

“EL EXPERIMENTO DE R. A. MILLIKAN”

Entre 1909 y 1913, el físico estadounidense Robert Andrews Millikan, llevó a cabo una serie de experimentos, con los cuales pudo determinar el valor de la carga eléctrica de diferentes gotas de aceite, y a partir de tales cargas, logró determinar el valor de la carga eléctrica del electrón. Para ello, consideró que, toda carga eléctrica era consecuencia de un exceso o deficiencia de electrones, y ya que no se pueden tener fracciones de electrones; entonces, **toda carga eléctrica debe de ser, un múltiplo entero de la carga de un electrón**, ésta es la llamada hipótesis de Millikan, la cual puede expresarse analíticamente de la forma siguiente:

$$Q = N \cdot e$$

Donde, Q es la carga del objeto; N es un número entero positivo y e es la carga del electrón.

Por lo anterior, Millikan buscó la forma de obtener valores de cargas eléctricas pequeñas, que le permitieran determinar el mínimo común múltiplo entre ellas, el cual corresponde a la carga del electrón. Millikan logró determinar la carga eléctrica de pequeñas gotas de aceite, que se encontraban bajo la influencia de un campo eléctrico; para ello, empleó un dispositivo que constaba de una cámara, formada por un par de placas metálicas, un aspersor y un microscopio con graduación interior (figura 1), de tal forma que, cuando se introducen las gotas de aceite con ayuda del aspersor, éstas se pueden observar a través del microscopio para determinar algunos parámetros que permiten calcular el valor de su carga eléctrica.

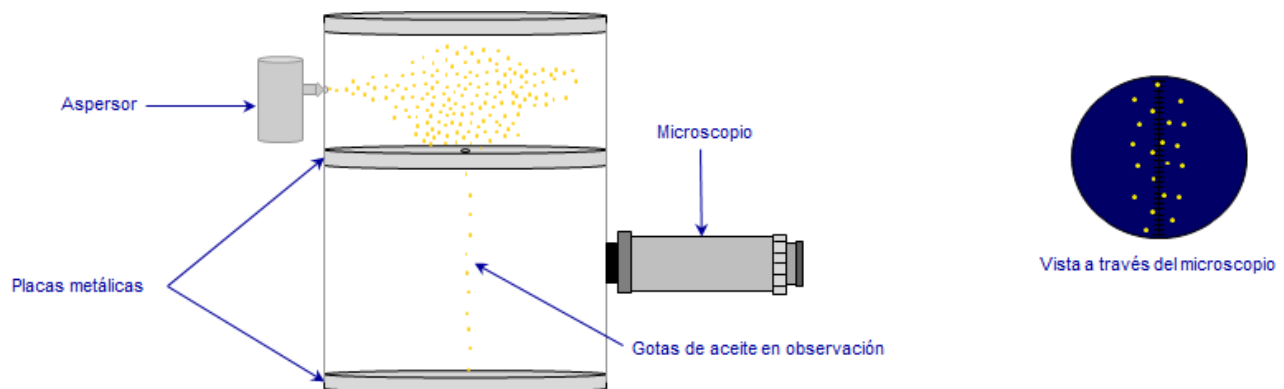
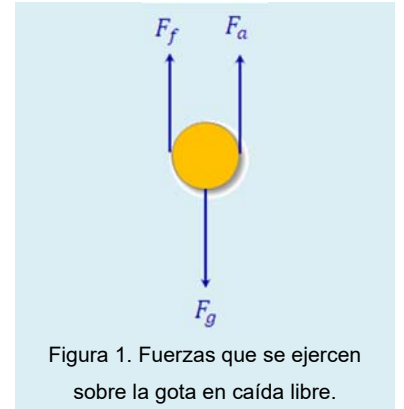


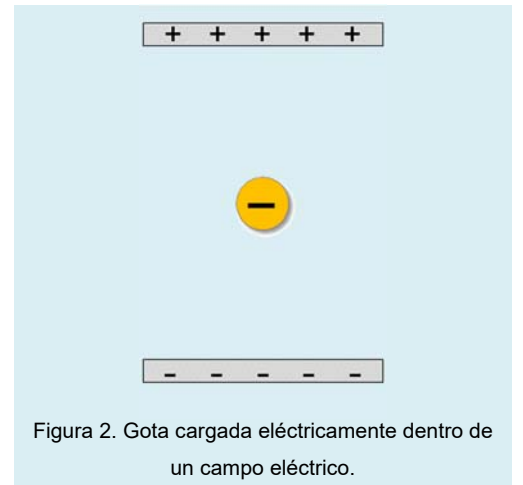
Figura 1. Dispositivo experimental de Millikan

Cuando las gotas salen del aspersor, se cargan eléctricamente por fricción con las moléculas de aire, así que cuando entran a la zona de observación se encuentran cargadas eléctricamente y **en caída libre**. En tal caso, sobre la gota se ejercen diferentes fuerzas como se muestra en la figura 1. Donde, la fuerza de gravedad (F_g) tira de la gota hacia abajo, y la fuerza de Arquímedes (F_a) junto con la fuerza de fricción (F_f) tiran de la gota hacia arriba. De esta situación se puede establecer la expresión de equilibrio siguiente:



$$F_g - F_a - F_f = 0 \quad \dots 1$$

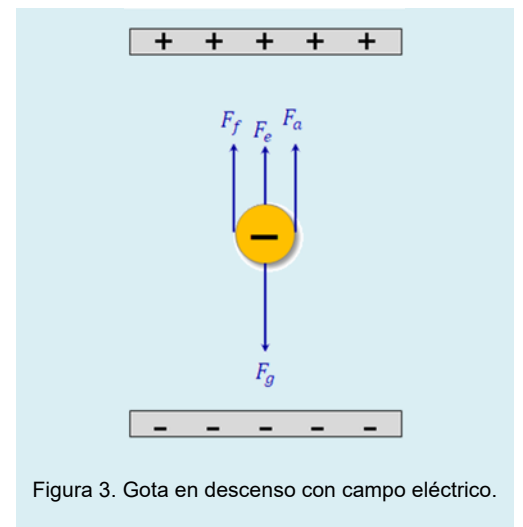
Por otra parte, si la gota que se encuentra en caída libre presenta carga negativa y se impone una diferencia de potencial entre las placas, haciendo que la placa superior quede cargada positivamente y la inferior negativamente, se genera un campo eléctrico que puede afectar el comportamiento de la gota (figura 2).



En tal caso, la gota estaría en alguna de las situaciones que se describen a continuación:

Gota en descenso con campo eléctrico.

Si la diferencia de potencial aplicado entre las placas es pequeña, el campo eléctrico generado es pequeño y por lo tanto sobre la gota se ejerce una fuerza eléctrica (F_e) pequeña, que tira de la gota hacia arriba (Figura 3); sin embargo, dicha fuerza es muy pequeña, por lo cual solo disminuye la velocidad de caída, pero no frena totalmente la caída de la gota.



En tal situación, la expresión de equilibrio es la siguiente:

$$F_g - F_a - F_f - F_e = 0 \quad \dots 2$$

Gota estática con campo eléctrico.

Si se aumenta la diferencia de potencial aplicado entre las placas, aumenta el campo eléctrico generado y aumenta la fuerza eléctrica que se ejerce sobre la gota, hasta el punto en el que se puede frenar completamente la caída de la gota, en ese punto, la gota no se encuentra en movimiento; por lo tanto, la fuerza de fricción es nula como se muestra en la figura 4.

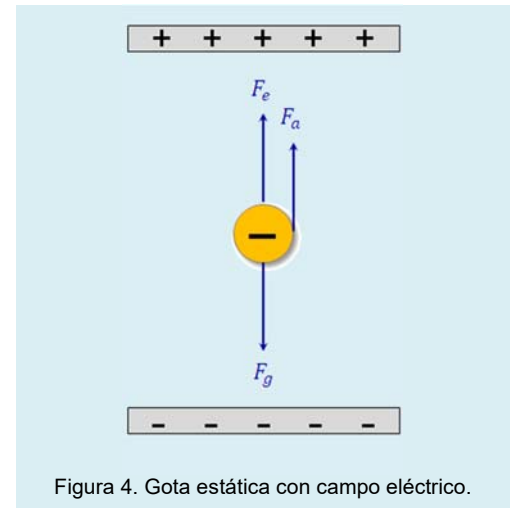


Figura 4. Gota estática con campo eléctrico.

En tal situación, la expresión de equilibrio es la siguiente:

$$F_g - F_a - F_e = 0 \quad \dots 3$$

Gota en ascenso con campo eléctrico.

Si se aumenta aún más la diferencia de potencial aplicado entre las placas, aumenta más el campo eléctrico generado y aumenta más la fuerza eléctrica que se ejerce sobre la gota, hasta el punto en el que se puede hacer que la gota empiece a ascender, en ese punto, la gota se encuentra en ascenso; por lo tanto, la fuerza de fricción existe, pero tira de la gota hacia abajo, como se muestra en la figura 5.

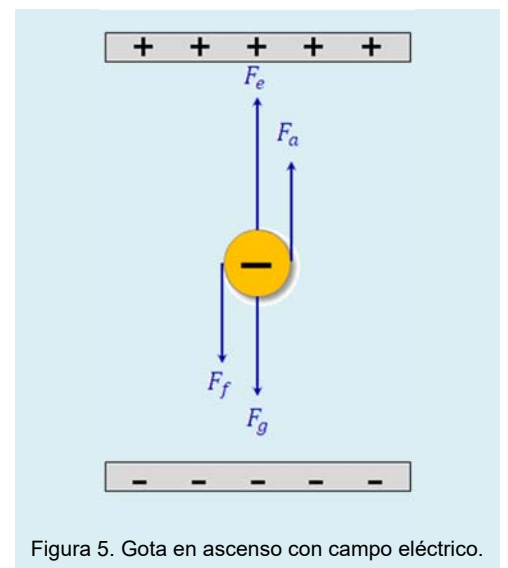


Figura 5. Gota en ascenso con campo eléctrico.

En tal situación, la expresión de equilibrio es la siguiente:

$$F_g - F_a + F_f - F_e = 0 \quad \dots 4$$

Millikan, conocía las expresiones analíticas para calcular la magnitud de cada una de las fuerzas antes mencionadas.

Fuerza de gravedad	Fuerza de Arquímedes	Fuerza de fricción	Fuerza eléctrica
$F_g = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \cdot \rho_{ac} \cdot g$ 5	$F_a = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \cdot \rho_{ai} \cdot g$ 6	$F_f = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$ 7	$F_e = Q \cdot \left(\frac{V}{d_p}\right)$ 8

Donde, r es el radio de la gota, ρ_{ac} es la densidad del aceite, ρ_{ai} es la densidad del aire, g es la aceleración gravitatoria, η (eta) es la viscosidad del aire, v es la velocidad de la gota, Q es la carga eléctrica de la gota, V es el la diferencia de potencial entre las placas metálicas y d_p es la distancia entre las placas metálicas. Cabe mencionar que, la velocidad de la gota se determina dividiendo la distancia que recorre la gota entre el tiempo transcurrido, ya sea que se encuentre en caída libre, en ascenso con campo eléctrico o en descenso con campo eléctrico.

Sustituyendo las expresiones de las diferentes fuerzas, en las expresiones de equilibrio correspondientes a las diferentes situaciones que presenta la gota, se obtienen las expresiones siguientes.

$$\text{Gota en caída libre} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_{cl}}{2 \cdot (\rho_{ac} - \rho_{ai}) \cdot g}} \quad \dots \mathbf{9}$$

$$\text{Gota en ascenso con campo eléctrico} \Rightarrow Q = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho_{ac} - \rho_{ai}) \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_d\right) \left(\frac{d_p}{V}\right) \quad \dots \mathbf{10}$$

$$\text{Gota estática con campo eléctrico} \Rightarrow Q = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho_{ac} - \rho_{ai}) \cdot g\right) \left(\frac{d_p}{V}\right) \quad \dots \mathbf{11}$$

$$\text{Gota en descenso con campo eléctrico} \Rightarrow Q = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho_{ac} - \rho_{ai}) \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_d\right) \left(\frac{d_p}{V}\right) \quad \dots \mathbf{12}$$

De esta forma, para determinar el valor de la carga eléctrica de la gota se tiene que proceder de la forma siguiente:

1. Se introducen las gotas de aceite dentro del dispositivo y se observan a través del microscopio, eligiendo alguna que se desplace cerca de la graduación interior.

2. Se le determina el tiempo que tarda en desplazarse cierta distancia, estos datos permiten calcular la velocidad de caída libre, la cual a su vez, se sustituye en la expresión **9** para determinar el radio de la gota.
3. Sin dejar de observar la gota, se aplica una diferencia de potencial entre las placas y se observa si la gota sigue cayendo, está estática o asciende:
 - Si la gota sigue cayendo, se determina el tiempo que tarda en desplazarse cierta distancia, estos datos permiten calcular la velocidad de descenso con campo eléctrico, la cual a su vez, se sustituye junto con el radio de la gota en la expresión **10**, para determinar el valor de la carga eléctrica de la gota.
 - Si la gota se encuentra estática, simplemente se sustituye el radio de la gota en la expresión **11**, para determinar la carga eléctrica de la gota.
 - Si la gota asciende, se determina el tiempo que tarda en desplazarse cierta distancia, estos datos permiten calcular la velocidad de ascenso con campo eléctrico, la cual a su vez, se sustituye junto con el radio de la gota en la expresión **12**, para determinar el valor de la carga eléctrica de la gota.

Empleando el dispositivo mencionado y el procedimiento descrito, Millikan logró determinar el valor de la carga eléctrica de un gran número de gotas de aceite, y posteriormente encontró el mínimo común múltiplo de todas esas cargas, el cual considero como el valor de la carga de un electrón, El valor que reportó fue de 1.5924×10^{-19} [C], el cual se encuentra dentro del 1 % de error del valor actualmente aceptado de $1.602176487 \times 10^{-19}$ [C].

Finalmente, y a manera de conclusión, se puede decir que el experimento de Millikan es uno de los más ingeniosos que se han diseñado en la física.

REVISORES DEL ARTÍCULO:

M. A. Ayesha Sagrario Román García; Q. Antonia del Carmen Pérez León.

BIBLIOGRAFÍA:

- Chang, Raymond *Química*, 7ª edición; McGraw-Hill: México, 2002.
- <https://www.facebook.com/ahombrosdegiga/posts/robert-andrews-millikan-el-c%C3%A1culo-de-la-constante-el%C3%A9ctrica-elemental-la-carga-/1249438018505636/> Fecha de consulta: 21 de julio de 2018
- https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_drop_experiment Fecha de consulta: 20 de julio de 2018.