

# SOBRE LA VIRTUALIZACIÓN 3D DEL EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Daniel Ronquillo<sup>1</sup>

## Resumen

El experimento de Robert Millikan fue realizado en 1909 con el objetivo de medir la carga del electrón. Un experimento de gran importancia en los campos de la electricidad y magnetismo que puede ser realizado por estudiantes de física y química al rededor del mundo. Aunque existen recreaciones simples de este experimento en dos dimensiones, una recreación en tres dimensiones que pueda ser utilizada para obtener mediciones cercanas a la realidad no es algo de fácil acceso. Este artículo describe el proceso de desarrollo de dicha recreación, por medio de ingeniería inversa del experimento original utilizando el motor de videojuegos "Unity"; así como utilizado el equipo de laboratorio, la guía del estudiante, y de manuales de usuario del equipo de laboratorio<sup>2</sup>. Al comparar los datos obtenidos de la recreación virtual con los datos del experimento real, se observó que la precisión del experimento virtual dio un error del 7%. Por tanto, el experimento virtual puede ser utilizado, sin pérdida de la experiencia presencial, en lugar del experimento real cuando esta no sea posible.

Palabras clave:

Millikan – Electrón – Virtualización – Experimento

<sup>1</sup>Centro de Física, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

Correo electrónico – autor principal: [dironquillo@uce.edu.ec](mailto:dironquillo@uce.edu.ec)

## Contenido

Introducción	14
1. Método	15
1.2 Experimento real	15
1.2 Experimento virtual	15
2. Resultados y discusión	16
2.1 Experimento real	16
2.2 Experimento Virtual	17
3. Conclusiones	18
Agradecimientos	18
Bibliografía	18

## Introducción

La enseñanza de la física es una tarea compleja, ya sea por la dificultad de la temática, o por la dificultad del desarrollo de experimentos claves para su correcto aprendizaje.

Gracias a la facilidad de uso de los motores de videojuegos el desarrollo de recreaciones virtuales de experimentos ha

venido en aumento, lo que ha facilitado el aprendizaje y enseñanza, ya que permite que experimentos de alta complejidad y/o costos elevados, puedan ser realizados por cualquier persona con acceso a una computadora o dispositivo inteligente. Sin embargo, la mayoría de los simuladores virtuales por lo general son simples virtualizaciones en 2 dimensiones con interactividad limitada, enfocados en temáticas de física básica, sea cinemática o dinámica. Debido a su complejidad, virtualizaciones son más escasas. (Universidad de Colorado s.f.)

A continuación, se describe el proceso del experimento real, como la física fue transformada a un programa de computadora y finalmente una comparación entre los datos reales y virtuales.

<sup>2</sup>Desarrollado por la compañía alemana "Phywe"

## 1. Método

### 1.2 Experimento real

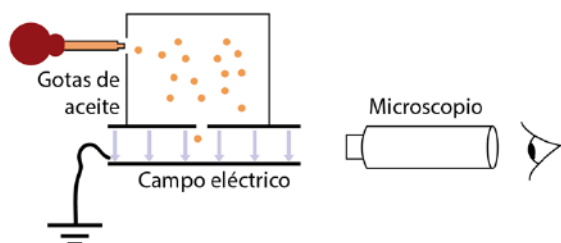


Figura 1. Ilustración del experimento de Millikan

Por medio de un microscopio, Millikan observó gotas de aceite flotando dentro de un campo eléctrico y midió el tiempo transcurrido en moverse a través de una rejilla, de tal forma pudo determinar que las fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite son:

- Fuerza de fricción
- Fuerza gravitacional
- Fuerza de flotabilidad
- Y, fuerza de campo eléctrico

Al sumar todas las fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite, se obtiene la velocidad de caída  $v_1$ , y velocidad de ascenso  $v_2$ , donde opera el radio de cada gota  $r$ , la viscosidad del aire  $\eta$ , la carga  $Q$ , el campo eléctrico  $E$ , la gravedad  $g$ , y las densidades del aceite y aire,  $\rho_1$  y  $\rho_2$  respectivamente.

$$v_1 = \frac{1}{6 * \pi * r * \eta} * \left( Q * E + \frac{4}{3} * \pi * r^3 * g * (\rho_1 - \rho_2) \right) \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{1}{6 * \pi * r * \eta} * \left( Q * E - \frac{4}{3} * \pi * r^3 * g * (\rho_1 - \rho_2) \right) \quad (2)$$

(Phywe 2017)

La velocidad de una gota, sin importar si es en caída o ascenso, se puede calcular obteniendo el cociente de la longitud de la rejilla observada por el microscopio  $s$ , y tiempo de movimiento  $t$ , por medio de la ecuación:

$$v = \frac{s}{t} \quad (3)$$

(Phywe 2017)

Al sumar las ecuaciones (1) y (2) se obtiene el radio.

$$r = C_2 * \sqrt{v_1 - v_2} \quad (4)$$

(Phywe 2017)

Donde  $C_2 = 6.37 \times 10^{-5} (\text{m} * \text{s})^{-1/2}$

Utilizando las ecuaciones se obtiene la carga de una gota de aceite  $Q$ . Al realizar el procedimiento con una gran cantidad de gotas se observa que la carga es un múltiplo de un valor constante, dado por la ecuación:

$$Q = n * e \quad (5)$$

(Phywe 2017)

Donde "e" es el valor constante de la carga del electrón  $1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$  y  $n$  es el número de electrones de la gota de aceite.

### 1.2 Experimento virtual

El objetivo del experimento es calcular los valores de velocidad de caída  $v_1$  y velocidad de ascenso  $v_2$ , por medio de los cuales se calculan los valores de radio  $r$ , carga  $Q$  y finalmente el valor de carga del electrón  $e$ .

Recordemos que el objetivo de este artículo es indicar el proceso de desarrollo de la virtualización, eso indica cómo se recreó el comportamiento de los elementos reales en el ambiente virtual, más no como fue el desarrollo de los elementos tales como los modelos 3D o la interfaz de usuario. También es necesario aclarar que, el propósito del simulador es funcionar como complemento del experimento real, por ello, y a diferencia de varios laboratorios virtuales existentes, no puede ser una calculadora, el usuario deberá interactuar con los elementos virtuales de manera similar de que lo haría en un laboratorio, incluyendo la tarea de conseguir los datos.

Unity permite crear objetos especiales llamados prefabs, lo que permite almacenar

componentes y propiedades en un elemento del entorno. Un prefab actúa como una plantilla a partir de la cual se pueden crear nuevas instancias del objeto en dicho entorno. (Unity 2022)

Cada gota de aceite es un prefab que tiene código de programación incrustado permitiéndole emular el comportamiento de una gota real.

Existen cuatro incógnitas dentro del experimento, el número de electrones  $n$ , el radio de la gota,  $r$ , y sus velocidades; esos valores son calculados utilizando los valores de tiempo medidos, así como los valores ya conocidos como la distancia de rejillas  $s$ , el voltaje del sistema  $U$ , la densidad del aceite  $\rho_1$ , entre otros. Sin embargo, dentro del simulador estos valores no son incógnitas, ya que se tiene control de todas las variables.

Al momento que el prefab de una gota de aceite es creado, a este es asignado un valor de radio y número de electrones aleatorio entre un rango definido, de esta forma cada gota es única, dotando al usuario una herramienta que permita la obtención de datos acordes a una práctica real. Utilizando el valor de carga y radio se aplican las ecuaciones (5), (1) y (2) de tal manera que se obtienen las velocidades.

Con estos datos, además de los valores de la distancia de la rejilla y voltaje del sistema, cada gota "sabe" en qué dirección tiene que moverse y a qué velocidad debe de hacerlo, de tal forma que replica el comportamiento real.

## 2. Resultados y discusión

Los diferentes datos a ser validados fueron obtenidos de la realización de 20 experimentaciones tanto en la práctica real como en el simulador. De estos valores obtenidos se procedió a obtener la media aritmética de la carga del electrón para ambos casos y compararlos con el valor teórico.

## 2.1 Experimento real

El experimento se realizó bajo las siguientes condiciones:

$$\eta = 1.82 \times 10^{-5} \text{ kg(ms)}^{-1}$$

$$d = 2.5 \text{ mm}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho_2 = 1.293 \text{ kgm}^{-3}$$

$$U = 300 \text{ V}$$

$$s = 1 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 1.03 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados parciales:

**Tabla 1. Resultados reales**

$v_1$ (m/s)	$v_2$ (m/s)	$r$ (m)	$Q$ (C)
$4.64 \times 10^{-4}$	$3.30 \times 10^{-4}$	$7.37 \times 10^{-7}$	$8.54 \times 10^{-19}$
$3.81 \times 10^{-4}$	$3.18 \times 10^{-4}$	$5.08 \times 10^{-7}$	$5.19 \times 10^{-19}$
$4.60 \times 10^{-4}$	$2.51 \times 10^{-4}$	$9.22 \times 10^{-7}$	$9.57 \times 10^{-19}$
$3.61 \times 10^{-4}$	$2.02 \times 10^{-4}$	$8.02 \times 10^{-7}$	$6.59 \times 10^{-19}$
$3.87 \times 10^{-4}$	$3.26 \times 10^{-4}$	$4.99 \times 10^{-7}$	$5.19 \times 10^{-19}$

Los valores de velocidad  $v_1$  y  $v_2$  se obtuvieron aplicando la ecuación (3), luego se obtuvo el radio  $r$  con la ecuación (4) y el valor de la carga se obtiene despejando  $Q$  de la ecuación (1) o (2). Finalmente, se grafica los valores de carga en función de radio como se observa en la Figura 2.

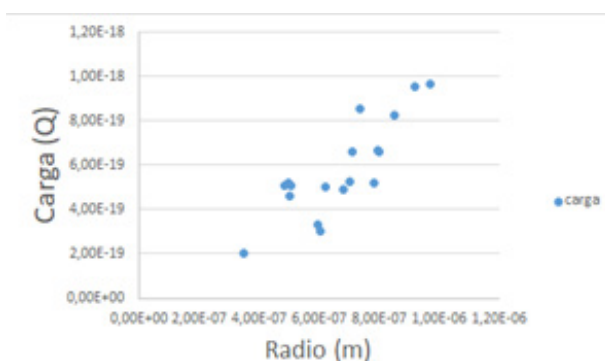


Figura 2. Carga en función de radio, con datos reales

Se puede observar que los valores de carga se "agrupan" a ciertos niveles, se obtiene un valor promedio de cada "nivel" y luego se determina la diferencia entre ellos. Esta diferencia corresponde a la carga elemental  $e$ . Al promediar los valores de las diferencias se obtuvo el valor experimental

$e=1.603 \times 10^{-19}$  C, lo que es un error del 5% al valor teórico. Es por medio de esta forma que se obtiene la ecuación (5).

Se obtuvo un valor promedio de carga experimental simulada  $e=1.79 \times 10^{-19}$  C, lo que en el caso del simulador indica un error del 7% al valor teórico.

## 2.2 Experimento virtual

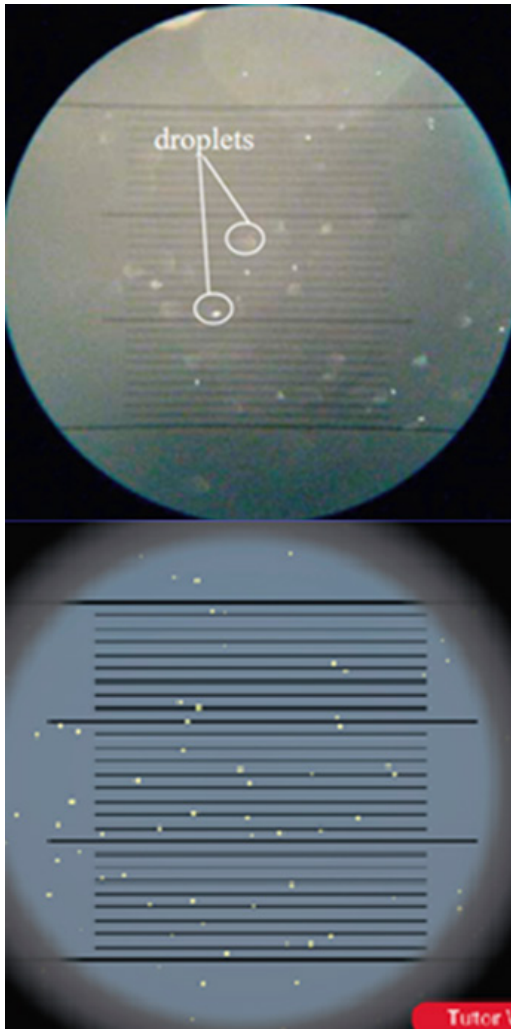


Figura 3. Gotas de aceite bajo el microscopio, real y virtual

Durante el experimento virtual, desarrollado bajo las mismas condiciones y siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 2. Resultados virtuales**

$v_1$ (m/s)	$v_2$ (m/s)	$r$ (m)	$Q$ (C)
$3.48 \times 10^{-4}$	$1.63 \times 10^{-4}$	$8.68 \times 10^{-7}$	$3.46 \times 10^{-19}$
$3.48 \times 10^{-4}$	$1.95 \times 10^{-4}$	$7.90 \times 10^{-7}$	$3.15 \times 10^{-19}$
$2.82 \times 10^{-4}$	$1.22 \times 10^{-4}$	$8.04 \times 10^{-7}$	$2.59 \times 10^{-19}$
$4.17 \times 10^{-4}$	$2.06 \times 10^{-4}$	$9.24 \times 10^{-7}$	$4.40 \times 10^{-19}$
$3.61 \times 10^{-4}$	$2.90 \times 10^{-4}$	$5.37 \times 10^{-7}$	$2.22 \times 10^{-19}$



Figura 4: Interfaz del simulador

Dentro del simulador el usuario puede observar las gotas de aceite interactuando con el botón "Presionar", puede invertir la polaridad con los botones en la sección "Polaridad" y cambiar el voltaje del sistema moviendo el Slider y observando el valor del "Voltímetro", finalmente por medio de los cronómetros puede medir el tiempo en el que las gotas se mueven por la rejilla.

### 3. Conclusiones

Por medio del método de desarrollo se consiguió el objetivo, ya que al aplicar las fórmulas descritas en el experimento original se recreó el fenómeno, por ello puede ser aplicado a otros simuladores de fenómenos físicos para poder recrear experimentos de forma más realista, en lugar de crear apenas una calculadora. Como se puede observar en los resultados expuestos el simulador recrea el experimento correctamente ya que el margen de error de los datos obtenidos menor que 10%, y debido a que el simulador requiere que el usuario obtenga datos de forma similar al experimento real puede ser utilizado como una alternativa.

El elevado costo del equipo experimental necesario para la ejecución del experimento puede constituir un obstáculo para su realización. El equipo necesario tiene un costo aproximado de \$3500, un valor que no estaría al alcance de todas las instituciones educativas. El simulador propuesto puede ser alojado en un servidor con un costo que no sería mayor a \$200 mensuales y podría alojar aún más simuladores, además de que puede ser realizado desde un dispositivo inteligente o computadora. Esto permitiría aumentar la disponibilidad de ejecución del experimento, así como cualquier otro que requiera equipo costoso, de tal manera que puede ser desarrollado por instituciones/usuarios independientemente de su situación económica, y obtener una experiencia muy cercada a la del laboratorio hasta desde sus hogares.

### Agradecimientos

El autor desea agradecer al equipo del proyecto de virtualización del Centro de Física de la Universidad Central del Ecuador, ya que por a su trabajo y apoyo fue posible desarrollar el simulador y este artículo.

### Bibliografía

Phywe. "Elementary charge and Millikan experiment, Students Sheet." 2017.

Serway, Raymond, and John Jewett. Physics for Scientists and Engineers (6th ed.). Boston, Estados Unidos: Brooks/Cole, 2004.

Unity. Prefabs: Unity Documentation. Agosto 26, 2022. <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html> (accessed Agosto 31, 2022).

Universidad de Colorado. Simulations: PhET. n.d. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/>