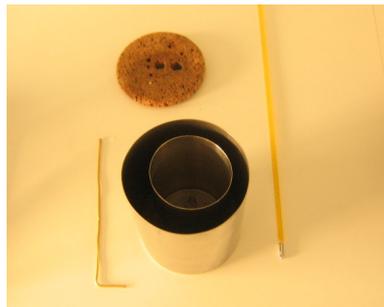




LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA 1: TÍTULO DE UN VAPOR HÚMEDO





1. OBJETIVO

Determinar la calidad de un vapor húmedo

2. MATERIAL

- Calderín para producir el vapor ($p_{\text{atmosférica}} = \text{constante}$)
- Calorímetro adiabático de doble pared
- Termómetro
- Cronómetro
- Tablas de las propiedades termodinámicas del agua saturada

3. INTRODUCCIÓN

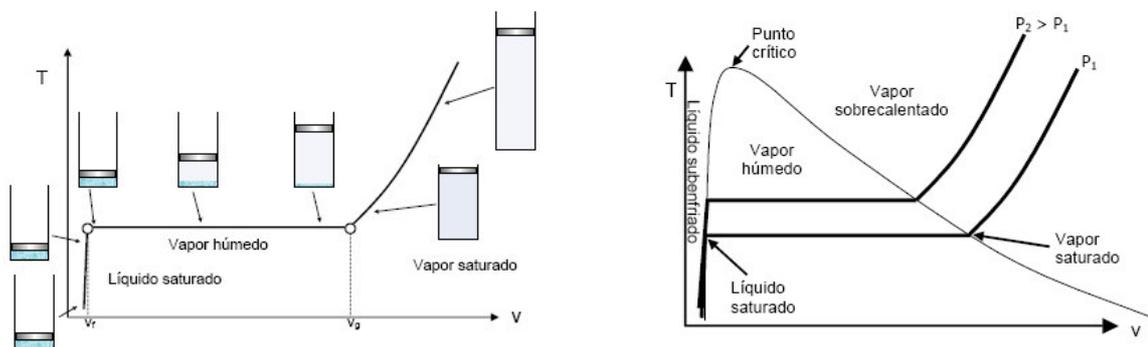
La determinación experimental del título o calidad de un vapor es práctica habitual en determinados procesos industriales que utilizan vapor como agente caloportador. Tal es el caso, por ejemplo, de las centrales térmicas de potencia, o los procesos de calefacción. Las calderas son los elementos encargados de generar vapor.

Como agente caloportador, el vapor de agua ofrece indudables ventajas técnicas y económicas: facilidad de obtención, materia prima económica y abundante, incombustible, etc., pero quizás la mayor ventaja radica en que su calor latente de condensación es el mayor que se conoce.

4. FUNDAMENTO TEÓRICO

Proceso isóbaro de calentamiento de un líquido

La producción de vapor tiene lugar en un calderín donde se calienta agua a presión (atmosférica) constante.



Al principio, la temperatura aumenta considerablemente mientras que su volumen específico apenas varía. Cuando la temperatura alcanza los 100°C se empieza a formar vapor a temperatura constante. El inicio de la vaporización se denomina **líquido saturado**; el final, **vapor saturado**. Entre esos dos estados se produce la vaporización: el fluido está formado por dos fases, vapor y líquido y se denomina **vapor húmedo**.



El fluido con una temperatura menor que la de vaporización es un **líquido subenfriado**; el vapor con temperatura mayor que la de vaporización es un **vapor sobrecalentado**.

En el intervalo en el que hay dos fases, la temperatura se mantiene constante. Por tanto, hay dos discontinuidades en la pendiente, que coinciden con el inicio y el final del cambio de fase.

A presiones elevadas, se reduce la diferencia entre el volumen del líquido saturado y el del vapor saturado; las dos curvas se unen en el punto crítico. Por encima de la presión crítica, el paso de líquido a vapor se verifica de modo continuo, sin aparición de superficies de separación entre las dos fases. En el caso del agua, las coordenadas críticas son:

$P_c = 22,12 \text{ MPa}$, $T_c = 374,15 \text{ °C}$.

Calor Latente

Es la cantidad de calor, agregado o eliminado a 1 Kg masa de una determinada sustancia, con el fin de lograr el cambio de fase de toda su masa. Puede ser calor latente de condensación o de vaporización.

$$Q_L = m_V (h'' - h') \quad (1)$$

Q_L = Calor latente de vaporización o condensación (kJ)

h' = Entalpía específica del líquido saturado (kJ/kg)

h'' = Entalpía específica del vapor saturado (kJ/kg)

Título de un vapor húmedo

En las regiones bifásicas líquido–vapor se define el **título** o **calidad del vapor** (x) como la fracción en peso de vapor; es decir la masa de vapor que hay en la mezcla.

$$x = \frac{m_V}{m_{LV}} ; 0 < x < 1 \quad (2)$$

x = Título o calidad del vapor

m_{LV} = masa de la mezcla = $m_L + m_V$

m_V = masa de vapor

m_L = masa de líquido

Para medir el título de un vapor se procede a condensarlo en un calorímetro con agua. En este proceso de condensación, que se produce a presión constante, se pierde una energía (en forma de calor) que la absorbe el calorímetro.

$$|Q_p| = Q_g \quad (3)$$

Calor perdido (vapor de agua) = Calor absorbido (calorímetro)

Calor cedido por el vapor de agua

El vapor de agua al condensarse pasa desde el estado inicial (salida del calderín) en forma de vapor húmedo hasta el estado final en forma de líquido subenfriado a la temperatura final T_F (calorímetro).

$$|Q_p| = \Delta H_{vapor} = m_V (\Delta h)_{vapor} = m_V (h_{inicial} - h_{final}) \quad (4)$$



$$h_{inicial} = h_x = h' + x (h'' - h')$$

$h_{final} = h_L$ = Entalpía específica del agua en el calorímetro a la temperatura T_F

Calor absorbido en el calorímetro

La temperatura inicial del agua del calorímetro, T_i , irá aumentando a medida que el vapor vaya condensando hasta alcanzar la temperatura final de equilibrio T_F . El calor absorbido se invierte en calentar el agua y el propio calorímetro.

$$Q_g = (M_A + K) \Delta T \quad ; \quad K = M_C \cdot c_e \quad (5)$$

M_A = Masa de agua

K = Equivalente en agua del calorímetro (g)

M_C = Masa del calorímetro

c_e = Calor específico del calorímetro

Nota: El calorímetro es de Aluminio cuyo calor específico es: $c_{Al} = 0,212 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

Aplicando la condición de equilibrio (3) y teniendo en cuenta (4) y (5) se obtiene el título de un vapor húmedo:

$$x = \frac{\frac{(M_A + K)}{m_v} \Delta T + (h_L - h')}{(h'' - h')} \quad (6)$$

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Calentar el calderín para provocar la producción de vapor. Se puede controlar la cantidad de agua mediante el nivel que lleva incorporado.
Mientras tanto, preparar las condiciones iniciales del agua contenida en el calorímetro; para ello, introducir una masa de agua, M_A , a la temperatura inicial T_i de 10°C , simplemente añadiendo hielo.
La masa de agua se obtiene por diferencia de pesadas del calorímetro en vacío y lleno de agua:

$$M_A = M_i - M_o$$

M_o = Masa del calorímetro vacío

M_i = Masa del calorímetro lleno de agua a la temperatura T_i

2. Cuando comience la aparición del vapor, conducirlo al calorímetro para que borbotee y vaya condensando al entrar en contacto con la masa de agua fría.
El calor cedido por el vapor irá elevando progresivamente la temperatura del agua. Medir esta temperatura cada 20 segundos para controlar el proceso.
3. Continuar el aporte de vapor hasta conseguir que el agua alcance una temperatura final, T_F , tal que su diferencia con la temperatura ambiente sea la misma que la existente entre la temperatura inicial y la ambiente:

$$T_F - T_{ambiente} = T_{ambiente} - T_i$$

Una vez finalizado el aporte de vapor, determinar por diferencia de pesadas, la masa de vapor, m_v , responsable del calentamiento del agua contenida en el calorímetro:

$$m_v = M_F - M_i$$



M_F = Masa de agua + Masa del calorímetro a la temperatura T_F

4. Mediante las tablas de las propiedades termodinámicas del vapor de agua saturada obtener las entalpías específicas necesarias para calcular el título del vapor. Es necesario conocer previamente la presión atmosférica, que se puede leer en el barómetro del laboratorio y corregir la lectura mediante las tablas adjuntas. Para obtener la entalpía específica del agua en estado líquido (h_L) hay que considerar que el calor absorbido durante su calentamiento (proceso a $p = \text{cte}$) corresponde a la variación de entalpías desde el estado de referencia ($h_0 = 0$, $t_0 = 0^\circ\text{C}$) hasta el estado final (h_L , T_F):

$$Q_{\text{absorbido}} = M_{\text{agua}} \Delta h = M_{\text{agua}} \cdot (h_L - h_0) = M_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T_F - t_0)$$

$$h_L \approx T_F$$

Resultados

1. Anotar en una tabla los valores medidos de temperatura y tiempo. Trazar la gráfica *temperatura – tiempo* e interpretar la curva obtenida.

Temperatura	Tiempo
...	...

2. Completar la tabla de resultados que se acompaña a continuación.
3. Obtener el título del vapor.

IMPORTANTE: No olvidarse de efectuar el cálculo de errores asociado a todas las medidas.

**TABLA DE RESULTADOS**

Temperaturas	Masas
$T_i =$	$M_o =$
$T_F =$	$M_i =$
	$M_A =$
	$M_F =$
	Masa de vapor $m_v =$
Condiciones ambientales Lectura del barómetro: Presión corregida: $T_{\text{ambiente}} =$	Entalpías específicas $h_L =$ $h' =$ $h'' =$
Título del vapor $x =$	



ANEXO

Las lecturas barométricas y sus correcciones

Las lecturas en los barómetros de mercurio de cubeta móvil presentan tres errores con sus correspondientes correcciones:

1º CORRECCION POR TEMPERATURA

Las variaciones de temperatura producen variaciones en la densidad del mercurio y dilataciones, por lo que para poder comparar las distintas lecturas se deben corregir a la lectura que marcarían a una misma temperatura.

La temperatura que se toma como patrón es la de cero grados, por lo que esta corrección se denomina también a REDUCCION A CERO.

Existen tablas con factores de corrección para cada temperatura. Multiplicando la lectura de la presión en el barómetro (en mm de Hg.) por el factor correspondiente a la temperatura que indica el termómetro unido se tiene la cantidad a restar a la lectura, para obtener el valor de la presión reducido a cero grados.

En esta página web: <http://www.princoinstruments.com/> hemos hallado la siguiente tabla de factores de corrección (tabla 5 del documento booklet):

T°C	Multiplicador	T°C	Multiplicador
50º	-0.008,096	25º	-0.004,67
48º	-0.007,775	24º	-0.003,905
46º	-0.007,454	23º	-0.003,743
44º	-0.007,133	22º	-0.003,580
42º	-0.006,811	21º	-0.003,418
40º	-0.006,489	20º	-0.003,256
39º	-0.006,328	19º	-0.003,094
38º	-0.006,167	18º	-0.002,932
37º	-0.006,005	17º	-0.002,769
36º	-0.005,844	16º	-0.002,607
35º	-0.005,683	15º	-0.002,444
34º	-0.005,521	14º	-0.002,282
33º	-0.005,360	13º	-0.002,119
32º	-0.005,199	12º	-0.001,957
31º	-0.005,037	11º	-0.001,794
30º	-0.004,875	10º	-0.001,631
29º	-0.004,714	8 º	-0.001,305
28º	-0.004,552	6 º	-0.000,979
27º	-0.004,390	4 º	-0.000,653
26º	-0.004,228	2 º	-0.000,327

Como el barómetro no es necesario que esté al exterior, difícilmente el termómetro unido va a tener temperaturas negativas.

**2º CORRECCION INSTRUMENTAL**

Al valor de la presión reducido a cero grados es preciso añadir otra corrección debida a errores del propio instrumento, como lo que la capilaridad rebaja en la columna y los errores de graduación de escala y el cero.

Por eso los barómetros oficiales, antes de ponerse en servicio son estudiados por una Oficina Central de cada Servicio Meteorológico, donde se les da un certificado con la corrección instrumental total que deberá sumarse a las alturas barométricas reducidas a cero grados.

3º REDUCCION A LA GRAVEDAD NORMAL

Debido a las variaciones de la intensidad de la gravedad a distintas latitudes geográficas, y para poder comparar las lecturas de dos barómetros situados en lugares diferentes de la Tierra, es preciso reducir todas las columnas barométricas a la altura que tendrían si la aceleración de la gravedad fuese la misma.

Convencionalmente se ha adoptado como valor tipo el correspondiente al nivel del mar y a una latitud de 45º. Estas correcciones suelen, en general, ser menores que las anteriores.

La tabla para correcciones por latitud geográfica es la siguiente. Para latitudes entre 0º y 45º estos valores han de ser restados y para latitudes superiores deben ser sumados:

		ALTURAS BAROMETRICAS EN MM. REDUCIDAS A CERO GRADOS							
LATITUD		680	700	720	740	750	760	770	780
0º	90º	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
5	85	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
10	80	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
15	75	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
20	70	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
25	65	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
30	60	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	55	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
40	50	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
45	45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Por último, la tabla para la corrección por altitud, cuyos valores deben restarse a la altura barométrica:

		ALTURAS BAROMETRICAS EN MM.				
ALTITUD		400	500	600	700	800
500		0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
1000		0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
2000		0,0	0,2	0,2	0,3	0,0
3000		0,0	0,3	0,4	0,0	0,0
4000		0,3	0,4	0,5	0,0	0,0
5000		0,4	0,5	0,0	0,0	0,0



Veamos un ejemplo:

Partiendo de los siguientes datos:

- Lectura barómetro: 743.2mm
- Lectura termómetro unido: 16.3 °C
- Corrección instrumental: + 0,3
- Latitud: 30°
- Altitud: 850 m

1º Corrección por temperatura:

Para 16° el factor que corresponde es -0.002607 , por lo que el valor de la corrección es igual a: $743.2 \times -0.002,607 = -1.94$

Por tanto la altura barométrica reducida a 0°C es $743.2 - 1.94 = 741.26$

2º Corrección instrumental:

Le sumamos la correspondiente a este barómetro: $741.26 + 0.3 = 741.56$ mm

3º Corrección por gravedad:

Respecto a la latitud, vemos en la tabla que a 30° y 740 mm corresponde restar 1.0 por tanto:

$$741.56 - 1.0 = 740.56$$

Y por último en el cuadro de abajo vemos que para 1000 m de altitud y una altura barométrica de 700 hay que restar 0.1, por lo que nos queda:

$$740.56 - 0.1 = \mathbf{740.46 \text{ mm de Hg.}}$$

Ese valor sería la presión atmosférica reducida a cero grados, corregido el error instrumental y llevado a la gravedad existente a una latitud de 45 ° y 0 metros de altitud.

Información extraída del siguiente enlace:

http://www.meteosort.com/meteosort/cas/q_d_2.htm

<http://www.meteored.com/ram/numero4/pdf/tablas.pdf>