Olimpíada Argentina de Física

Pruebas Preparatorias
Segunda Prueba:
Termodinámica, Electricidad y Magnetismo
Parte Teórica

Nombre: .....

DNI: .....

Escuela: .....

- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.

- Escriba su nombre y su número de DNI en el sitio indicado. No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.

- No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.

- Escriba en un solo lado de las hojas.

Problema 1

En un termo de 10 l de volumen, hay 5 litros de nitrógeno líquido (LN2) en equilibrio con su gas. El sistema se encuentra a una temperatura de 77 K, a una presión de 1 atm asegurada mediante una válvula.

Se abre rápidamente el termo y se deja caer en él un cubo de aluminio de 100 g de masa, que está inicialmente a una temperatura de 300 K. Suponemos que el nitrógeno gaseoso se comporta como un gas ideal y que el intercambio de calor con el exterior, cuando se deja caer el cubo, es despreciable.

a) Determine la masa de LN2 y N_2 gaseoso que inicialmente hay en el termo.

Luego que se introduce el cubo de aluminio:

b) Calcule la cantidad de LN2 que queda en el termo.

c) Calcule la cantidad de N_2 gaseoso dentro del termo.

d) Calcule la masa de nitrógeno que salió.

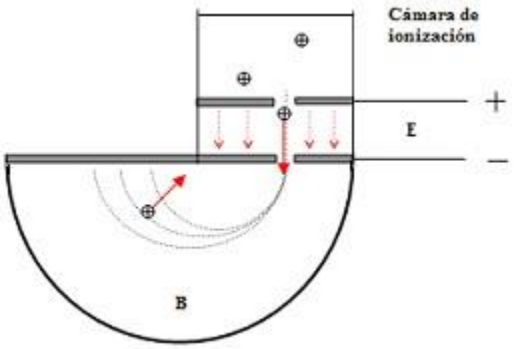
Datos

Densidad del LN2: 807 g l^{-1}
Calor de vaporización del LN2: 202 kJ Kg^{-1}
Calor específico del N_2 gaseoso: 20,7 J mol^{-1} K^{-1}
Masa atómica N: 14,0067 uma
Densidad del aluminio a 300 K: 2,7 g cm^{-3}
Calor específico del aluminio: 0,214 cal g^{-1} K^{-1} (suponer independiente de la temperatura)
Coeficiente de dilatación lineal del aluminio: 23 x 10^{-6} K^{-1} (suponer independiente de la temperatura)
1 uma = 1,6605 x 10^{-27} kg.
Número de Avogadro: 6.022 x 10^{23} mol^{-1}.
R= 8.31 J mol^{-1} K^{-1}

Problema 2

Se utiliza un espectrómetro de masas para estudiar la composición isotópica de una muestra de magnesio. Los tres isótopos estables del magnesio son ^{24}Mg (23,985 uma), ^{25}Mg (24,986 uma) y ^{26}Mg (25,983 uma). Para este estudio se utiliza un espectrómetro de masas que consta de tres etapas (ver figura):

- Una cámara de ionización en la cual los átomos quedan con una carga neta de +e.
- Una cámara en la cual se genera un campo eléctrico aplicando una diferencia de potencial de 3000 V.
- Una cámara donde hay un campo magnético de 0,1 T cuya dirección es perpendicular a la velocidad de los átomos.



a) Calcule la velocidad de cada uno de los isótopos al final de la zona donde está el campo eléctrico.

b) Determine el radio del movimiento circular que hace cada uno de los isótopos debido al campo magnético.

Luego del análisis se observa la existencia una impureza que genera una señal correspondiente a un círculo de 49,9 cm de radio.

c) Determine la masa atómica de esta impureza.

Datos

1 uma = 1,6605 x 10^{-27} kg.
Carga del electrón: −1.602 x 10^{-19} C
Se desprecia la aceleración de la gravedad.

Problema 3

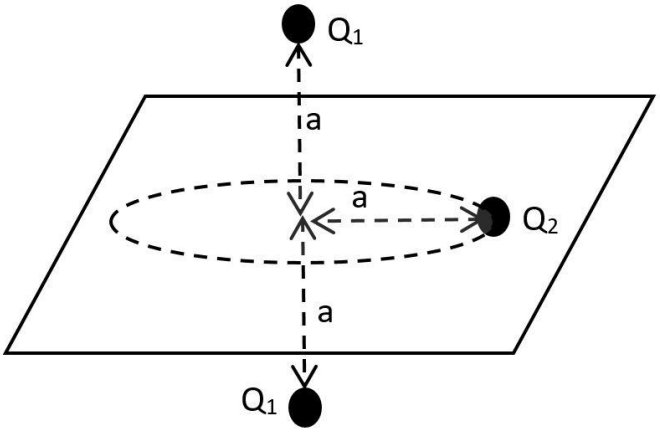
Dos cargas puntuales negativas (Q_1) están separadas una distancia 2a. Por el punto medio del segmento que las une se traza un plano perpendicular al mismo. Sobre este plano, una carga Q_2 está realizando un movimiento circular uniforme de radio *a*.

a) Si Q_1 es un electrón y *a* es igual a 1 nm ¿cuál es el módulo y dirección del campo eléctrico generado por las dos cargas Q_1 en el sitio de la carga Q_2?

b) ¿Cuál debe ser el signo de la carga Q_2 para que esta realice el movimiento circular descripto?

Si el valor absoluto de la carga Q_2 es equivalente a la del electrón, su signo el determinado en el punto anterior y su masa es equivalente a la de un protón:

c) ¿cuál es la velocidad de la carga Q_2?



Datos
Carga del electrón: $-1{,}602 \times 10^{-19}$ C
Masa del electrón: $9{,}109 \times 10^{-31}$ kg
Masa del protón: $1{,}673 \times 10^{-27}$ kg
$k = 8.988 \times 10^{9}$ N m^2/ C^2
1 Nm = 10^{-9} m (nanometro).

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		
d)		

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Olimpíada Argentina de Física

Pruebas Preparatorias
Segunda Prueba:
Termodinámica, Electricidad y Magnetismo
Parte Experimental

Nombre: .....

DNI: .....

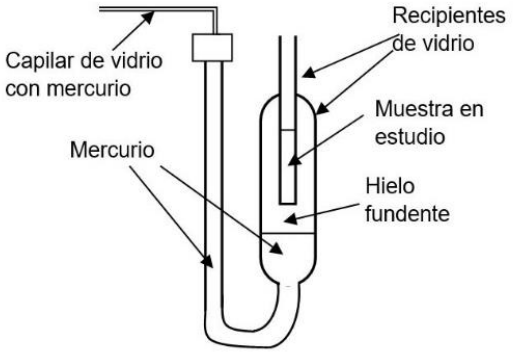
Escuela: .....

- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.
- Escriba su nombre y su número de DNI en el sitio indicado. No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.
- No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.
- Escriba en un solo lado de las hojas.

Algo de calorimetría… un "*casi-calorímetro"* de Bunsen!!!

Un calorímetro es un instrumento de medición con el cual se pueden realizar los experimentos necesarios para determinar la capacidad calorífica de alguna substancia; en otras palabras, sirve para medir "calor".

Entre los numerosos calorímetros que se han inventado está el de Bunsen. El mismo consiste en un recipiente lleno de hielo en fusión, que tiene en su interior una "burbuja" de vidrio (porta muestra), la cual está en contacto térmico con el hielo. El hielo fundente está en contacto con mercurio que llega hasta el tubo capilar. A su vez, TODO está sumergido en hielo fundente.



Cuando se introduce una muestra a una temperatura T_i, en el porta muestra, parte del hielo se funde y la muestra alcanza los 0 °C; la mezcla agua-hielo cambia de volumen porque el hielo es menos denso que el agua. Este cambio de volumen se determina mediante el cambio en la posición del menisco de mercurio en el tubo capilar; recordemos que 1 g de agua a 0 °C ocupa 1 cm^3, mientras que 1 g de hielo ocupa 1.09 cm^3. De este modo se determina la cantidad de calor que entregó la muestra y así se puede determinar su capacidad calorífica.

PARTE A

Analice el principio de funcionamiento del calorímetro de Bunsen, encuentre la expresión matemática que vincula el calor específico de la sustancia que compone la muestra y el desplazamiento del menisco (cambio de volumen de la mezcla de agua con hielo).

PARTE B: CONSTRUCCIÓN DEL *"CASI-CALORÍMETRO"* DE BUNSEN.

Para hacerlo puede utilizar:

- **como contenedor de hielo fundente:** un matraz de boca ancha o un frasco de mermelada/café en cuya tapa se realizaran los agujeros necesarios para instalar el porta muestra y el capilar.
- **como capilar:** un tubito fino transparente (el más fino del que se disponga), puede ser el que contiene la tinta en un bolígrafo/lapicera/portaminas o mangueritas muy finas. La disposición del tubo óptima es la horizontal (recomendado), aunque también puede instalarse en forma vertical.
- **como porta muestra:** puede ser un tubo de ensayo, un tubito plástico pequeño, la tapa de un lápiz de labios, de maquillaje, un tubito de "boligoma", una jeringa tapada en donde va la aguja y sin embolo (OJO: en casos como el último, cuidado con las pérdidas).
- **como sellador para evitar la pérdida de mezcla fundente:** cola de carpintero, silicona, cera de vela, masilla, plastilina, etc. **Los lugares de la tapa del frasco en los cuales se instalaron el capilar y el tubo porta muestras y la tapa misma, deben quedar correctamente sellados.**
- **para minimizar las pérdidas de calor** deberá sumergir el dispositivo construido hasta aquí en otra mezcla de agua con hielo. Para ello puede utilizar algún tacho mediano/grande de telgopor, de plástico o una olla. **OJO: la boca del capilar y del porta muestra no deben quedar sumergidas.**

Nota B1: a diferencia del calorímetro original de Bunsen, no utilizaremos mercurio. Para realizar la medición del cambio de volumen, en nuestro *"casi-calorímetro"* de Bunsen, el agua de la mezcla actuará como "pistón" e indicador en el tubo capilar.
Nota B2: si lo considera necesario puede implementar una tapa para el porta muestra.
Nota B3: necesitará mucho hielo.

PARTE C: UTILIZAR EL CALORÍMETRO CONSTRUIDO.

1) Realice mediciones utilizando masas determinadas de agua a temperatura conocida, por ejemplo a 100 ºC. Repita las mediciones para cada masa, use al menos 5 masas diferentes.
2) Verifique que el desplazamiento del "menisco de agua" en el tubo capilar es el esperado para las distintas masas usadas. Calibre el calorímetro considerando conocida la capacidad calorífica especifica del agua y el calor de fusión del hielo.
3) Realice mediciones utilizando masas determinadas de aceite de cocina o de algún otro líquido, a temperatura conocida (por ejemplo 100 ºC). Repita las mediciones para cada masa.
4) Determine el calor específico del aceite de cocina o del líquido que utilizó.

Nota C1: Para determinar la masa de los líquidos muestra puede utilizar una balanza o una jeringa o una pipeta, siempre y cuando conozca las densidades de los mismos.
Nota C2: Para calentar el "líquido muestra", hasta los 100 ºC, puede utilizar un baño maría.
Nota C3: no utilice líquidos inflamables.

Problema Experimental
Hoja de respuestas.

Inciso		Puntaje
PARTE A		
PARTE B		
PARTE C		
1)		
2)		
3)		
4)		

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		2 ptos.
b)		3 ptos.
c)		3 ptos.
d)		2 ptos.

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		3 ptos.
b)		3 ptos.
c)		4 ptos.

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		4 ptos.
b)		2 ptos.
c)		4 ptos.

Pruebas Preparatorias

Resolución Problema teórico 1.

En todos los cálculos es necesario uniformizar las unidades.
a)
La masa de nitrógeno líquido es

$$\begin{aligned} m_{NL2} &= \delta_{NL2} V_{NL2} \\ &= 0{,}807 \frac{kg}{l} 5l \\ &= 4{,}035 kg \end{aligned}$$

La masa de nitrógeno gaseoso es

$$\begin{aligned} n_{N2} &= \frac{PV}{RT} \\ &= \frac{1 atm\ 5l}{8{,}31 \frac{J}{mol\,K} 77\,K} \\ &= 0{,}791\ moles \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{N2} &= 0{,}791 mol\ \ 2\ 14{,}0067 uma\ \ 6{,}022 \times 10^{23} mol^{-1}\ 1{,}6605 \times 10^{-27}\ \frac{kg}{uma} \\ &= 0{,}022 kg \end{aligned}$$

b)
El calor cedido por el aluminio al enfriarse vaporiza LN2.

$$m_{Al}\, C_{Al}\, (T_f - T_i) + m1_{N2}\, C_v = 0$$

Donde $m1_{N2}$ es la masa de LN2 que se vaporiza. Si esta masa es menor a la masa total de LN2 entonces el estado final será parte del nitrógeno en estado líquido, parte en estado gaseoso y el cubo de aluminio todo a una temperatura de 77 K. En caso de que la masa sea mayor a la masa inicial de LN2 se deberá plantear la ecuación teniendo en cuenta la vaporización de toda la masa inicial de LN2 y el calentamiento del gas N_2.

$$m1_{N2} = -\frac{m_{Al}\ C_{Al}\ (T_f - T_i)}{C_v}$$

$$= -\frac{100\,g\ 0{,}214\,\frac{cal}{g\,K}(77\,K - 300\,K)}{202\,\frac{kJ}{kg}}$$

$$= 0{,}099\,kg$$

Como esta masa es menor a la masa inicial de LN2 entonces vemos que al introducir el cubo de aluminio sólo se vaporiza una parte del LN2. Entonces en el termo queda

$$mf_{LN2} = 4{,}035\,kg - 0{,}099\,kg$$
$$= 3{,}936\,kg$$

c)
El número de moles de N_2 gaseoso (nf_{N2})

$$nf_{N2} = \frac{PV_f}{RT}$$

En esta expresión *P = 1atm* y *T = 77 K*. Sin embargo se ha modificado el volumen del gas. A los 5 l iniciales hay que agregarle el volumen de líquido que se ha vaporizado y restarle el volumen del cubo de aluminio. Para el cálculo del volumen del cubo de aluminio hay que tener en cuenta la contracción por la disminución de la temperatura.

$$V1_{LN2} = \frac{m1_{LN2}}{\delta_{LN2}}$$
$$= \frac{0{,}099\,kg}{0{,}807\,\frac{kg}{l}}$$
$$= 0{,}122\,l$$

El volumen del cubo de aluminio a 300 K es:

$$V1_{Al} = \frac{m_{Al}}{\delta_{Al}}$$
$$= \frac{100\,g}{2{,}7\,\frac{g}{cm^3}}$$
$$= 37{,}0\,cm^3$$

El volumen del cubo de aluminio a 77 K será

$$V2_{Al} = V1_{Al}\left[1+3\alpha_{Al}\,(T_f - T_i)\right]$$
$$= 37{,}0\,cm^3\left[1+3\;\;23\times10^{-6}\,\frac{1}{K}(77\,K-300\,K)\right]$$
$$= 36{,}4\,cm^3$$

Como vemos podríamos despreciar el cambio de volumen del aluminio.

Entonces el volumen final del gas (V_f) será

$$V_f = 5l + 0{,}122l - 0{,}0346l$$
$$= 5{,}0874l$$

La cantidad de moles de N_2 que quedan dentro del termo es

$$nf_{N2} = \frac{1atm\;5{,}0874\,l}{8{,}31\,\frac{J}{mol\,K}77\,K}$$
$$= 0{,}805\;moles$$

La masa de N_2 gaseoso dentro del termo al final del proceso es

$$mf_{N2} = 0{,}805\,mol\;\;2\;14{,}0067uma\;\;6{,}022\times10^{23}mol^{-1}\;1{,}6605\times10^{-27}\,\frac{kg}{uma}$$
$$= 0{,}023\,kg$$

d)
La masa inicial de nitrógeno en el termo es:

$$m_i = m_{LN2} + m_{N2}$$
$$= 4{,}035\,kg + 0{,}022\;kg$$
$$= 4{,}057\,kg$$

La masa final de nitrógeno en el termo es

$$m_f = mf_{LN2} + mf_{N2}$$
$$= 3{,}936\,kg + 0{,}023\;kg$$
$$= 3{,}959\,kg$$

Por lo tanto la masa de nitrógeno que salió al exterior es

$$\Delta m = m_f - m_i$$
$$= 3{,}959\,kg - 4{,}057\;kg$$
$$= -0{,}098\,kg$$

Resolución Problema teórico 2.

a)
La variación de energía que sufren los iones debido al campo eléctrico será

$$\begin{aligned}\Delta E &= q\ \Delta V \\ &= 1{,}602\times10^{-19} C\ \ 3000 V \\ &= 4{,}806\times10^{-16} J\end{aligned}$$

Esta variación de energía será la energía cinética que tendrán los iones

$$\frac{1}{2} m v^2 = \Delta E$$

por lo tanto

$$v = \sqrt{\frac{2\,\Delta E}{m}}$$

La masa de cada uno de los isótopos es:

$$\begin{aligned}m_{24} &= 23{,}985\, uma\ 1{,}6605\times10^{-27}\ \frac{kg}{uma} \\ &= 3{,}9827\times10^{-26} kg\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{25} &= 24{,}986\, uma\ 1{,}6605\times10^{-27}\ \frac{kg}{uma} \\ &= 4{,}1489\times10^{-26} kg\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{26} &= 25{,}983\, uma\ 1{,}6605\times10^{-27}\ \frac{kg}{uma} \\ &= 4{,}3145\times10^{-26} kg\end{aligned}$$

Reemplazando estos valores la velocidad de cada uno de los iones al salir de la región con campo eléctrico será:

$$v_{24} = 1{,}5537\times10^{5}\ \frac{m}{s}$$

$$v_{25} = 1{,}5222\times10^{5}\ \frac{m}{s}$$

$$v_{26} = 1{,}4927\times10^{5}\ \frac{m}{s}$$

b)

El módulo de la fuerza que el campo magnético ejerce sobre los iones es:

$$F = q\ v\ B$$

y como siempre es perpendicular a la velocidad de los iones estos describirán una trayectoria circular. Por lo tanto esta fuerza debido al campo magnético debe ser igual a la fuerza centrípeta necesaria para que los iones realicen el movimiento circular

$$F = q\ v\ B = \frac{m\ v^2}{R}$$

Entonces el radio del círculo será

$$R = \frac{m\ v}{q\ B}$$

Reemplazando los valores correspondientes el radio de cada uno de los isótopos será:

$$R_{24} = 0{,}386\,m$$
$$R_{25} = 0{,}394\,m$$
$$R_{26} = 0{,}402\,m$$

c)

Sabemos que

$$\frac{1}{2} m v^2 = \Delta E = q\ \Delta V$$

entonces

$$m v^2 = 2\ q\ \Delta V$$

También vimos que

$$\frac{m\ v^2}{R} = q\ v\ B$$

por lo tanto

$$m\ v^2 = R\ q\ v\ B$$

Entonces

$$v = \frac{2\,\Delta V}{R\,B}$$

La velocidad de la impureza es:

$$v = 1{,}2024 \times 10^{5}\,\frac{m}{s}$$

Como

$$\frac{1}{2} m v^{2} = \Delta E$$

$$m = \frac{2\,\Delta E}{v^{2}}$$

$$= \frac{2\ 4{,}807 \times 10^{-16}\,J}{\left(1{,}2024 \times 10^{5}\,\frac{m}{s}\right)^{2}}$$

$$= 6{,}6498 \times 10^{-26}\,kg$$

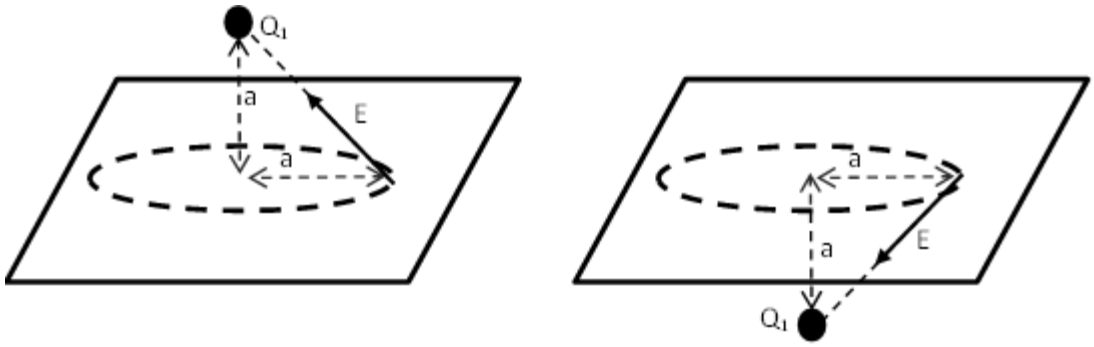
$$= 40{,}047\,uma$$

Con este dato podemos identificar que la impureza son átomos de calcio.

Resolución Problema teórico 3.

a)

El campo eléctrico de cada una de las cargas se grafica en las figuras:



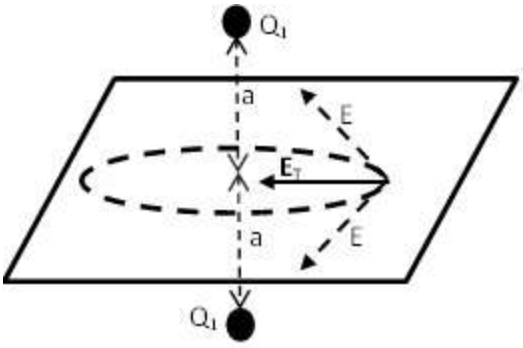
El módulo de cada uno de los campos eléctricos es

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

donde *r* es la distancia que hay entre la carga y el punto

$$r = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2}\,a$$

El campo eléctrico total será la suma de ambos campos. En la figura graficamos, cualitativamente, cada uno de los campos (líneas punteadas) y la suma de ambos (E_T). Como se puede ver en la figura la suma de los vectores dará como resultado un vector en el plano horizontal pues la suma de las componentes verticales se anula.



El ángulo que forma cada uno de los campos con el plano horizontal es de 45º. Por lo tanto:

$$E_T = 2\,k\,\frac{Q}{r^2}\cos(45^o)$$

$$= 2\,8{,}988\times10^{9}\,\frac{N\,m^2}{C^2}\,\frac{1{,}602\times10^{-19}C}{\left(\sqrt{2}\,10^{-9}\,m\right)^2}\,\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= 1{,}018\times10^{9}\,\frac{V}{m}$$

b)

Para que un cuerpo realice un movimiento circular debe aplicarse una fuerza que genere la fuerza centrípeta. Como la fuerza centrípeta debe apuntar hacia el centro del círculo, y el campo eléctrico total también apunta hacia el centro, la carga sobre la que se aplica el campo debe ser ***positiva***.

c)

$$F_C = \frac{m\,v^2}{R} = Q_2\;E_T$$

Entonces

$$v = \sqrt{\frac{R\,Q_2\;E_T}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{10^{-9}\,m\,1{,}602\times10^{-19}C\,1{,}018\times10^{9}\,\frac{V}{m}}{1{,}673\times10^{-27}kg}}$$

$$= 9873{,}18\,\frac{m}{s}$$

Problema Experimental
Hoja de respuestas.

Inciso		Puntaje
PARTE A		3 ptos.
PARTE B		5 ptos.
PARTE C		
1)		5 ptos.
2)		4 ptos.
3)		2 ptos.
4)		1 pto.

Solución experimental.

Parte A: (3 puntos)

El cambio de fase de hielo a agua viene acompañado de un cambio en el volumen de la mezcla de agua con hielo contenida en el calorímetro. Así, cuando "ingresa" calor al calorímetro se funde una cantidad Δm de hielo, por lo que se produce un cambio ΔV (negativo) en el volumen de la mezcla dado por:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_h} - \frac{\Delta m}{\rho_A} = \Delta m \left[\frac{1}{\rho_h} - \frac{1}{\rho_A}\right]$$

La cantidad de calor Q que ingresó al calorímetro es igual a: $Q = L_f \, \Delta m$

Donde L_f el calor latente de fusión del hielo.

Finalmente si A es la sección del capilar y ΔL la distancia que se corrió el menisco de agua, se puede escribir:

$$Q = - L_f \frac{A \, \Delta L}{\left[\frac{1}{\rho_h} - \frac{1}{\rho_A}\right]}$$

Se ve que hay una relación lineal entre el calor y el cambio de posición del menisco y considerando los módulo se tiene:

$$Q = \beta \Delta L$$

Calibrando el calorímetro con masas conocidas de agua es posible determinar el valor de β correspondiente al calorímetro y hasta se puede escribir sobre el capilar una escala en calorías.

Parte B: (5 puntos)

Se usó un frasco de vidrio, tubitos de lapicera, una pipeta plástica, una jeringa y poxipol.

Parte C: (5 puntos; 4 puntos; 2 puntos; 1 punto)

1) En la siguiente tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones realizadas. La masa agua m_a ingresada al calorímetro que experimenta un salto de temperatura ΔT de (100 ± 5) ºC corresponde a una cantidad de calor:

$$Q_i = m_a \, c_a \Delta T$$

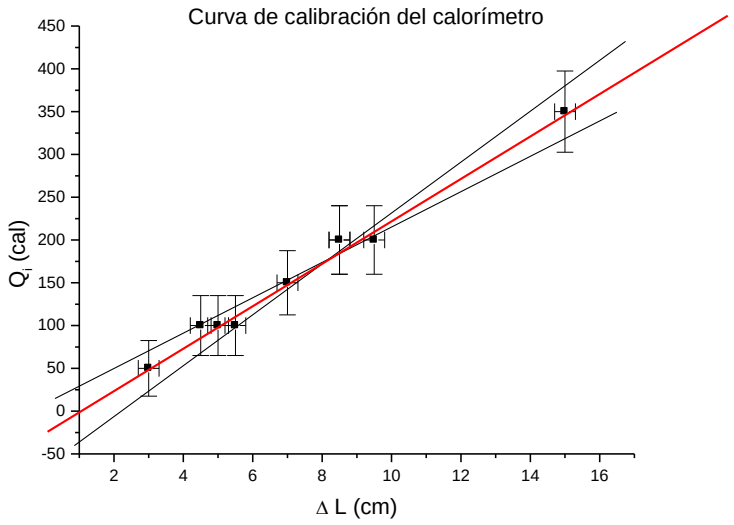
$$\frac{\Delta Q_i}{Q_i} = \frac{\Delta m_a}{m_a} + \frac{\Delta T}{T}$$

Las masas de agua m_a se calcularon sabiendo la densidad del agua y considerando el volumen V_a usado. Los valores de corrimiento ΔL se determinaron con una regla.

TABLA 1

V_a (cm^3) ± 0.3 cm3	ΔL (cm) ± 0.3 cm	Calor ingresado Q_i (cal)
1	4.5	100±40
1	5	100±40
0.5	3	50±30
1	5.5	100±40
2	8.5	200±40
2	8.5	200±40
2	9.5	200±40
3.5	15	350±50
1.5	7	150±40

2) Se realizó un grafico de calibración del calorímetro.



La pendiente de la recta de ajuste $Q = \beta \Delta L$ es:

$$\beta = (25 \pm 5)\frac{cal}{cm}$$

3) En la tabla 2 se presentan los resultados de las mediciones en las que se uso aceite de girasol (“Cañuelas”). Y los valores de calor especifico obtenidos a partir de los mismos.

Las masas de aceite m_A se determinaron considerando una la densidad:

$\rho_A = [0.918 \pm 0.003\ ] \frac{g}{cm^3}$.

Por lo que:

$$m_A = \rho_A V_A$$

La capacidad calorífica específica del aceite c_A se determinó mediante:

$$c_A = \frac{Q}{m_A \Delta T} = \frac{\beta \Delta L}{\rho_A V_A \Delta T}$$

con ΔT igual (100 ± 5) ºC. Q es el valor determinado mediante el calorímetro. La incerteza correspondiente a c_A se calculó mediante propagación de errores.

TABLA 2

V_A (cm^3) ± 0.3 cm3	ΔL (cm) ± 0.3 cm	c_A (cal g^{-1} ºC^{-1})
1.0	3.5	1.0 ± 0.6
1.0	3.0	0.8 ± 0.5
2.0	5.5	0.7 ± 0.3

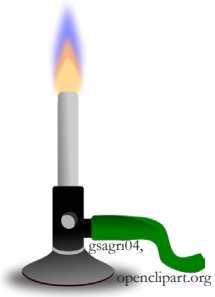
4) Para informar el calor especifico del aceite, dado que los tres valores encontrados son indistinguibles, se toma:

c_A= (0.8 ± 0.5) cal g^{-1} ºC^{-1}

Don Adriano

ARTÍCULOS

Los aparatos de Bunsen y su aplicación didáctica



Con motivo de celebrarse en el año 2011 el bicentenario del nacimiento de Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) hemos hecho un estudio histórico de todos los instrumentos o aparatos que utilizó y las mejoras que introdujo en ellos. El principal objetivo de nuestro estudio es ayudar a los estudiantes de química (de bachillerato y de primer curso de universidad) a trabajar en este tema. De esta forma, nuestro trabajo tiene dos partes diferentes: primero un estudio histórico y, en segundo lugar, una aplicación didáctica.

Rosa Domínguez Gómez*, Rosario Torralba Marco*
Pilar Escudero González#, Mª Teresa Martín Sánchez#, *Manuela Martín Sánchez#*

Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), quien aparece en el centro de la figura 1 acompañado por Kirchhoff (izquierda) y Roscoe (derecha), nació en Gotinga (Alemania) donde estudió y obtuvo el doctorado en química. En 1836 sucedió a Friedrich Wöhler como profesor de química en la Escuela Politécnica de Kassel. En 1852, después de una estancia breve en Breslau, sucedió a Leopold Gmelin en la cátedra de química de la Universidad de Heidelberg, cargo que ocupó el resto de su vida. Fue un excelente investigador, profesor y también un gran experimentador, y siguió siéndolo a pesar de perder un ojo por una explosión. Siempre procuraba mejorar los instrumentos que le llegaban con la condición de adaptarlos a las necesidades de aquel momento o buscaba nuevos aparatos cuando aún no estaban diseñados. Tenía muy clara la importancia de los principios físicos para poder avanzar en el conocimiento y suya es la frase "Un químico que no es físico no es nada". [1,2]

Introdujo mejoras en el mechero de Faraday en 1857, en el calorímetro de hielo de Lavoisier, para hacerlo más exacto, en 1870, y en el calorímetro de vapor de Joly en 1886. La bomba de vacío de mercurio de Sprengel le dio la idea para construir la trompa de agua para filtrar a vacío en 1868. También revisó un efusiómetro para medir la densidad de los gases en 1857, mejoró la pila de Volta entre 1840 y 1860, diseñó el fotómetro de mancha en 1842 y el actinómetro entre 1852 y 1862.

Figura 1. Kirchhoff (izquierda), Bunsen (centro) y Roscoe (derecha) en 1862 [Fuente: Roscoe, H. E. "The Life & Experiences of Sir Henry Enfield Roscoe". Londres: Macmillan, 1906. Entre páginas 72 y 73]

El nombre de Bunsen va con frecuencia unido en sus trabajos al inglés H.E. Roscoe (1833-1915) y al del ruso, afincado en Alemania, G. Kirchoff (1824-1887).

A continuación, describiremos los diferentes aparatos que ideó o modificó Bunsen.

* * *Universidad Politécnica de Madrid; # Grupo de Didáctica e Historia, Reales Sociedades Españolas de Física y de Química. Las autoras son doctoras en Química y profesoras de esta área en diferentes universidades españolas. Todas cuentan con una amplia experiencia investigadora y docente. (Correspondencia: M. Martín Sánchez, mmartins@edu.ucm.es)*

1. Oesper, R. *J. Chem. Educ.* **1927**, *4*, 431-439
2. Schacher, S. G. "*Bunsen, Robert Wilhelm Eberhard.*" en "*Complete Dictionary of Scientific Biography*", 2008. Encyclopedia.com. . (💻 Consulta: septiembre 2012).

Mechero de Bunsen

Faraday hizo modificaciones de la lámpara de Davy, que había sido mejorada por Aimé Argand, con objeto de conseguir una mejor combustión de los gases y tener una fuente calorífica más potente. Para ello, utilizó un tubo que tenía debajo una especie de embudo, que llevaba en su interior un inyector de gas. Roscoe llegó a Heidelberg procedente de Inglaterra para trabajar con Bunsen y llevó el mechero de Aimé Argand y Faraday se lo enseñó a Bunsen. Bunsen se dio cuenta de lo importante que era que el gas y el aire se mezclaran previamente para conseguir una combustión completa. Es muy posible que conociera las características del movimiento de los fluidos en los estrechamientos y diseñó un aparato que un hijo de Peter Desaga, técnico de la Universidad de Heidelberg (Alemania), construyó con gran éxito y sigue siendo el modelo de mechero utilizado en la actualidad y es el que aparece en la figura 2.[3]

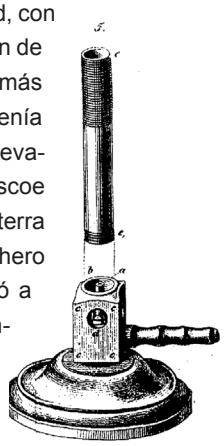


*Figura 2 Mechero de Bunsen tal y como lo diseñó en un inicio (Fuente: Bunsen, R.; Roscoe, H. Ann. Phys., **1857**, 100, 43-88. [Biblioteca Nacional de Paris. Reproducción autorizada. gallica.bnf.fr/])*

Espectroscopio de Kirchoff y Bunsen

En 1859 Bunsen dejó sus trabajos con Roscoe porque estaba trabajando con Kirchhoff. Según él, le comunica que está trabajando con Kirchoff en un descubrimiento importante que no les deja dormir. "*Kirchhoff ha hecho un maravilloso descubrimiento que permite conocer la composición del sol y de las estrellas a partir de las líneas obscuras con la misma exactitud que podemos conocer el ácido sulfúrico, el cloro…..Hasta somos capaces de detectar la presencia de litio en 20 g de agua del mar*". [4]

Bunsen y Kirchoff diseñaron el espectroscopio que les permitió obtener espectros de gran nitidez y detectar la presencia de distintos metales en diferentes muestras.

La figura 3 muestra el aparato que utilizaron para la observación de los espectros, que él describe diciendo:

"*A es una caja con el interior ennegrecido con un fondo trapezoidal apoyado sobre tres patas; las dos paredes laterales oblicuas, que forman un ángulo de 58° entre sí, llevan dos telescopios pequeños, B y C.*

El ocular de la primera se elimina y se sustituye por una rendija formada por los bordes de dos láminas de bronce y se ajusta en el foco de la lente objetivo. La lámpara D está colocada delante de la rendija de modo que el borde de la llama está en el eje del tubo B. Un poco por debajo del eje está el bucle final de un alambre de platino fino, que se sujeta con el brazo E. Una pequeña perla del compuesto de cloro que va a ser investigado se funde sobre este bucle. Entre las lentes del objetivo de los telescopios B y C hay un prisma hueco F de 60 ° de ángulo de refracción, que está lleno de disulfuro de carbono. El prisma está apoyado sobre una placa metálica que puede girar sobre un eje vertical.

Este eje lleva el espejo G en su extremo inferior y, por encima, la manivela H mediante la cual se pueden girar el prisma y el espejo. Un pequeño telescopio se dirige hacia el espejo para que el observador pueda ver una escala horizontal montada a una pequeña distancia. Al girar el prisma, el espectro de la llama puede ser presentado antes de la señal del telescopio C. Cada lugar en el espectro corresponde a una lectura que se hace en la escala. Si el espectro es muy débil, la línea del telescopio C se ilumina con la ayuda de una lente que produce parte de los rayos de una lámpara a través de una pequeña abertura en la pared del tubo ocular de C." [4]

Kirchhoff se da cuenta de la importancia de utilizar el prisma para separar las rayas luminosas. En este sentido, también indican la importancia de que el mechero tenga una temperatura muy alta y una llama prácticamente incolora: "*las líneas se muestran más claras cuando la temperatura de la llama es más alta y la luminiscencia es menor. El mechero que nosotros hemos diseñado es por eso el más adecuado para obtener las líneas más brillantes características de estas sustancias*" .[4]

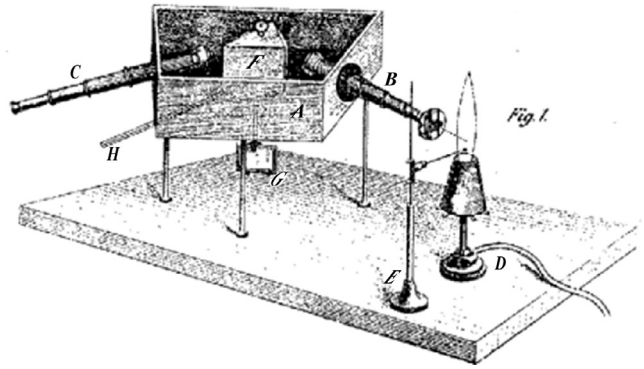


Figura 3 Espectroscopio de Kirchoff y Bunsen (Fuente: Kirchoff, G.; R. Bunsen, R. Ann. Phys, **1860***, 186, 61-189. (v. 110 en serie 2) Fig. I Tabla VI)*

Calorímetro de hielo de Bunsen

Lavoisier había diseñado un calorímetro de hielo que constaba, como se puede ver en la figura 4a, de tres recipientes concéntricos. Los recipientes A y B están repletos de hielo. En el recinto central, M, se introduce el objeto que se ha calentado a una temperatura conocida. Al entrar en contacto con el hielo de A, parte de este se funde, pero la temperatura no asciende por encima de 0º C porque el recipiente B está lleno de hielo. Si por el grifo D se extrae el agua fundida se puede determinar el calor desprendido por el objeto. Tenía el inconveniente de que siempre quedaba algo de agua pegada al hielo y, por eso, no era demasiado exacto. Lo que hizo Bunsen fue sustituirlo por el calorímetro de la figura 4b.[5]

El calorímetro de Bunsen mide el número de gramos

3 Bunsen, R.; Roscoe, H. *Ann. Phys.*, **1857**, 176, 43-88. (v. 100 en serie 2)

4 Kirchoff, G.; R. Bunsen, R. *Ann. Phys.* **1860**, *186*, 61-189. (v. 110 en serie 2)

5. Bunsen, R. *Ann. Phys.* **1870**, *217*, 1-31. (v. 141 en serie 2)

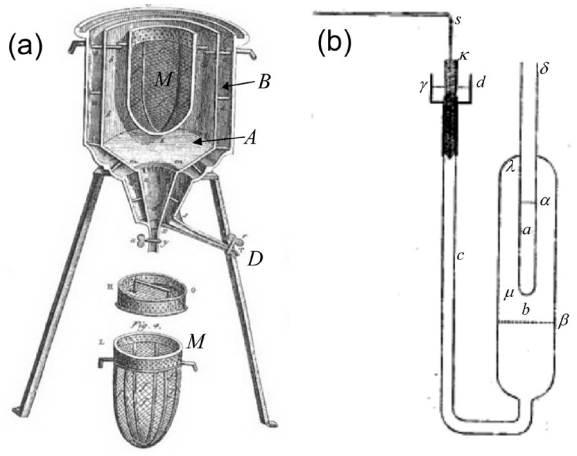


Figura 4 Calorímetros de Lavoisier (a) y de Bunsen (b) (Fuentes: Antoine Lavoisier: "Elements of Chemistry", 1789. y Bunsen, R. Ann. Phys. 1870, 217, 1-31. (v. 141 en serie 2) [Biblioteca Nacional de Paris. Reproducción autorizada. gallica.bnf.fr/])

de hielo que se funden, teniendo en cuenta que 1 g de hielo ocupa 1,0908 cm^3 y 1 g de agua 1,0001 cm^3; cuando el hielo se funde reduce su volumen en 0,0907 cm^3. El instrumento está hecho de vidrio. Consta de un tubo en U, llamado C, con una parte más amplia γ que termina en un pequeño tubo de ensayo A. En A se coloca el material que se va a examinar contenido en un recipiente β, que tiene una mezcla de agua y de hielo, y que termina en un capilar calibrado S. Para evitar los efectos del medio ambiente, el instrumento se coloca en el interior de otro recipiente con agua y hielo. El material calentado a una temperatura t se coloca en el tubo A. El calor pasa a la mezcla de hielo y agua de β. Como parte del hielo en β se funde el volumen varía y el desplazamiento del mercurio en el tubo capilar permite medir esa variación. Con esa variación puede calcularse el calor desprendido por el objeto.

El calorímetro Bunsen permite hacer medidas muy exactas con una muestra de muy pocos gramos.

Calorímetro de vapor

Johann Philipp Gustav von Jolly (1809 -1884) fue un físico y matemático alemán, doctorado en Heidelberg donde fue profesor. En 1854 sucedió a Ohm en Munich. Entre sus alumnos distinguidos está Max Planck.[6] En 1886 describe un calorímetro que ha ideado para medir el calor específico de una sustancia mediante la condensación de vapor.[7] Lo mide por el cambio de peso de una muestra que cuelga de una balanza al condensarse sobre ella el vapor. Indica que el calor específico se puede determinar midiendo el aumento de temperatura de la muestra que se ha colocado en una atmósfera de vapor saturado. Por ese mismo procedimiento, si se conoce el calor específico de esa muestra se puede calcular el calor latente de vaporización. Opina que lo más difícil es medir la masa del vapor condensado y para ello ha diseñado un calorímetro que conoce como calorímetro gravimétrico. Para que el método sea aceptable se deben cumplir dos condiciones: que el aire que rodea a la sustancia se reemplace rápidamente por el vapor y que se pueda medir mecánicamente la cantidad de vapor condensado mientras la muestra permanece rodeada de vapor. Lo primero se conseguirá introduciendo la sustancia en una cámara llena de vapor o reemplazando rápidamente el aire por vapor.

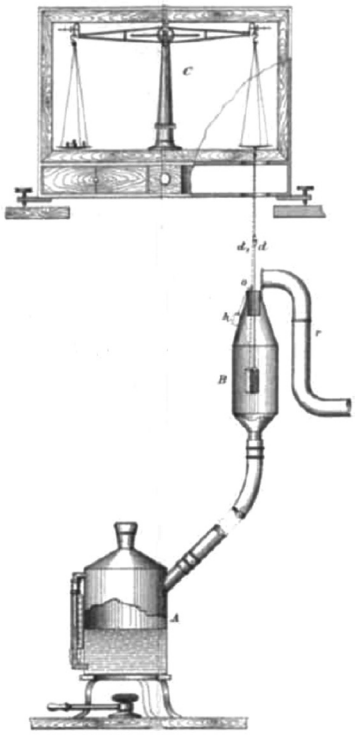


Figura 5 Calorímetro de vapor de Bunsen. (Fuente: Bunsen, R. Ann. Phys. **1887***, 267(5) 1-14 (vol. 31 de serie 3))*

Jolly compara los resultados de las medidas experimentales del calor específico de diversos metales con los obtenidos utilizando el calorímetro de hielo de Bunsen y los resultados son similares.

En 1887 Bunsen, en la última publicación que se le conoce, describe un nuevo calorímetro fundándose en el de Jolly. La diferencia fundamental es que mientras Jolly rodea la muestra de vapor pasándolo rápidamente a través de la vasija donde está contenida, Bunsen cuelga la muestra en una vasija llena de vapor como se puede ver en la figura 5.[8]

En diciembre de 1889, Jolly describe otro calorímetro, al que llama calorímetro de vapor, indicando de forma detallada cómo es la construcción y los cuidados que se deben tener para no obtener medidas erróneas. En su aspecto externo es similar al de Bunsen.[9]

Actinómetro

John William Draper (1811-1882) obtuvo el certificado de honor en química en Inglaterra, donde nació, y, en 1832, por haber fallecido su padre, emigró a Estados Unidos con su madre y hermanas. Allí formó parte de la Sociedad Mineralógica de Virginia. Desde 1839 fue profesor de química del University College de Nueva York y primer presidente, en 1876, de la American Chemical Society. Desde 1837 tuvo un especial interés en la fotografía y sus trabajos e investigaciones le llevaron a enunciar, en 1841, el siguiente principio "*solo los rayos de luz absorbidos producen cambios químicos*".[10] En 1843 construyó el titonómetro (figura 6a), dispositivo que le permitía medir la

6. Körber, H. G. "*Jolly, Philipp Johann Gustav von*" en "*Complete Dictionary of Scientific Biography*". 2008. Encyclopedia.com. (💻 Consulta: octubre 2012).

7. Jolly, J. *Proc. Roy. Soc.* **1886**, *41*, 352-371 y 250-273.

8. Bunsen, R. *Ann. Phys.* **1887**, *267(5)* 1-14 [v. 31 de serie 3]

9. Jolly, J. *Proc. Roy. Soc.* **1889-90**, *47*, 218-245.

10. Fleming, D. "*Draper, John William*". En "*Complete Dictionary of Scientific Biography*". 2008. Encyclopedia.com. (💻 Consulta: octubre 2012).

intensidad de la luz a partir de la velocidad de la combinación entre el hidrógeno y el cloro basándose en el descubrimiento de Gay Lussac y Thenard, quienes indicaban que la luz causaba la combinación progresiva del cloro y el hidrógeno.[11]

En 1855 Bunsen y Roscoe, partiendo de la idea de Draper, diseñaron el dispositivo de la figura 6 b, con objeto de conseguir que la presión se mantuviera constante. Draper había llamado a su dispositivo titonómetro, suponemos que fundándose en el mito de *Titono* (joven hermoso) raptado por *Eos* (la aurora). Bunsen y Roscoe denominaron al suyo actinómetro (actino= rayo solar). El dispositivo de Bunsen y Roscoe aparece descrito de forma detallada en dos artículos, uno de 1857 [12] y otro de 1859 [13].

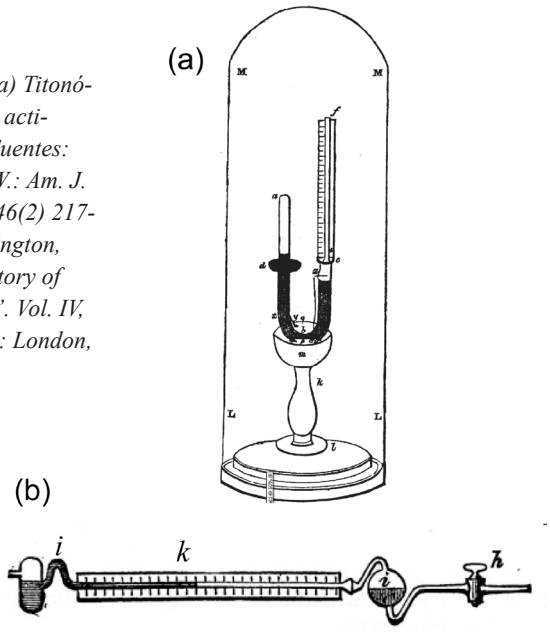


*Figura 6. (a) Titonómetro y (b) actinómetro (Fuentes: Draper, J.W.: Am. J. Sci, **1844**, 46(2) 217-232 y Partington, J.R. "A history of Chemistry". Vol. IV, MacMillan: London, 1964).*

Consta de una ampolla de vidrio *i*, la mitad ennegrecida, que contiene agua de cloro, que llena también de forma parcial el tubo horizontal *k* que contiene un índice. A través del aparato se hace pasar una mezcla de cloro y de hidrógeno obtenidos por electrólisis. Cuando la ampolla se expone a la luz se forma cloruro de hidrógeno. Al disolverse este en agua y formar ácido clorhídrico, el índice se mueve hacia la ampolla y se mide la velocidad. Esto les permite medir el tiempo de inducción de la reacción. Según Draper, el tiempo es proporcional a la intensidad de la luz.[10-11]

Pila de Bunsen

Entre los años 1840-1850 Bunsen se dedicó a mejorar la pila de Grove.[14-16] Comenzó montando una pila que tenía electrodos de carbón en lugar de utilizar metales como platino o cobre que eran mucho más caros. Como despolarizador utilizaba ácido nítrico con lo cual se desintegraba el carbón y, para evitarlo, fabricaba los electrodos mezclando carbón y coque y sometiendo la mezcla a temperaturas muy altas. Primero utilizó un cilindro de carbón empapado en ácido nítrico y dentro colocaba el cinc sumergido en ácido sulfúrico. Pronto lo sustituyó por un cilindro de arcilla porosa que contenía un cilindro de cinc con sulfúrico diluido, y todo ello iba introducido en un cilindro de carbón con ácido nítrico concentrado. Tenía el inconveniente de que producía óxidos de nitrógeno, por lo que la batería formada por estas pilas debía estar fuera del edificio. Más tarde, propuso sustituir el ácido nítrico por ácido crómico para evitar estos problemas. El esquema de la pila de Bunsen se muestra en la figura 7.

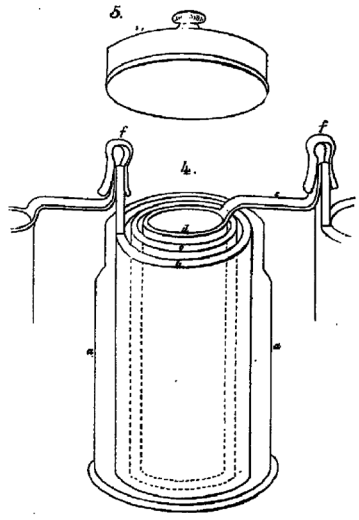


*Figura 7. Pila eléctrica de Bunsen (Fuente: Bunsen, R. Ann. Phys., **1842**, 131(2), 265-276. (vol. 55 de la serie 2) [Biblioteca Nacional de Paris. Reproducción autorizada. gallica.bnf.fr/])*

Llegó a montar una batería de 44 unidades, que le permitió aislar metales por electrólisis y obtenerlos en cantidades suficientemente grandes. Así ocurrió con el magnesio del que hizo hilos que quemaba como fuente de iluminación en los procesos fotoquímicos.

Trompa de vacío

Hermann Johann Philipp Sprengel (1834-1906) fue un físico y químico alemán, formado en las universidades de Gotinga y Heidelberg que, en 1859, se marchó a Inglaterra y completó su formación en Oxford y Londres.[17] Descubrió que se podía conseguir un descenso de presión mediante una corriente de un fluido a través de un estrechamiento según se puede ver en la figura 8a.

Bunsen diseñó y fabricó una trompa para filtrar a vacío partiendo de la idea de Sprengel lo que dio origen a un litigio entre Sprengel y Bunsen sobre la paternidad del descubrimiento, que se deduce de dos cartas publicadas de la revista Nature. En ellas queda claro que Sprengel se encuentra ofendido porque Bunsen, en su publicaciones, parece considerar que la idea es suya (30 de Enero de 1873).[18-19]

En la sección Cartas al Editor hay dos cartas: una de

11. Partington, J.R. "*A history of Chemistry*". Vol. IV, MacMillan: London, 1964

12. Bunsen, R.; Roscoe, H. *Ann. Phys.* **1857**, *176(2),* 43-88.(v. 100 de la serie 2).

13. Bunsen, R.; Roscoe, H: *Ann. Phys.* **1859**, *184(2)* 193-272. (v. 108 de la serie 2]

14. Bunsen, R. *Ann. Chem. Pharm.* **1841**, *38*, 311-313.

15. Bunsen, R. *Ann. Phys.* . **1841**, *130*, 417-430. [v. 54 de la serie 2]

16. Bunsen, R. *Ann. Phys.,* **1842**, *131(2)*, 265-276. [v. 55 de la serie 2]

17. Gowland,W.; Messel, R: Spiller, J.: *J. Chem. Soc. Trans.*, **1907**, *91*, 660-665.

18. Bunsen, R.: *Nature*, **1873**, *7 (170)*, 241-243.

19. Sprengel, H.J.P.: *Nature*, **1873**, *7 (170)* 241-243.

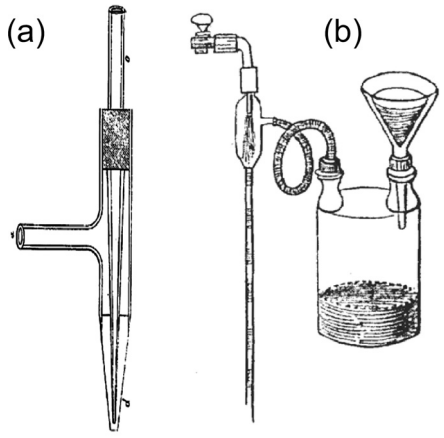


*Figura 8. (a) Bomba descrita por Sprengel y (b) Bomba de Bunsen descrita por Piccard. (Fuentes: Sprengel, H.J.P. Ann. Phys., **1861**, 112, 634-636 21.-(23) Piccard, J. Z. Anal. Chem. **1865**, 4, 45–48.)*

Bunsen a Sprengel,[18] de fecha 1 de enero de 1872, en la que Bunsen reconoce que la idea de conseguir un vacío mediante una corriente de columnas de líquido que fluyen, que es mejor que el vacío que se producía con bombas de aire, es únicamente de Sprengel. Así lo había publicado en 1865 en el *Journal of the Chemical Society* de Londres. Por otra parte, Sprengel también indicaba que el líquido a usar, además del mercurio, podía ser el agua. Finalmente, Bunsen reconocía que la trompa de vacío que él había construido, y que usaba para sus filtraciones, se fundaba en los principios de Sprengel.

A esta carta contesta Sprengel con fecha 5 de noviembre de 1872 dándole las gracias a Bunsen por el reconocimiento que hace en la carta anterior.[19] Añade que él ha utilizado en el laboratorio una trompa de agua que había sido descrita por él mismo en 1861 pero que la dejó de usar debido a la alta presión de vapor del agua.[20]

Sin embargo parece que Sprengel sigue sin estar satisfecho y en 1881 publica un trabajo titulado:"Sprengel´s vacuum pump, commonly called Bunsen´s filter pump" (1881) en el que insiste que el descubrimiento no es de Bunsen.

Jules Piccard, alumno de Bunsen, describe el aparato de filtración de Bunsen con la figura 8b.[21]

En 1868 Bunsen publica un artículo sobre la teoría del lavado de precipitados en el que indica que la mejor forma de lavarlos es al vacío porque la filtración y el lavado son más rápidos.[22] En dicho trabajo recoge de forma detallada el dispositivo que utiliza para lavar (figura 9), indicando que la idea la ha tomado del mecanismo de Sprengel. Sin embargo, teniendo en cuenta que las sustancias químicas son, en general, muy corrosivas, decide utilizar un dispositivo que no tenga partes metálicas y en el que, además, el fluido utilizado para producir el descenso de presión sea agua.

En la figura que publica junto con el artículo, compuesta por diversas figuras internas que denominaremos con su misma simbología en adelante, aparece desde cómo se hace el filtro hasta cómo se mantiene una corriente de agua constante con un sistema de dos botellas que cambia de posición (*figura7* en la figura 9).

La *figura 4* muestra el dispositivo que utiliza para hacer el vacío y que describe meticulosamente de la siguiente forma: "*Abriendo la abrazadera situada en **a** el agua fluye por el tubo l dentro de la vasija **b** y de aquí va a la tubería **c**. Esta tubería tiene un diámetro de unos 8 mm y se extiende hasta una profundidad de 30 a 40 pies y al final termina en un sumidero. El extremo inferior del tubo **d** tiene una apertura estrecha y está herméticamente sellado con el tubo **b**, y casi llega al fondo de este. Un manómetro está conectado en la parte superior del tubo **d**. En **d**$_2$ se conecta*

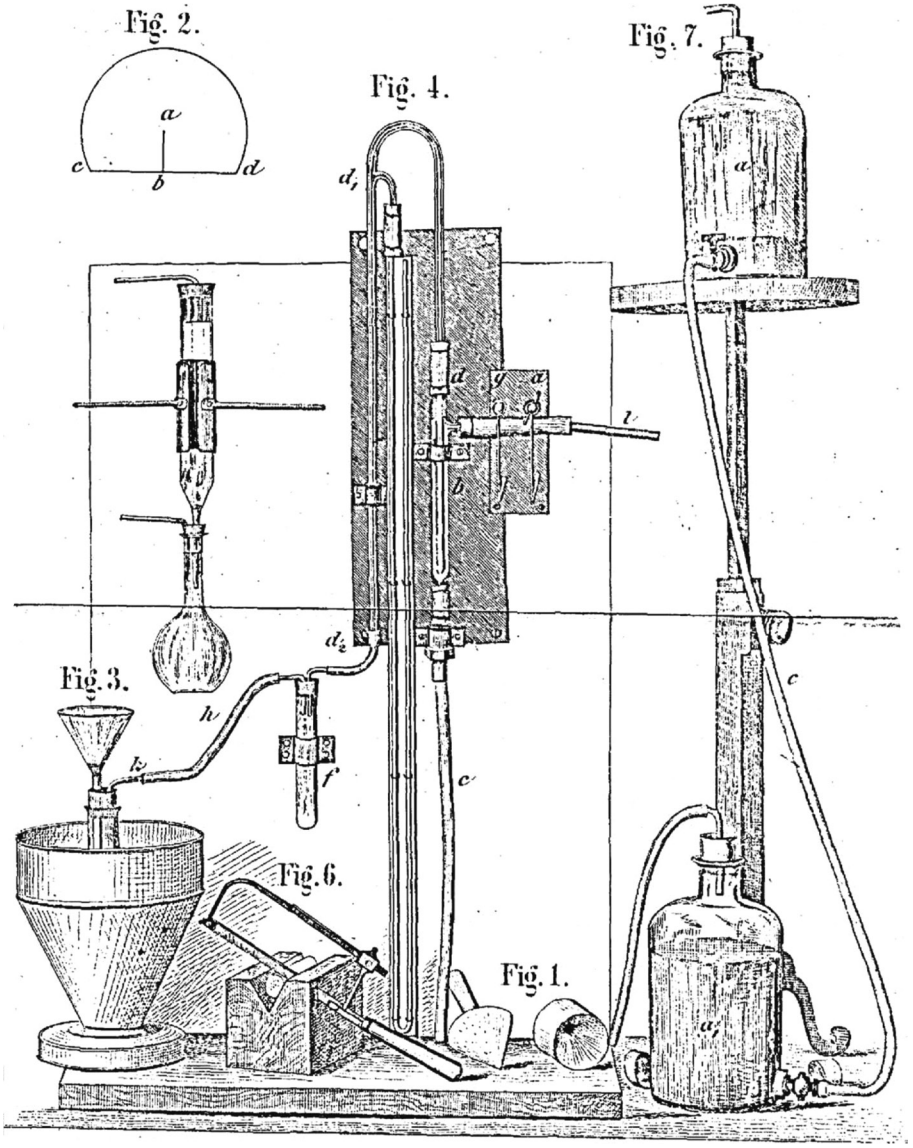


*Figura 9. Aparato de filtración a vacío descrito por Bunsen (Fuente: Bunsen, R.: Ann. Chem. Pharm. **1868**, CXLVIII, 269-293.)*

20. Sprengel, H.J.P.: *Ann. Phys.*, **1861**, *188*, 634-636 (vol. 112 en serie 2)

21. Piccard, J.: *Z. Anal. Chem.* **1865**, *4*, 45-48.

22. Bunsen, R.: *Ann. Chem. Pharm.* **1868**, *CXLVIII*, 269-293.

un tubo fuerte y grueso de caucho, de diámetro interior 5 mm y exterior de 12 mm, que lo une con el matraz donde se hace el vacío. En medio hay una pequeña vasija ***f*** *donde se condensa el vapor de agua procedente del agua caliente que se utiliza para lavar. Todas las conexiones se hacen con tubo de caucho de 5 mm de diámetro interior y 17 mm de diámetro exterior. Todo el dispositivo está atornillado sobre un panel sujeto a la pared con objeto de evitar que los tubos se rompan; cada una de las piezas está sujeta por separado para evitar que los tubos queden tensos o se rompan con cualquier movimiento del panel…… No hay ninguna ventaja aumentando la rapidez con que fluye el agua.*

Con este dispositivo en un tiempo muy corto se consigue una presión igual a la tensión de vapor de agua".[22]

A la izquierda de esta lámina aparece un matraz, donde pone *Fig. 3*, que lleva adaptado todo un sistema para filtrar en caliente. Lo describe indicando que el filtro está rodeado de un anillo de cobre con dos salientes de los cuales se cuelgan dos lámparas que permiten calentar mientras está filtrando. El matraz de filtración está introducido en una vasija; Bunsen indica que está así para que, si se produce una explosión, no salten pedazos. Incluso dice que, para más seguridad, la vasija se rellena con trozos de tela.

Toda la instalación la fija sobre un panel de madera que, a su vez, va unido a la pared y, como es muy detallista, en la figura aparece incluso la sierra de cortar la madera.

Después de estudiar todos estos escritos podemos afirmar que la trompa de vacío es una idea de Sprengel y lo que hizo Bunsen fue adaptarla para filtrar a vacío. De hecho, el trabajo de 1867 es una disertación extensa y detallada sobre la filtración a vacío.

Utilización didáctica de estos instrumentos

Mechero de Bunsen para explicar la combustión

Los autores opinamos que el tema de la combustión debería formar parte del nivel general de educación secundaria por su importancia, debido a la gran cantidad de muertes que se producen por inhalación de monóxido de carbono. Es importante que los alumnos sepan en qué condiciones se da una combustión completa y en cuáles se puede producir un gas tóxico.

Trabajamos con el mechero Bunsen porque los alumnos pueden ver perfectamente la diferencia entre el color de la llama cuando se cierra la entrada de aire en el mechero y cuando la entrada está abierta. Si se tapan con los dedos los orificios de la entrada del aire se produce una llama completamente amarilla porque está llena de partículas de carbón, lo cual se puede comprobar poniendo sobre la llama una cápsula de porcelana que se ennegrece totalmente.

Los alumnos podrían escribir las tres posibles reacciones de un hidrocarburo cualquiera con el oxígeno, por ejemplo butano, para que se den cuenta de que según la proporción de oxígeno se puede formar dióxido de carbono, monóxido de carbono o carbono. Se podría discutir cuál de ellas es la que más interesa y cuál es la más peligrosa. Es importante que se den cuenta de que si se produce la tercera reacción significa que hay cantidad insuficiente de oxigeno y, como hay muchas moléculas reaccionando, seguro que hay moléculas que al combinarse con el oxígeno producen monóxido de carbono.

Los alumnos podrían discutir las ventajas e inconvenientes de cada una de esas tres reacciones desde el punto de vista energético y de su peligrosidad:

- ¿Cuál es la reacción más peligrosa por la toxicidad de los productos?
- ¿Cuál es la que produce más energía porque se rompen o se forman más o menos enlaces químicos?
- ¿De qué color es la llama cuando los orificios de entrada de aire están destapados?
- ¿Por qué tienen que buscar en los calentadores y cocinas de su casa que la llama sea prácticamente incolora?
- ¿Qué deben hacer si la llama es amarilla?

Mechero y trompa de vacío para explicar el efecto Venturi

Con un mechero Bunsen o con un "camping gas" (hornillo a gas) se puede comprobar el efecto Venturi: se les sugiere que le quiten la chimenea al mechero o la "alcachofa" al camping gas (Figura 10), busquen el orificio por donde sale el gas y se den cuenta de que es tan estrecho que ni siquiera entra un alfiler. Les cuesta entender que al salir el gas por ese "estrechamiento" lo tiene que hacer a gran velocidad y, por eso, se produce un descenso de presión que es lo que hace que el aire de la atmósfera entre hacia esa corriente de gas. De esta forma, el butano subirá por la chimenea mezclado con el aire y la combustión será completa. Deberán hacer un esquema que represente la salida del gas, la entrada del aire, etc.

Como complemento se les puede indicar que busquen en un libro o en internet el funcionamiento del carburador de un automóvil.

En cursos superiores se podría demostrar, mediante el principio de conservación de la energía, por qué en los estrechamientos se produce un descenso de presión. También se podría estudiar el fundamento de la aviación.

De la misma forma explicarán el funcionamiento de la trompa de vacío para lo que se necesitará una trompa de vidrio que les permita ver cómo está hecha en el interior. (Figura 11a). La figura 11b muestra el funcionamiento de la trompa. Como se observa, al estrecharse la corriente de agua se produce un descenso de presión y por el tubo lateral entra aire.

Figura 10. Hornillo de gas portátil (también conocido como "Camping gas" (Microsoft images))

Los alumnos podrán hacer varias comprobaciones utilizando la trompa:

- ¿Qué sucede si a la trompa se le conecta una botella de plástico que no sea rígida y por qué?
- ¿Cómo establecer una corriente de aire a través de un líquido colocado en un matraz cerrado con un tubo de entrada y uno de salida (véase figura 11b)?
- Ventajas de la filtración a vacío, etc.

A los estudiantes de cursos superiores se les puede facilitar las páginas del artículo de Bunsen que describen la lámina para que las interpreten e incluso hagan un comentario del texto de Bunsen. Probablemente será más positivo darles la copia de *Philosophical Magazine*,[23] porque, al estar en inglés y no en alemán, les resultará más fácil la lectura.

Espectroscopio

Los estudiantes podrían hacer un estudio del texto de Bunsen en el que describe el espectroscopio indicando cuál es la función de cada uno de los elementos y compararlo con el espectroscopio actual. Para ello, se les facilitaría la figura 3 (de este artículo) y el texto que la acompaña junto con el espectroscopio que utilizan en la actualidad.

Posibles preguntas:

- ¿Por qué fue muy importante el mechero de Bunsen para trabajar con el espectroscopio?
- ¿Cuáles son las características de la llama de ese mechero?
- ¿Qué fuentes luminosas se utilizan en la actualidad y por qué?
- ¿Qué es un espectro?
- ¿Qué sucede cuando un rayo de luz atraviesa un prisma?
- ¿Cuál es la función de la rendija?

Pila Bunsen

A partir de la bibliografía los estudiantes harían un estudio de las características de la pila de Bunsen y una relación de las ventajas más importantes.

Posibles preguntas:

- ¿Por qué supuso un avance utilizar el carbono como electrodo?
- Inconvenientes del nítrico como despolarizante. ¿Por qué sustancia se sustituyó?

Actinómetro

De manera similar a lo que proponemos con el calorímetro, se trataría de un estudio a partir de la bibliografía, del fundamento del titonómetro y del actinómetro, y de las ventajas de este último con relación al anterior.

Posibles preguntas:

- ¿Se siguen utilizando en la actualidad?
- ¿Cómo se mide la intensidad luminosa en la actualidad?

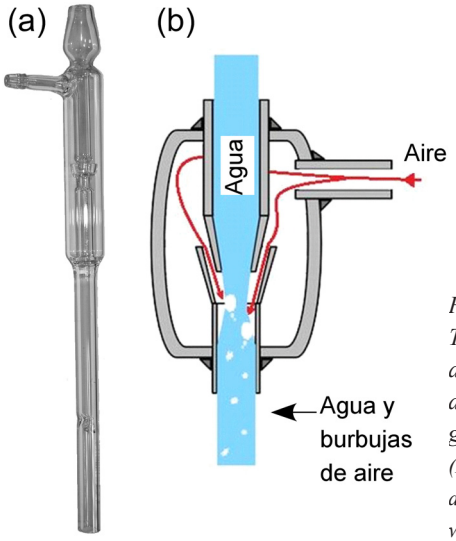


Figura 11. (a) Trompa de vacío de agua y (b) esquema del funcionamiento general de la trompa (Fuente: (a) Autores del artículo y (b) P.Forster, wikimedia Commons)

Calorímetros

Los estudiantes podrían explicar el fundamento de los calorímetros de Lavoisier y Bunsen y hacer un resumen de los inconvenientes del calorímetro de Lavoisier que se evitan con el de Bunsen a partir de la bibliografía que se les facilitara.

Consideraciones finales

Siempre resulta interesante, tanto para los profesores como para los estudiantes, indagar en la historia de la ciencia y conocer de cerca biografías como la de Robert Bunsen que pueden servir de estímulo para ambos.

Bunsen siempre intentó mejorar los instrumentos que llegaban sus manos apoyándose en los conocimientos que tenía de física. Llama la atención la minuciosidad con la que describió todos estos aparatos que no deja lugar a dudas de cómo estaban hechos y qué aplicaciones tenían.

Por otra parte, la mayoría de estos instrumentos que después de tantos años se siguen utilizando, tienen gran valor didáctico para trabajar con los estudiantes. Como ejemplo citaremos el fundamento de algo tan simple como el carburador del coche, la trompa de vacío, etc. La experiencia nos indica que a los estudiantes de todos los niveles les cuesta mucho entender los cambios de presión en las corrientes de los fluidos al pasar por un estrechamiento y la utilización técnica de este fenómeno. Cualquier texto de las publicaciones de Bunsen se podría utilizar desde el punto de vista didáctico para hacer reflexionar a los estudiantes preguntándoles sobre el fundamento de cada dispositivo.

Bibliografía esencial

Partington, J.R. "*A history of Chemistry*", Vol. IV, MacMillan, London, 1964.

Schacher, S. G. "*Bunsen, Robert Wilhelm Eberhard.*" En "*Complete Dictionary of Scientific Biography*". 2008. Encyclopedia.com. (💻 Consulta: octubre 2012).

23. Bunsen, R. *Phil. Mag.* **1869**, *37* (246), 1-17.

View publication stats