

PRÁCTICA NÚMERO 1: ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

Integrantes

Atayde Aranda Aldo

Basile Álvarez Tomás Ricardo

Gallegos Salgado Jessica Andrea

Velázquez Martínez Jonathan Israel

Resumen

En esta práctica, tuvimos como fin común, por un lado, observar cómo reaccionaba un chorro de agua, trozos de papel y una bola de metal cargada eléctricamente, a varas previamente frotadas con distintas telas, las cuales inducen una carga eléctrica al situarlas a una distancia cercana. Esto para deducir cualitativamente cuál es la carga eléctrica del agua, los trozos de papel y las varas frotadas con distintas telas.

Por otro lado, calculamos de manera cuantitativa la carga por frotación con telas que se inducía a las varas de diferentes materiales, esto con ayuda de un electroscopio calibrado con una fuente de poder. Lo anterior lo hicimos analizando diferentes ángulos a los que se levantaba la aguja del electroscopio al acercarle las varas cargadas.

Al final, para poder calcular la carga inducida por un voltaje, nos ayudamos de la campana de Franklin, sistema al cual le inducimos diferentes voltajes para hacer oscilar un péndulo de metal. Posteriormente utilizamos un programa (Tracker) y analizamos el movimiento, con lo que comparamos el voltaje usado respecto al periodo de oscilación del péndulo.

Introducción

Comenzaremos definiendo la electricidad. La electricidad es un conjunto de fenómenos producidos por el movimiento e interacción entre las cargas eléctricas de los cuerpos físicos. Para fines de ésta práctica, estudiaremos la electricidad estática, es decir, electricidad sin movimiento.

Un átomo es la partícula más pequeña de un material que todavía conserva las propiedades de dicho material. Cada átomo está formado por un núcleo con carga positiva alrededor del cual se mueven uno o más electrones negativos. En reposo, la carga positiva del núcleo es igual a la suma de las cargas negativas de todos los electrones que giran a su alrededor. Esto significa que la carga total es neutra. Si el núcleo gana o pierde electrones, se produce un desequilibrio. **[1]**

Cuando decimos que un cuerpo está “cargado” queremos decir que tiene un desbalance de carga, aún cuando sea muy pequeña. Las cargas eléctricas se manifiestan ejerciendo fuerzas entre sí; de repulsión y atracción. [2]

- Propiedades de las cargas eléctricas

A partir de una serie de experimentos sencillos, Benjamín Franklin (1706-1790) determinó que existen dos tipos de cargas eléctricas, a las que dio el nombre de positiva y negativa. Los electrones tienen carga negativa y los protones positiva. [3]

Un átomo que pierde uno o más electrones pasa a tener carga positiva, mientras que un átomo que gana uno o más electrones pasa a tener carga negativa. [1]

Para comprobar la existencia de ambos tipos de carga, imagine una varilla rígida de hule que ha sido frotada contra un trozo de piel y que está suspendida de un hilo. Cuando acerca una varilla de vidrio que ha sido frotada con seda a la de hule, ambas se atraen. Por otra parte, si acerca dos varillas de hule con carga (o dos varillas de vidrio con carga), ambas se repelen. Esta observación demuestra que el hule y el vidrio tienen dos tipos diferentes de carga. Con base en estas observaciones, se puede concluir que cargas de un mismo signo generan fuerzas de repulsión y cargas de signos opuestos generan fuerzas de atracción.

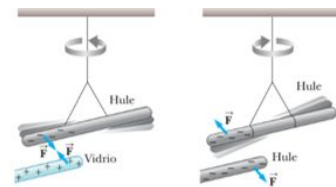


Imagen 1. Varilla de hule atraída y repelida.

Si aplica la regla establecida por Franklin, a la carga eléctrica en la varilla de vidrio se le denomina positiva y a la varilla de hule, negativa. Por lo tanto, cualquier objeto con carga que sea atraído por una varilla de hule con carga (o repelido por una varilla de vidrio con carga), deberá tener una carga positiva, y cualquier objeto con carga repelido por una varilla de hule con carga (o atraído por una varilla de vidrio con carga), deberá tener una carga negativa. [3]

Otro aspecto importante de la electricidad que es evidente a partir de la observación experimental es que en un sistema aislado la carga eléctrica siempre se conserva. Es decir, cuando se frota un objeto contra otro, no se crea carga en este proceso. El estado de electrificación se debe a una transferencia de carga de uno de los objetos hacia el otro. Uno adquiere parte de la carga negativa en tanto que el otro adquiere la misma cantidad de carga, pero positiva. [2]

Esto nos habla de un efecto muy importante para definir: **el efecto triboeléctrico**. El cual es un tipo de electrificación generado por el frotamiento de un material con otro. La polaridad y magnitud de las cargas que se producen, dependen de varios factores, como el material, la aspereza superficial, temperatura, entre otras cosas.

Una vez terminado el intercambio de cargas y los dos cuerpos se han separado, si el material es conductor (cobre, aluminio, plata, etc.), las cargas se repartirán uniformemente por toda la superficie, mientras que si el material es aislante (vidrio, hule, etc.), la carga permanecerá en los puntos de la superficie frotada. [3]

- Ley de Coulomb

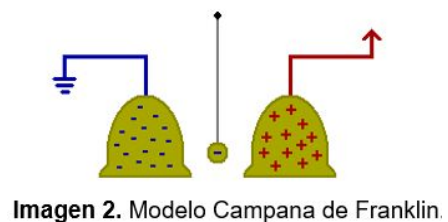
Los experimentos realizados por Coulomb y sus contemporáneos demostraron que la fuerza eléctrica que un cuerpo ejerce sobre otro, satisface la siguiente ecuación, donde k es una constante de proporcionalidad. [2]

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

- Campana de Franklin

Las campanas de Franklin fueron creadas por Benjamín Franklin en el siglo XVIII, y cuyo objetivo era la detección del campo eléctrico producido por una descarga eléctrica generada por una nube, y crear un sonido para así notificar que se acercaba una tormenta eléctrica.

Consta de un par de campanas situadas a una distancia d, y una esfera conductora entre ellas que produce el campaneo, y su funcionamiento se da cuando una de ellas recibe la descarga eléctrica, y la otra tiene la función de conducirla a tierra. Así,



cuando una nube pasa cargada eléctricamente, por encima del dispositivo y produce la descarga sobre la campana A, la esfera siente una atracción hacia esta campana, por lo que hay una transferencia de carga y ahora la esfera tiene la misma carga, lo cual, provoca una fuerza de repulsión ya que sabemos que cargas iguales se repelen, por lo cual ahora va a la campana B, donde nuevamente adquiere la nueva carga de segunda campana. Y es así como el proceso se repite indefinidamente, creando un movimiento de péndulo. [4]

Hipótesis

Experimento 1: Carga por frotamiento (atracción de papel picado)

Esperamos que por las propiedades triboeléctricas de cada uno de los materiales, algunos atraerán con mayor fuerza a los pedazos de papel que otros. Por experiencia cotidiana, esperamos que el PVC y el plástico tengan efectos más

drásticos sobre los papeles que los demás materiales y que la madera no atraiga a los papeles en absoluto.

Experimento 2: Carga por frotamiento (atracción de un chorro de agua)

Al igual que en el experimento anterior, los distintos materiales tendrán distintos efectos sobre el agua debido a las diferencias en composición de los materiales. Esperamos que los resultados sean similares a los obtenidos en el experimento 1 debido a que las varas se cargarán de la misma manera.

Experimento 3: Atracción y repulsión entre objetos electrificados

Nuevamente, el efecto de repulsión o atracción de la esfera debido a la vara dependerá del material de la vara y sus propiedades y esperamos obtener resultados similares a los obtenidos en los dos experimentos anteriores. Además podremos determinar el signo de la carga ya que en este experimento una carga positiva causará atracción de la pelota (ya que está cargada negativamente por inducción) y una carga negativa causará repulsión. Finalmente esperamos que para una vara en particular el signo de la carga no dependa de la tela con la que se frote, ya que el signo que obtenga depende de características intrínsecas del material de las varas.

Experimento 4: Electroscopio

Esperamos que en este experimento podamos cuantificar la cantidad de carga que presenta cada vara debido a la frotación. Creemos que las diferentes combinaciones de varas y telas tendrán distintas medidas de carga debido a sus propiedades intrínsecas, sin embargo, esperamos que estos resultados coincidan con los obtenidos en los experimentos anteriores. Por experiencia propia, suponemos que el PVC y el plástico obtendrán una mayor carga que los demás materiales y esto se traducirá en una mayor deflexión de la aguja, y nuevamente por experiencia, no esperamos observar un efecto en la aguja al usar la madera.

Experimento 5: Campana de Franklin

Para este experimento, suponemos que conforme sea mayor el voltaje entre las latas, la bola colgada se moverá más rápidamente y por tanto el periodo de

oscilación será menor, esto debido a que un mayor voltaje tiene asociada una mayor energía potencial eléctrica, lo cual le da más energía a la bola para moverse a mayor velocidad. Además creemos que una vez que la bola empieza su movimiento, se seguirá moviendo con el mismo periodo perpetuamente, esto debido a que el generador de voltaje está gastando energía constantemente para reponer las cargas de las latas y mantener todo el tiempo la misma diferencia de potencial entre éstas.

Objetivos

Experimento 1: Carga por frotamiento (atracción de papel picado)

Nuestro objetivo en general es observar cualitativamente las interacciones entre el papel picado con barras de distintos materiales cargadas por frotamiento usando distintas telas.

Nuestro objetivo en particular es identificar con cuáles materiales hay atracción por parte del papel picado, después de haberlos frotado con las telas.

Experimento 2: Carga por frotamiento (atracción de un chorro de agua)

Al igual que en el experimento 1, nuestros objetivos son observar hacia cuáles materiales previamente frotados con varias telas, el agua se siente atraída o repelida.

Así mismo, otro objetivo es verificar que se sigue una similitud entre el experimento 1 y éste, con relación a los materiales que atraen al agua y los que atraen al papel picado.

Experimento 3: Atracción y repulsión entre objetos electrificados

Así como en los dos experimentos pasados, nuestro objetivo en general es ver cualitativamente la reacción de la esfera al acercarle barras frotadas con distintas telas.

Nuestro objetivo en particular es determinar el signo de la carga, viendo si la esfera se atrae o se repele de las barras.

Experimento 4: Electroscopio

Tenemos como objetivo general medir cuantitativamente la cantidad de carga que tiene cada barra al frotarla con cada material.

Nuestro objetivo particular es primero calibrar el electroscopio para encontrar la relación entre el ángulo que forma la aguja del electroscopio y el voltaje aplicado. También hallar el ángulo que hace la aguja del electroscopio, con cada barra frotada con las distintas telas y a partir de esto, calcular las cargas de cada material. Seguido de esto, determinar cuál es el material con mayor carga y cual es el de menor carga.

Experimento 5: Campanas de Franklin

Nuestro objetivo en general es observar experimentalmente las fuerzas de atracción y repulsión entre las cargas, así como la carga obtenida por inducción y por contacto.

Nuestro objetivo en particular es calcular el periodo del péndulo, para diferentes voltajes entre las latas. Así mismo, determinar la carga q , a partir de medir la separación entre las latas.

Materiales

- Electroscopio.
- Fuente de alto voltaje (5 kV a 25 kV).
- 4 cables de alto voltaje con conectores banana.
- 4 caimanes.
- Voltímetro.
- Barras de diferentes materiales (vidrio, PVC, madera, metal con mango aislado).
- Distintas telas sintéticas.
- Pedazo de seda.
- Soporte universal.
- Nuez.
- Esferas metálicas con hilo no metálico.
- Dos latas de aluminio.
- Guantes aislantes.

Procedimiento experimental

Experimento 1: Carga por frotamiento (atracción de papel picado)

1. Cortar un papel en pedazos pequeños y colocarlos juntos sobre la mesa.
2. Tomar una de las varas y una de las telas presentes en el laboratorio y cargar eléctricamente la barra frotándola vigorosamente con la tela durante varios segundos.
3. Acercar la vara eléctricamente cargada a los pedazos de papel y observar si estos se sienten atraídos eléctricamente a la vara cargada.
4. Repetir los pasos 2 y 3 pero para todas las combinaciones de varas de distintos materiales y telas de diferente tipo.

Experimento 2: Carga por frotamiento (atracción de un chorro de agua)

1. Abrir la llave de agua del laboratorio de forma tal que salga un chorro delgado y uniforme de agua.
2. Tomar una de las varas y una de las telas presentes en el laboratorio y cargar eléctricamente la barra frotándola vigorosamente con la tela durante varios segundos.
3. Acercar la vara eléctricamente cargada al chorro de agua y observar si el chorro de agua se desvía (ya sea acercándose a la vara o alejándose) y registrar este dato.
4. Repetir los pasos 2 y 3 pero para todas las combinaciones de varas de distintos materiales y telas de diferente tipo y resumir todos los resultados en una tabla.

Experimento 3: Atracción y repulsión entre objetos electrificados

1. Montar el soporte universal y colocarle una barra horizontal con ayuda de una nuez.
2. Colgar de la barra horizontal una esfera de aluminio con ayuda de un segmento de hilo.

3. Frotar la barra de vidrio con la seda (la carga que obtiene el vidrio frotado por la seda se define como positiva) y acercar la barra cargada a la esfera de aluminio para inducir a ésta una carga eléctrica negativa.
4. Tomar una de las varas y una de las telas presentes en el laboratorio y cargar eléctricamente la barra frotándola vigorosamente con la tela durante varios segundos.
5. Acercar esta vara cargada a la esfera de aluminio y observar si la esfera se atrae, repele o no se mueve de la vara debido a fuerzas eléctricas. Con esto concluir el signo de carga que obtuvo la vara por frotamiento.
6. Repetir para las otras varas y telas, en cada caso volver a inducir una carga en la esfera de aluminio usando el vidrio y seda.

Experimento 4: Electroscopio

1. Pegar el transportador a una de las caras de vidrio del electroscopio de tal forma que quede alineado el 0 del transportador con la posición de la aguja del electroscopio cuando está en reposo y no hay voltaje.
2. Conectar el electroscopio a una fuente de alto voltaje con ayuda de los caimanes, luego conectar la fuente de alto voltaje a la corriente y encenderla.
3. Subir el voltaje de la fuente al máximo permitido por el electroscopio según sus especificaciones (en este caso fue de 3.5 kV) y medir el ángulo que se defleca la aguja.
4. Bajar el voltaje poco a poco y medir el ángulo que se defleca la aguja para varios valores de voltaje diferentes. Con estos valores de voltaje y ángulo encontrar una relación matemática entre estas variables usando el método de mínimos cuadrados.
5. Tomar una de las varas y una de las telas presentes en el laboratorio y cargar eléctricamente la barra frotándola vigorosamente con la tela durante varios segundos.
6. Acercar la vara al electroscopio y primero observar si se mueve la aguja, indicando que la vara presenta una carga electrostática. Luego medir el ángulo de deflexión de la aguja para determinar el voltaje que genera según la relación encontrada en el punto 4. Y finalmente usar este dato para calcular aproximadamente la carga de la vara.

7. Repetir el paso 6 para cada combinación de varas y telas y registrar los resultados.

Experimento 5: Campana de Franklin

1. Limar dos latas de aluminio para remover la capa externa de la lata.
2. Separar las latas a una distancia fija de 9 cm, colocar sobre las latas una barra de material aislante y colgar del centro de esta barra una bolita de aluminio con un hilo lo suficientemente largo como para que la bolita pueda tocar ambas latas.
3. Conectar los caimanes a cada una de las latas y al generador de alto voltaje, luego conectar el generador a la corriente y encenderlo.
4. Seleccionar un valor fijo del voltaje en el generador.
5. Con ayuda de una vara aislante, poner en contacto la pelota con una de las latas y después soltarla. La pelota empezará a oscilar de una lata a otra constantemente y cambiando su carga por contacto cada que entre en contacto con alguna lata.
6. Grabar el movimiento oscilatorio de la lata y medir su periodo con ayuda de Tracker.
7. Repetir los pasos 4, 5 y 6 para diferentes voltajes y observar como varía el periodo.
8. Analizando las fuerzas presentes sobre la bola y la separación entre las latas, calcular aproximadamente el valor de la carga que obtiene la bola.

Resultados y análisis

Experimento 1: Carga por frotamiento (atracción de papel picado)

Para realizar el experimento, se utilizaron distintos tipos de tela para frotar barras de distintos materiales y con las observaciones hechas se obtuvo la siguiente tabla:

	Vidrio	Plástico	Metal	Madera	PVC
Manta	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Lana	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Licra	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Tela polar	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Hule espuma	Atracción (leve)	Atracción (leve)	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción (leve)
Chifón	Atracción (leve)	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Razo	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción

Tabla 1. Datos del experimento 1.

Gracias a las observaciones hechas, notamos que hay dos materiales (madera y metal), que al inducirles una carga con las telas no tienen reacción alguna con el papel (no lo atrae ni lo repele).

Lo que sucedía en este experimento es, que al momento de frotar las barras con las telas, éstas (las barras) quedaban cargadas positivamente y, al acercarlas al papel en estado neutro o descargado, la barra atraía a los electrones al lado más cercano del átomo y así la capa superficial del papel queda cargado negativamente, con lo que la fuerza de atracción es mayor a la de repulsión. Por esa razón el papel se pegaba a las barras.

La literatura nos dice, que la madera es considerada como un material no conductor, y que carece de electrones libres, los cuales permiten que fluya la electricidad entre materiales, por lo que era de esperarse que la madera no atrajera al papel.

Lo que no era de esperarse es el comportamiento de la vara de metal, lo que nos hace dudar sobre el verdadero material de esa vara.

Con lo anterior podemos decir que el papel y las barras electrizadas, tiene signos distintos.

Experimento 2: Carga por frotamiento (atracción de un chorro de agua)

Para este experimento se utilizaron las mismas varas del experimento 1 pero, se observó su interacción con el agua del grifo, que por conveniencia la consideraremos con carga negativa, esto por la electronegatividad del oxígeno (que es muy alta) y, como era agua del grifo, ésta tenía iones de cloro (pues es agua tratada), por lo que aumenta su carga negativa.

	Vidrio	Plástico	Metal	Madera	PVC
Manta	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Lana	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Seda	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Tela polar	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Hule espuma	Atracción (leve)	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Licra	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción
Razo	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion	Atracción

Tabla 2. Materiales atractores y no atractores de agua.

Con los resultados anteriores, podemos decir que las telas cargan positivamente a las barras (menos el metal y la madera), ya que atraen al agua la cual tiene carga negativa.

Experimento 3: Atracción y repulsión entre objetos electrificados

Se colgó una bola de aluminio y se observó la atracción o repulsión de ésta al acercarle las varas cargadas. gracias a esto, se hicieron las siguientes observaciones:

	Plástico	PVC	Metal	Madera
Manta	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Lana	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Seda	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Tela polar	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Hule espuma	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Licra	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion
Razo	Atracción	Atracción	Sin Atraccion	Sin Atraccion

Tabla 3. Observaciones del experimento 3.

Experimento 4: Electroscopio

Para este experimento se utilizó el electroscopio, al cual se le indujo un cierto voltaje que hacía que se moviera una aguja. Nosotros medimos el ángulo que formaba esa aguja respecto a la vertical. esto lo hicimos para establecer una medida (de voltaje) base:

Al graficar, los datos se ajustaban muy bien a una recta con pendiente positiva, con ecuación: $y = 0.0879x - 0.3102$ ec. (a)

Donde y es el voltaje y x es el ángulo, esta relación, nos puede predecir la magnitud del voltaje al conocer el ángulo.

Ángulo (°)	Voltaje (kV)
$36^\circ \pm 0.5^\circ$	3.5 ± 0.05
$30^\circ \pm 0.5^\circ$	3 ± 0.05
$26^\circ \pm 0.5^\circ$	2.5 ± 0.05
$19^\circ \pm 0.5^\circ$	2 ± 0.05
$14^\circ \pm 0.5^\circ$	1.5 ± 0.05
$8^\circ \pm 0.5^\circ$	1 ± 0.05
$5^\circ \pm 0.5^\circ$	0.8 ± 0.05
$0^\circ \pm 0.5^\circ$	0.5 ± 0.05

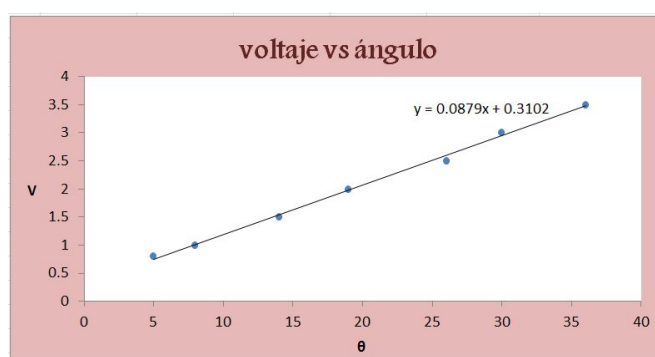


Tabla 4. Ángulo vs Voltaje

Gráfica 1. Ángulo vs Voltaje.

Posteriormente, se frotaron las barras con distintas telas y se acercaron al electroscopio, las cuales influyen en la orientación de la aguja. se obtuvo lo siguiente:

	Vidrio ($\pm 0.5^\circ$)	Plástico ($\pm 0.5^\circ$)	Metal ($\pm 0.5^\circ$)	Madera ($\pm 0.5^\circ$)	PVC ($\pm 0.5^\circ$)
Manta	10°	13°	0°	0°	27°
Licra	7°	14°	0°	0°	29°
Tela polar	25°	26°	0°	0°	26°
Razo	14°	31°	0°	0°	27°
Hule espuma	16°	0°	0°	0°	20°
Lana	8°	9°	0°	0°	26°
Seda	12°	29°	0°	0°	27°

Tabla 5. Cuantificación del voltaje de cada barra en ángulos.

Con la ecuación a), podemos obtener el voltaje producido por las barras cargadas al acercarse al electroscopio.

En la siguiente tabla se muestra el voltaje (kV) producido con cada barra frotada por distintas telas:

Tabla 6. Voltajes en kV.

Una vez obtenido el voltaje, podemos obtener la carga producida por cada barra sabiendo que: $V = k \frac{q}{r}$ en donde V es el voltaje; K una constante ($9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$); r la distancia y; q la carga. Despejando q tenemos: $q = V \frac{r}{k}$

Para analizar el valor de la carga, r será el valor del radio de la esfera que cubre al electroscopio en donde $r = 0.99 \text{ cm} \pm 0.008 \text{ cm} = 0.0099 \text{ m} \pm 0.00008 \text{ m}$.

Se obtuvo el valor de la carga q (C) de cada barra respecto a cada tela, y se muestran en la siguiente tabla:

	vidrio	plastico	metal	madera	pvc
manta	$1.3 \times 10^{-9} \pm 1.09 \times 10^{-11}$	$1.59 \times 10^{-9} \pm 1.3 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.9 \times 10^{-9} \pm 2.4 \times 10^{-11}$
licra	$1.01 \times 10^{-9} \pm 8.6 \times 10^{-12}$	$1.6 \times 10^{-9} \pm 1.4 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.14 \times 10^{-9} \pm 2.5 \times 10^{-11}$
tela pul	$2.7 \times 10^{-9} \pm 2.2 \times 10^{-11}$	$2.8 \times 10^{-9} \pm 2.3 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.8 \times 10^{-9} \pm 2.3 \times 10^{-11}$
razo	$1.6 \times 10^{-9} \pm 1.4 \times 10^{-11}$	$3.3 \times 10^{-9} \pm 2.7 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.9 \times 10^{-9} \pm 2.4 \times 10^{-11}$
hule espuma	$1.8 \times 10^{-9} \pm 1.5 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.27 \times 10^{-9} \pm 1.8 \times 10^{-11}$
lana	$1.11 \times 10^{-9} \pm 9.3 \times 10^{-12}$	$1.2 \times 10^{-9} \pm 1.01 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.8 \times 10^{-9} \pm 2.3 \times 10^{-11}$
seda	$1.5 \times 10^{-9} \pm 1.2 \times 10^{-11}$	$3.14 \times 10^{-9} \pm 2.5 \times 10^{-11}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-10} \pm 3.14 \times 10^{-12}$	$2.9 \times 10^{-9} \pm 2.4 \times 10^{-11}$

Tabla 7. Cargas en C (Coulombs).

Con lo anterior, podemos observar que la barra de plástico frotada con el raso, es la que tiene la carga de mayor magnitud y; las de menor magnitud son la madera y la de metal frotadas con todas las telas.

Experimento 5: Campana de Franklin

Para realizar este experimento, tomaremos las siguientes condiciones:

Masa de la bola de aluminio: $m = 0.57 \pm 0.005 \text{ g}$

Distancia entre las latas de aluminio: $r = 9 \pm 0.05 \text{ cm}$

Longitud del hilo: $10 \pm 0.05 \text{ cm}$

Altura de las latas: $15.7 \pm 0.05 \text{ cm}$

Ángulo que hace el hilo al tocar las latas: $\Theta = 20.6 \pm 0.05^\circ$

Para calcular la carga, igualamos la fuerza de gravedad que siente la pelota en dirección ortogonal al hilo con la fuerza de Coulomb (**Ecuación 1**) cuando se encuentra en contacto con una de las latas. por lo que tenemos: $mg \sin \Theta = \frac{kq^2}{r^2}$ ec. (b). Donde q es la carga de tanto la pelota como de la lata. y de la ec. (b) tenemos que: $q = \sqrt{\frac{r^2 mg \sin \Theta}{k}}$.

Con la ayuda de Tracker pudimos obtener el ángulo theta, el cual nos daba 20.6° .

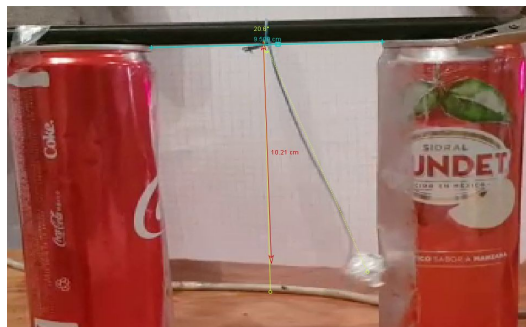


Imagen 3. Análisis del ángulo.

Sustituyendo los datos tenemos que:

$$q = \sqrt{\frac{(0.09 \pm 0.0005 \text{ m})^2 (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) (0.00057 \pm 0.000005 \text{ kg}) \sin(20.6 \pm 0.05)}{9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}}} = 1.4 \times 10^{-8} \pm 0.04 \times 10^{-8} \text{ C}$$

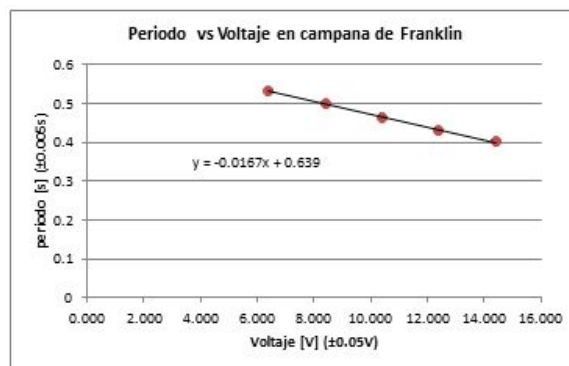
Después de analizar el valor de la carga, nos centramos en ver el comportamiento de la pelota cuando le aumentamos el voltaje aplicado.

Se analizó en Tracker para cada uno de los voltajes. Se observa que las gráficas describen un movimiento armónico y se midió el periodo de oscilación en cada caso.

Voltaje [kV] (± 0.05 kV)	periodo [s] (± 0.005 s)
6.4	0.53
8.4	0.50
10.4	0.47
12.4	0.43
14.4	0.40

Tabla 8. Voltaje vs Periodo.

Después de obtener el periodo para cada voltaje lo graficamos e hicimos una aproximación lineal, obteniendo lo siguiente:



Gráfica 2. Periodo vs Voltaje.

Y con la aproximación lineal podemos obtener el periodo para cada voltaje inducido con la ecuación: $T = (-0.0166 \pm 0.00033) V + (0.639 \pm 0.0036)$. Notemos que el periodo disminuye cada que el voltaje aumenta.

Conclusiones

Experimento 1: Carga por frotamiento (atracción de papel picado)

En el experimento 1 notamos que las barras de metal y madera no atraían nada. lo más raro fue lo de la barra de metal, ya que se supone que los metales son buenos conductores de electricidad (al menos mejor que otros materiales). las razones por las que tal vez no sucedió nada son:

- Las condiciones del experimento: posiblemente la humedad y la temperatura del lugar influyeron en la realización.
- Mal frotamiento de la barra: posiblemente, por las condiciones del experimento, la barra requería mas tiempo de frotamiento y alcanzar una

cierta temperatura para que los electrones (del metal) se compartieran (con el papel) con mayor facilidad.

- Mala elección de materiales: posiblemente la barra que elegimos era una aleación, por lo que posiblemente se disminuyó la capacidad para fluir electricidad de la barra. Así mismo las telas pudieron ser un factor importante, ya que no eran las adecuadas para ese material.

Se observó la interacción del papel con las barras cargadas, logrando verificar el fenómeno de atracción entre cuerpos eléctricamente cargados. Al igual, se documentó que hay ciertos materiales que tienen poca capacidad para transmitir cargas eléctricas con otros cuerpos.

Experimento 2: Carga por frotamiento (atracción de un chorro de agua)

Notamos que obtuvimos resultados muy similares a los del experimento 1, ya que fueron las mismas combinaciones de barras y telas las que tuvieron efectos sobre el agua. Al igual que en el experimento anterior, la madera y el metal no tuvieron ningún efecto sobre el agua para ninguna de las telas.

También notamos que para las barras que sí tuvieron un efecto sobre el agua (vidrio, PVC y plástico), el efecto fue siempre de atracción y no de repulsión. En el caso del vidrio, esta atracción nos permite confirmar que el agua tiene una carga negativa, ya que el vidrio por definición obtiene una carga positiva al frotarlo con la seda. Y para los demás materiales, podemos concluir que tienen la misma carga que el vidrio, es decir, carga positiva ya que tienen el mismo efecto de atracción sobre el agua.

Experimento 3: Atracción y repulsión entre objetos electrificados

Nuevamente, notamos resultados muy similares a los de los experimentos 1 y 2, ya que fueron las mismas combinaciones de barras y telas las que causaron una fuerza de atracción sobre la bola. En este caso, sabemos con seguridad que al acercar la vara de vidrio cargada a la bola, ésta se carga negativamente. Ya que la carga del vidrio (definida como positiva), atrae a los electrones de la bola a la superficie y la carga negativamente por inducción.

Es por esto que en este experimento podemos concluir que las varas que atraen a la bola deben de tener una carga positiva. Y con esto inferimos que las cargas del PVC y plástico son también positivas, confirmando los resultados del experimento 2. Al igual que en los dos experimentos anteriores, la madera y el metal no obtienen

una carga estática notable, lo cual se puede deber a las razones expuestas en la discusión del primer experimento.

Es importante mencionar que antes de usar cualquiera de las varas, es necesario volver a inducir una carga negativa sobre la bola. Esto para estar seguros de que la bola tiene una carga y que además conocemos su signo, así podemos asegurarnos de que nuestras conclusiones son las correctas.

Experimento 4: Electroscopio

En este experimento primero notamos que el ángulo de la aguja sigue una relación lineal con el voltaje que se le aplica al electroscopio (por lo menos para el rango de voltajes con los que trabajamos). Este dato lo obtuvimos de forma puramente experimental y nos permitió encontrar una relación sencilla entre ángulo y voltaje.

Nuevamente comprobamos que las varas que tuvieron un efecto sobre la aguja fueron las de PVC, vidrio y plástico y que sus cargas son positivas. Además, como sucedió en los experimentos anteriores, la madera y el metal no tuvieron efecto alguno en el movimiento de la aguja.

Sin embargo, este experimento, a diferencia de los otros, nos permitió cuantificar la cantidad de carga en las varas. La cantidad de carga que obtienen las varas (y por tanto el movimiento que generan en la aguja) depende del tiempo y forma en la que se frote, por lo que hicimos todo lo posible por frotar todas las varas de la misma manera, esto para poder comparar los resultados y darnos una idea de qué barras se cargan con mayor facilidad.

Con los resultados, observamos que el PVC es, en general, la vara que más se cargó para las diferentes telas. También, aunque el metal y la madera no hayan movido a la aguja, no podemos concluir que no presenten ninguna carga en absoluto. Esto debido a que es necesario un voltaje mínimo para empezar a mover la aguja (que si seguimos la relación lineal obtenida cuando el ángulo es 0, obtenemos que dicho voltaje es de aproximadamente 0.31 kV). Y es posible que estas varas estén cargadas levemente y no hayan conseguido pasar este voltaje mínimo.

Es importante resaltar que, las mediciones del ángulo recorrido por la aguja fueron hechas con el ojo humano, lo que le quita veracidad a los ángulos de 0 grados.

Experimento 5: Campana de Franklin

Para este experimento, notamos que la pelota se mueve a mayor velocidad conforme aumenta el voltaje y por tanto el periodo de oscilación es menor, tal como se esperaba en la hipótesis. Además analizando los resultados notamos que esta relación entre periodo y voltaje se puede aproximar en el intervalo medido de forma muy exacta con una ecuación lineal.

Sin embargo, es importante resaltar que para voltajes menores al que usamos inicialmente (6.4 kV), la diferencia de potencial no era suficiente como para hacer que la pelota oscilara entre las altas y ésta no alcanzaba a tocarlas. Y para voltajes mayores al último utilizado (14.4kV), la pelota empezaba a moverse muy rápida y erráticamente, por lo que no lo incluimos en el análisis.

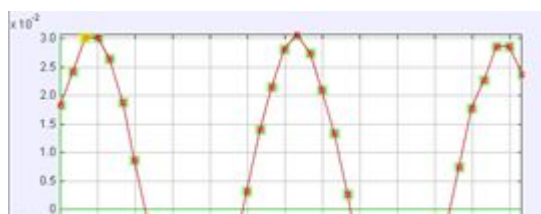
Nos pareció interesante el hecho de que la pelota cambiara su carga tan rápidamente. Recordemos que la pelota obtiene su carga por contacto con las latas, sin embargo, notamos que ésta permanece en contacto un tiempo casi imperceptible, lo que nos dice que el cambio de carga sucede muy rápido. También es importante mencionar que para que empiece el movimiento fue necesario acercar la pelota a una de las latas para que obtuviera un “empujón” inicial y empiece a moverse, ya que de otra forma la pelota no empezaba su movimiento. Este problema quizá pudo haber sido evitado colocando las latas a una menor distancia para que la carga en las latas tuviera un mayor efecto sobre la pelota.

Bibliografía

- [1] *Electrostática*. (s.f.). Recuperado 14 febrero, 2020, de <https://electrostatica.com/wp-content/uploads/2017/07/Que-es-electrostatica-definicion.pdf>
- [2] Resnick R. (1999). *Física*, Vol. 2. México: Compañía Editorial Continental,
- [3] Serway, R. & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con Física moderna*, Vol.2 (7ª ed.). México: Cengage Learning.
- [4] Botello, J. (s.f.). *Las Campanas de Franklin*. Recuperado 14 febrero, 2020, de <https://www.studocu.com/es-mx/document/benemerita-universidad-autonoma-de-puebla/electromagnetismo/ensayos/campanas-de-franklin-nota-10/2579365/view>

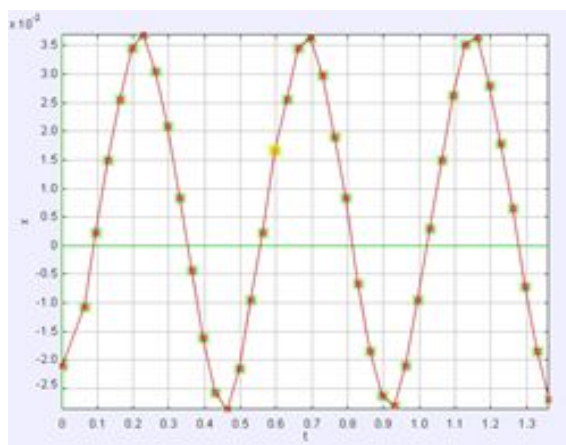
Anexo

Gráficas de la posición horizontal de la bola como función del tiempo. Se obtuvo una gráfica usando tracker para cada voltaje y con estos datos se obtiene el periodo del movimiento oscilatorio.



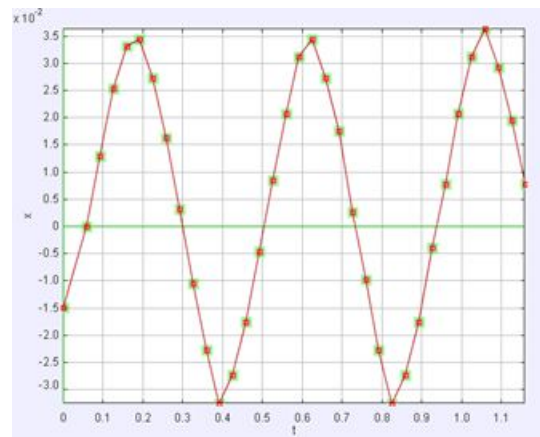
Voltaje de 6.4 kV

Periodo: $T = 0.533\text{s}$



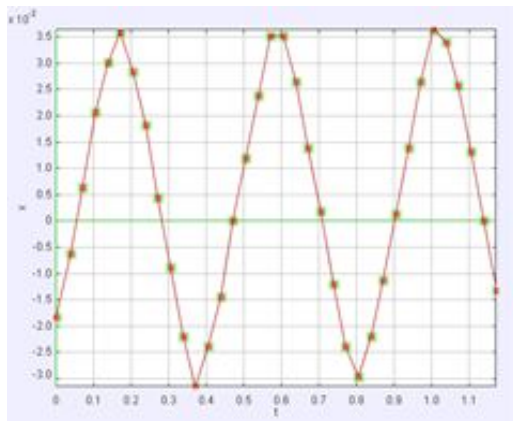
Voltaje de 8.4 kV

Periodo: $T = 0.533\text{s}$



Voltaje de 10.4 kV

Periodo: $T = 0.465\text{s}$



Voltaje de 12.4 kV

Periodo: $T = 0.429\text{s}$

Voltaje de 14.4 kV

Periodo: $T = 0.402\text{s}$