

Dos experimentos para estudiar el efecto Leidenfrost

Julietta Romani, Paula Quiroga, María G. Larreguy y María Paz Frigerio

julietaromani@hotmail.com, comquir@ciudad.com.ar, merigl@yahoo.com.ar, mapaz@vlb.com.ar

*Laboratorio de Física III – 2002
Facultad de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina*

Estudiamos el efecto Leidenfrost que se produce al dejar caer una gota de agua en un objeto caliente o enfriar un objeto por inmersión en un líquido. En ambos procesos el líquido entra en ebullición violenta cuando se pone en contacto con el cuerpo caliente, pero cuando la diferencia de temperatura entre el objeto y el líquido es importante se puede apreciar un efecto bastante llamativo en el que el cuerpo se ve recubierto por una capa de vapor que mantiene al líquido aislado. Cuando la diferencia de temperaturas ya no es significativa, esta capa desaparece y el contacto térmico entre cuerpo y líquido mejora abruptamente.

Introducción

La persistencia de las gotas de agua sobre superficies a altas temperaturas fue descrita por el físico alemán Johann Gottlieb Leidenfrost, quien colocó pequeñas gotas de agua en una cuchara metálica al rojo incandescente, la cual estaba sometida constantemente al fuego. Observó que una vez que la cuchara había adquirido el color rojo, al colocar una gota, ésta permanecía líquida durante un minuto aproximadamente.¹

El efecto Leidenfrost también se puede observar al sumergir repentinamente en nitrógeno líquido un cuerpo que está a temperatura ambiente.^{2,3} El cuerpo queda envuelto en una capa de vapor y, a medida que se va enfriando, la violencia de la ebullición disminuye con el gradiente de temperatura. Finalmente, la capa de vapor se vuelve inestable y desaparece. El cuerpo rápidamente se enfría mientras que el gradiente de temperatura aumenta considerablemente. Esto corresponde a un incremento repentino observado en la ebullición. Luego toda la transferencia de energía se produce por convección sin observar ninguna burbuja.

En este trabajo queremos observar estos comportamientos, introduciendo también algunas variantes como ser agregarle una fina capa de grasa al cuerpo para investigar lo que se conoce como la paradoja de Leidenfrost.³

Método experimental

El primer experimento que realizamos fue colocar una gota de agua sobre una superficie caliente. Para llevarlo a cabo, pusimos una tela de amianto sobre un trípode para sostener una pieza

metálica de superficie cóncava (Figura 1). Con una pistola de calor calentamos la pieza de metal por debajo, aumentando su temperatura y evitando que la misma afectara a la gota que colocamos sobre la pieza. De esta forma pudimos observar cuál era el tiempo de vida de las gotitas a diferentes temperaturas, midiéndolo con un cronómetro. Para medir dichas temperaturas, usamos una termocupla previamente calibrada, conectada a un multímetro y colocada directamente en el centro de la pieza por un orificio cubierto con una capa de grasa siliconada para asegurar un buen contacto térmico. Usamos un gotero para asegurar que las gotas de agua fueran de tamaños similares.

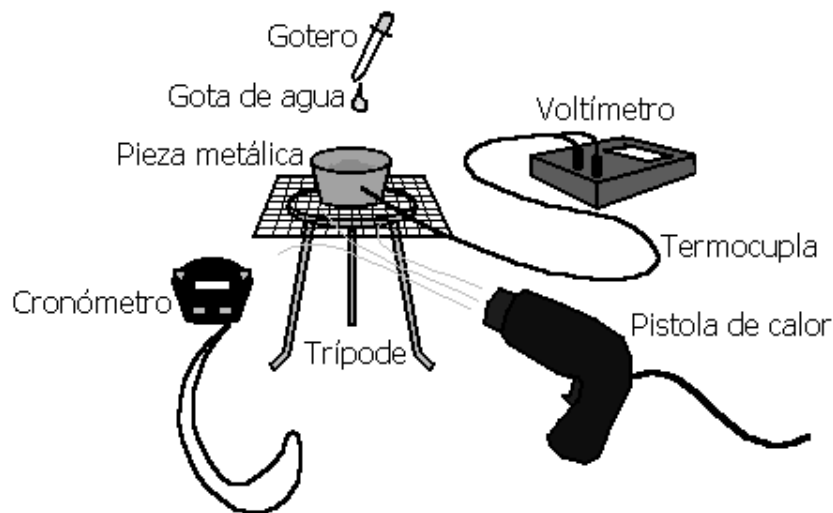


Figura 1. Diseño experimental para la medición del tiempo de vida de gotas de agua en una superficie a distintas temperaturas.

Vertimos también alcohol en la pieza de metal y vimos que se producía el mismo efecto en temperaturas un poco menores. Observamos también que lo mismo ocurría con gotas de nitrógeno líquido sobre la pieza, incluso con gotas bastante grandes.

Nuestro segundo experimento consistió en la inmersión de un bloque cilíndrico de bronce inicialmente a temperatura ambiente en nitrógeno líquido. Vertimos el nitrógeno líquido dentro de un envase de poliuretano expandido. Utilizamos un termómetro de platino Pt-100 encapsulado en alúmina ya directamente unido al cuerpo metálico de forma de tener el mejor contacto posible. El termómetro estaba conectado a una fuente de corriente de 5 mA y a un sistema de adquisición de datos conectado a una PC (Figura 2).

Previamente realizamos una calibración del termómetro, sabiendo que éste está formado por una resistencia cuyo valor varía linealmente con la temperatura. Tomamos como referencias su valor a la temperatura de fusión del agua: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (273 K), y su valor cuando se sumergía en nitrógeno líquido: $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (77 K). Una vez realizada la calibración, medimos cómo se iba enfriando el cuerpo dentro del nitrógeno líquido. Repetimos la experiencia cubriendo con una y dos capas de grasa siliconada al cuerpo, untada a mano y logrando una cobertura suave y fina.

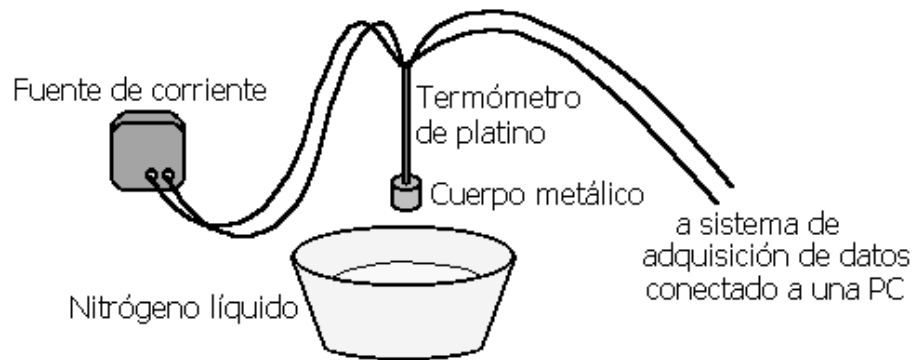


Figura 2. Diseño experimental para la medición del enfriamiento de un cuerpo sumergido en nitrógeno líquido.

Resultados

Tomamos las mediciones del tiempo de vida de las gotas de agua en la superficie de metal para distintas temperaturas. Realizamos el gráfico (Figura 3) que muestra que el tiempo de vida de la gota, a partir de la temperatura de ebullición del agua (100 °C) es muy corto, es decir, la gota se evapora rápidamente. Pero a partir de los 205 °C aproximadamente, la gota aumenta notablemente su tiempo de vida y cerca de los 220 °C es hasta de 3 minutos. Aumentando aún más la temperatura del cuerpo, el tiempo de vida de las gotas va disminuyendo.

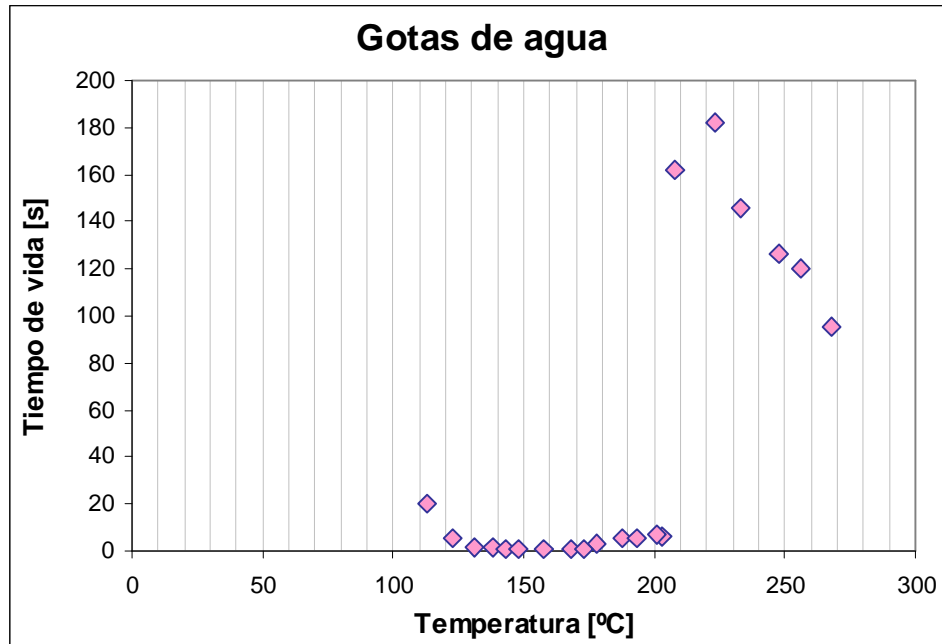


Figura 3. Gráfico del tiempo de vida de las gotas de agua en función de la temperatura de la superficie metálica.

En nuestro segundo experimento, colocamos la pieza con el termómetro en nitrógeno líquido y recolectamos en la PC los datos de temperatura a medida que este cuerpo se enfriaba. Repetimos

el experimento cubriendo al cuerpo con una capa de grasa y luego, con dos capas de grasa. Volcamos los datos en el gráfico de la Figura 4.

En un principio el cuerpo se ve cubierto por una capa de vapor mientras el nitrógeno está en ebullición y el cuerpo disminuye su temperatura.

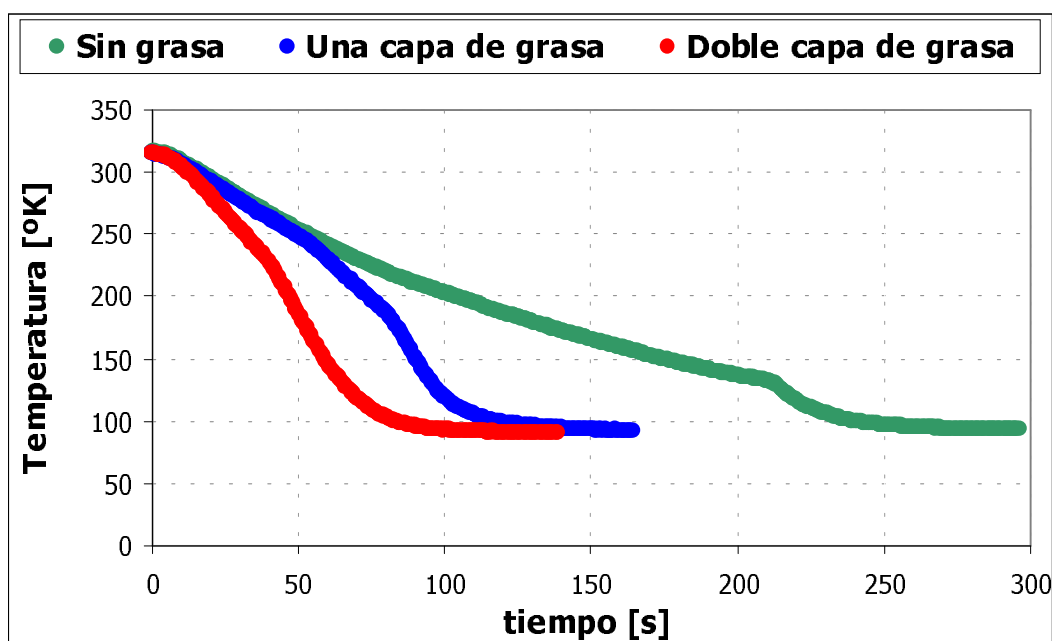


Figura 4. Gráfico de la temperatura del cuerpo en función del tiempo con distintas capas de grasa. Se puede ver que el enfriamiento del cuerpo es más lento sin la acción de la capa de grasa.

Cuando la temperatura en el cuerpo de metal llega a un cierto punto (aproximadamente 130 °K para la pieza desnuda), se ve que esta capa de vapor que lo recubre desaparece y la ebullición se torna más fuerte hasta que ambos, el cuerpo y el nitrógeno, se equilibran. Cuando recubrimos el cuerpo con grasa, podemos ver que el enfriamiento es más rápido y el punto en que desaparece la capa de vapor que lo recubre es a mayor temperatura (entre los 170 °K y 200 °K) que para el caso de la pieza desnuda.

En la Figura 5 se presenta el gráfico de la velocidad de enfriamiento del cuerpo desnudo, medida con la derivada de la temperatura con respecto al tiempo. Podemos observar que el cuerpo se enfría cada vez más lentamente a medida que transcurre el tiempo, hasta llegar a un punto en que se observa un abrupto salto que implica un aumento de la transferencia de calor entre el cuerpo y el nitrógeno líquido. Finalmente, la velocidad cae a cero, es decir, se alcanza el equilibrio térmico (la temperatura del cuerpo es constante e igual a la del baño de nitrógeno líquido).

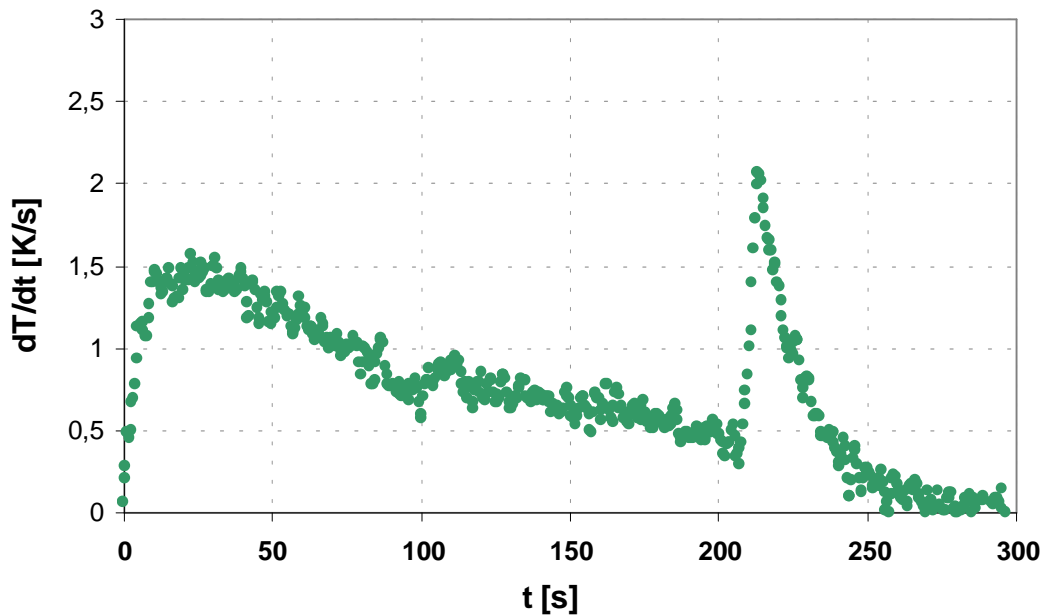


Figura 5. Gráfico de la velocidad de enfriamiento del cuerpo desnudo sumergido en nitrógeno líquido.

Conclusiones

En la primer experiencia con las gotas de agua, observamos que cuando la pieza de metal está a alta temperatura, a partir de los 210 °C, el vapor que recubre a la gota le sirve a la vez de sostén y de aislante térmico. Es por eso que podemos observar a la gota durante minutos sin que se evapore y es lo que se conoce como efecto Leidenfrost. Sin embargo, ocurría que cuando dejábamos caer una gota luego de otra, el tiempo de vida de ésta podía disminuir notablemente respecto de la primera. Esto se debe a que la gota provocaba un gradiente de temperatura más bajo que el que se tenía inicialmente. Por esta razón, luego de cada gota procurábamos limpiar la pieza de metal y volver a darle calor con la pistola.

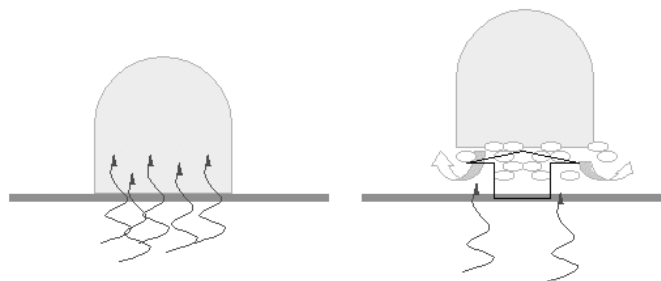


Figura 6. Efecto Leidenfrost: Cuando una gota de agua cae sobre una superficie caliente se forma una capa de vapor que sostiene a la gota y le sirve de aislante.

Cuando la gota cae y entra en contacto con la superficie caliente, una gran cantidad de calor es transmitido en un corto tiempo a través de una amplia superficie de contacto, impidiendo que se caliente todo el volumen de agua de la gota en forma uniforme y produciendo por lo tanto la brusca evaporación en la porción que entró en contacto con la pieza metálica.^{4,5}

La expansión del vapor genera una fuerza que levanta la gota, disminuyendo la transferencia de calor a través de la superficie de contacto del agua con la pieza de metal, reduciéndose en consecuencia el volumen de agua transformada en vapor.

Una vez que se desplaza el vapor vuelve a transmitirse calor a la gota y así sucesivamente hasta que el volumen restante está lo suficientemente caliente para que se evapore en forma pareja.

El mismo efecto aparece cuando sumergimos el cuerpo metálico en nitrógeno líquido. Nuevamente se forma el vapor que recubre al cuerpo sirviéndole de aislante. Por esta razón, cuando la capa de vapor colapsa, abruptamente mejora el contacto térmico y el cuerpo se enfría y alcanza el equilibrio térmico con el nitrógeno líquido.

Cuando recubrimos el cuerpo con grasa, evitamos en gran medida la formación de la capa de vapor cuando se lo sumerge en el nitrógeno líquido. Por esa razón el enfriamiento del cuerpo es más veloz que en otro caso. Esto es lo que se conoce como paradoja de Leidenfrost.³

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación Favalaro la provisión del nitrógeno líquido y al Dr. H. Ferrari (UBA) por el préstamo de material para este experimento.

Referencias

- 1) Jearl Walker, "Drops of water dance on a hot skillet and the experimenter walks on hot coals", *Sc. Am.*, 1977.
- 2) Listerman, Boshinski y Knese, "Cooling by immersion in liquid nitrogen", *Am. J. Phys.*, **54** (6), 1986.
- 3) G. Guido Lavallo *et al.*, *Am. J. Phys.* **60** (7) 593, 1992.
- 4) <http://ciencianet.com/p75.html>
- 5) <http://www.cienciasaplicadas.buap.mx/Divulgacion/ArticulosDivulgacion/Fenomenos/gota.htm>