

Transductores de temperatura y efecto Leidenfrost

OBJETIVOS:

- Utilizar y caracterizar transductores de temperatura, en particular su sensibilidad y respuesta temporal
- Manipular nitrógeno líquido
- Medir la tasa de transferencia de calor de un sólido a un líquido
- Identificar las distintas etapas del proceso de ebullición, en particular el punto de Leidenfrost y el rol de la superficie de contacto.
- Análisis de datos dependientes del tiempo considerando parámetros variables y la respuesta temporal de los instrumentos.

CONCEPTOS NECESARIOS PARA LA PRÁCTICA:

- Termocuplas. Principio de funcionamiento. Tipos.
- Termistores. Principio de funcionamiento. Tipos.
- Capacidad calorífica específica
- Capacidad latente de vaporización
- Respuesta instrumental (respuesta al escalón) y deconvolución de señales.

INTRODUCCIÓN BREVE:

El efecto Leidenfrost es un fenómeno que ocurre cuando un líquido se encuentra en contacto con una masa que está a una temperatura bien por encima del punto de ebullición del líquido. En estas condiciones se produce una capa de vapor entre el cuerpo caliente y el líquido que actúa como aislante y reduce la tasa de transferencia de calor. El nombre hace honor a Johann Gottlob Leidenfrost, quien presentó un estudio sobre este efecto para el caso de agua en 1796.

El proceso de ebullición es general complejo y algunas de sus características son de gran importancia industrial. Consideremos un líquido, por ejemplo agua, en contacto con una superficie sólida, cuya temperatura puede controlarse. A continuación describiremos los procesos que ocurren a medida que la temperatura de la superficie sólida se aumenta. Lo primero que ocurre cuando el agua se calienta es que moléculas de aire son desplazadas fuera del agua (la solubilidad de los gases se reduce al aumentar la temperatura) en forma de pequeñas burbujas que se nuclean en imperfecciones de la superficie. Las burbujas de aire crecen hasta que logran desprenderse del fondo de la olla y se elevan a la superficie superior del agua. Estas primeras burbujas no tienen nada que ver con la ebullición, simplemente indican que el agua se está calentando.

La temperatura de ebullición a presión atmosférica se denomina punto normal de ebullición. Para el agua es 100°C. El agua en el fondo de la olla no está directamente en contacto con la atmósfera y puede mantenerse líquida a temperaturas superiores, sobrecalentada por algunos grados. Durante este proceso, el agua se mezcla constantemente por convección, ya que el agua caliente de menor densidad asciende y el agua más fría desciende. Si la temperatura de la superficie continua aumentando, la capa inferior de agua comienza a evaporarse. Moléculas de agua comienzan a formar pequeñas burbujas de vapor

nucleadas en imperfecciones de la superficie, de modo análogo a como lo hacían las moléculas de aire. Estas pequeñas burbujas crecen y se expanden. Cuando toman contacto capas superiores de agua que están levemente más frías, el vapor se condensa y las burbujas colapsan abruptamente produciendo una onda sonora que puede escucharse como si fuese una diminuta explosión con sonido metálico, o incluso un zumbido cuando la ebullición es intensa.

A medida que la temperatura de toda la masa de agua aumenta, las burbujas logran desprenderse del fondo y solo colapsan en algún punto de su camino hacia la superficie superior del agua. Esta etapa de la ebullición se denomina de “burbujas de vapor aisladas”. Si uno aumenta aún más la temperatura de la superficie sólida, el clamor de las burbujas colapsando primero aumenta y luego desaparece. El ruido se hace más suave cuando la temperatura del seno del líquido es suficientemente alta para permitir que las burbujas alcancen la superficie superior del agua y se abran liberando el vapor. Esta etapa es la ebullición propiamente dicha. En condiciones usuales, como en la cocina hogareña, la historia termina ahí. Sin embargo, en el laboratorio o en situaciones industriales, es posible que la superficie sólida alcance temperaturas aún más altas. Entonces las burbujas se generan y desprenden de la superficie tan frecuentemente que coalescen y forman columnas de vapor que se arremolinan de manera violenta y caótica hacia arriba. La producción de burbujas y columnas de vapor se denomina ebullición de nucleación, porque la formación y crecimiento de las burbujas depende de su nucleación en imperfecciones de la superficie, denominados sitios de nucleación. Durante esta etapa, siempre que se aumente la temperatura de la superficie, aumenta también la tasa de transferencia de energía, en forma de calor, hacia el seno del agua.

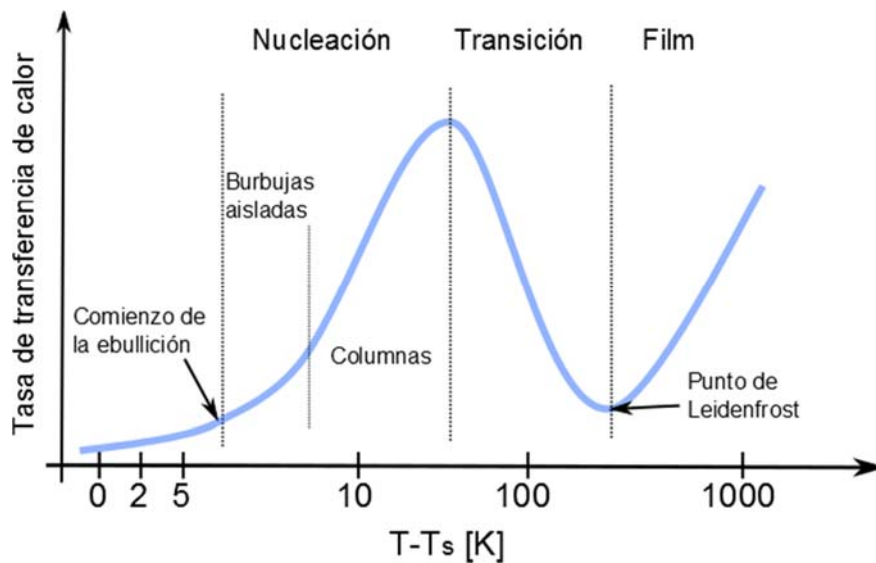


Figura 1. Etapas del proceso de ebullición.

Aumentando la temperatura de la superficie más allá de la etapa de nucleación, hace que la ebullición entre en una fase llamada régimen de transición, donde a medida que la temperatura de la superficie se incrementa, la tasa de transferencia de calor se reduce. En esta etapa, la mayor parte de la superficie caliente está cubierta por una capa de vapor. Dado que la conductividad térmica del vapor de agua es prácticamente un orden de magnitud menor que

la del agua, la tasa de transferencia de calor decrece a medida que la capa de vapor ocupa una fracción mayor de la superficie caliente.

Si continuamos aumentando la temperatura de la superficie, eventualmente esta se cubre completamente por una capa de vapor. La transferencia de calor hacia el líquido ocurre exclusivamente a través de la capa de vapor, de manera lenta e ineficiente mediante radiación y conducción. Esta fase se denomina ebullición de film o pelicular. En la figura 1 se muestra esquemáticamente como pueden reconocerse las distintas etapas del proceso de ebullición en un gráfico de tasa de transferencia de calor vs. temperatura relativa (diferencia de temperatura con respecto al punto de ebullición normal).

Una situación cotidiana donde puede verse el efecto Leidenfrost ocurre cuando se arrojan gotas de líquido sobre una superficie, p.e. agua sobre una sartén, suficientemente caliente. Si la sartén se encuentra por encima del punto de Leidenfrost, la gota de agua se desplaza por la superficie y demora en evaporarse mucho más de lo que tardaría si la sartén estuviese por encima del punto de ebullición, pero por debajo del punto de Leidenfrost. Lo mismo ocurre con las gotas de nitrógeno líquido sobre el piso a temperatura ambiente.

DISPOSITIVO y DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la práctica se observará el efecto Leidenfrost poniendo en contacto Nitrógeno líquido (NL) con una masa de cobre (Cu) a temperatura ambiente. El dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en la figura 2. Básicamente consiste de un contenedor térmico donde se coloca NL y el cilindro de Cu. El cilindro de Cu posee en una de sus caras perforaciones donde pueden colocarse sensores de temperatura en correcto contacto térmico mediante grasa siliconada o similar.

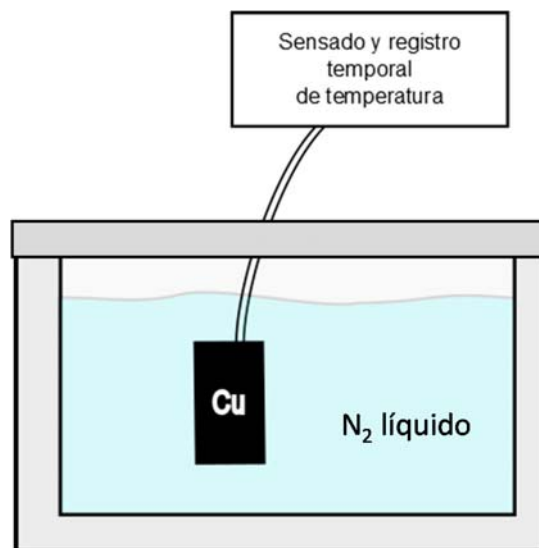


Figura 2. Dipositivo experimental.

La ebullición ocurre sobre la superficie del Cu a medida que esta se va enfriando. El primer ejercicio de esta práctica consiste entonces en observar las distintas etapas del proceso de ebullición, pero de manera inversa a la descripción dada en la introducción, es decir para una superficie que se va enfriando en lugar de calentarse.

Asumiendo que el dispositivo experimental se comporta como un sistema cerrado, la tasa de transferencia de calor (dQ/dt) entre el Cu y el NL puede calcularse mediante:

$$\frac{dQ}{dt} = mC_p(T) \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

donde m es la masa, C_p el calor específico a presión constante y T la temperatura del cuerpo de Cu. La masa m y la variación temporal de T se miden. La dependencia de C_p con T debe incorporarse mediante valores tabulados o ajustando una función adecuada a los valores tabulados. Graficando dQ/dt vs. T deben identificarse las etapas del proceso de ebullición.

TABLE 2. Heat capacity of copper ($\text{J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) (m.p. 1356 K)

T (K)	C_p	C_v	T (K)	C_p	C_v
1	0.000 743		100	16.01	15.91
2	0.001 77		120	18.25	18.11
3	0.003 37		140	19.87	19.65
4	0.005 82		160	21.05	20.78
5	0.009 43		180	21.94	21.59
6	0.014 5		200	22.63	22.23
7	0.021 3		220	23.17	22.72
8	0.030 1		240	23.60	23.07
9	0.041 4		260	23.94	23.36
10	0.055 5		280	24.22	23.58
12	0.093 6		300	24.45	23.74
14	0.149		350	24.88	24.02
16	0.225		400	25.25	24.23
18	0.328		450	25.61	24.44
20	0.462		500	25.91	24.58
25	0.963		550	26.21	24.70
30	1.693		600	26.48	24.79
35	2.64		650	26.73	24.87
40	3.74	3.74	700	26.99	24.94
50	6.15	6.14	800	27.48	25.03
60	8.595	8.58	900	28.04	25.15
70	10.86	10.83	1000	28.66	25.30
80	12.85	12.80	1100	29.48	25.57
90	14.56	14.49	1200	30.53	25.98
			1250	31.12	26.22
			1300	32.16	26.80

J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 13, No. 4, 1984

La segunda parte de la práctica consiste en estudiar si el estado de la superficie tiene algún efecto, modificándola de forma reversible (¿cómo?), y repitiendo las mediciones.

ALGUNAS PREGUNTAS A RESPONDER DURANTE LA PRÁCTICA E INCLUIR EN EL INFORME:

- Por qué se eligió un metal como el Cu? ¿Por qué tanta masa?
- Qué transductor de temperatura es más rápido? Cuál es más sensible? Cuál es más confiable?
- Puede recuperarse la respuesta real del sistema a pesar de usar un sensor lento?

PREGUNTAS PARA EL MINI EXAMEN PREVIO A LA PRÁCTICA:

- 1- En qué consiste el efecto Leidenfrost?
- 2- Cómo funciona una termocupla? Por qué existen distintos tipos de termocuplas?
- 3- Cómo funciona un termistor?
- 4- Qué es la capacidad calorífica de una sustancia? Qué es el calor latente de una transición de fase?
- 5- Cómo es el diagrama de fase p vs. T N_2 ? Esquematice y explique.Cuál es la T de transición líquido-vapor del N_2 a 1 atmósfera?
- 6- Explique las fases del proceso de vaporización cuando un cuerpo caliente se sumerge en un líquido a T menor que su T de vaporización.¹
- 7- Por qué no ocurre el efecto Leidenfrost justo a la temperatura de vaporización, sino que se necesita una temperatura mayor?
- 8- El efecto Leidenfrost puede llevar a situaciones peligrosas en experimentos y en la industria. Dé algunos ejemplos.
- 9- Qué es la respuesta al impulso de un sistema? Y la respuesta al escalón? Cómo se relacionan?
- 10- Cómo se obtiene la señal real a partir de una señal medida con instrumental de respuesta al escalón conocida?