000	90.945	682.14
47.000	10.620	79.657	98.000	94.301	707.32
48.000	11.171	83.789	99.000	97.759	733.25
49.000	11.745	88.095	100.00	101.32	759.96
50.000	12.344	92.588			