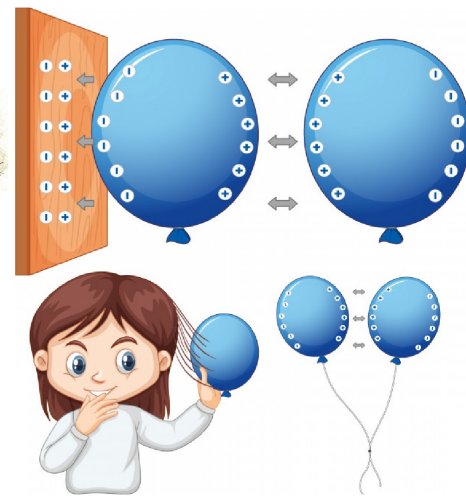
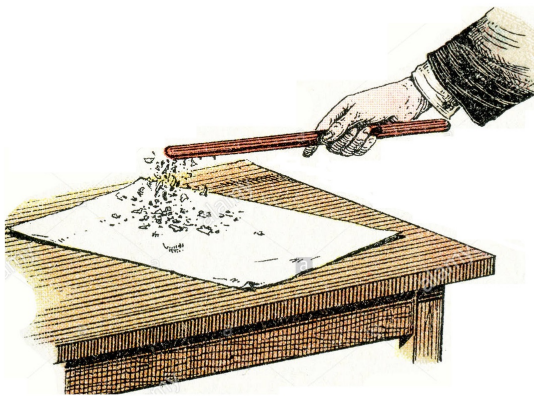




1. Electrostática - Cualitativo

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Estudiar fenómenos electrostáticos donde se evidencian los diferentes comportamientos de la carga eléctrica y sus aplicaciones en procesos y máquinas electrostáticas.

1.1.2 Específicos

- Observar de forma experimental y cualitativa fenómenos de electrización de cuerpos.
- Realizar medidas cualitativas de fenómenos generados por una maquina electrostática (GVG¹).
- Construir explicaciones a los diferentes fenómenos electrostáticos.

1.2 Referentes Conceptuales y Marco Teórico

Tales de Mileto en el siglo VII A.C., observó que unas briznas de hierba seca eran atraídas por un trozo de ámbar que antes había frotado con su túnica. Mas tarde, logro generalizar que luego de frotar un trozo de ámbar y un paño, ambos, atraían hacia la zona frotada pequeñas partículas muy ligeros (por ejemplo: trocitos de papel). A este fenómeno Willian Gilbert acuño por primera vez el termino eléctrico (del griego elektron (ámbar)).

Este fenómeno es una cualidad que adquieren casi todos los cuerpos cuando se frotan con otros cuerpos. Gilbert también realizo experimentos que le permitieron clasificar los materiales en: Eléctricos (conductores) y aneléctricos (aislantes). Para ello ideó el primer electroscopio que consistía

¹Generador Electrostático: Generador de Van de Graff

esencialmente de una varilla metálica, con dos livianas hojuelas también metálicas (de oro o de aluminio) colocadas en su parte inferior como se observa en la figura 1.1a. La varilla termina en la parte superior por una pequeña esfera, y está colocada dentro de un recipiente de vidrio que le sirve de soporte y que tiene una abertura en su parte superior por donde pasa la varilla del electroscopio.

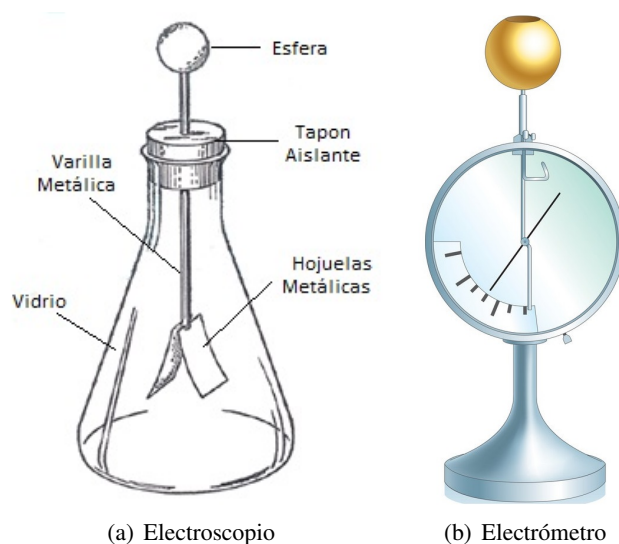


Figura 1.1: Dispositivos experimentales para detectar carga electrostática.

Al tocar con un cuerpo electrizado la esfera, las hojuelas se cargan con electricidad de igual tipo, y se repelen, abriéndose. Si se agrega una escala graduada puede medirse la separación de las hojas; el aparato se denomina electrómetro (ver figura 1.1b).

Las formas mas comunes de electrizar un cuerpo son:

1.2.1 Electrización por fricción y por contacto

Fricción: Consiste en frotar un cuerpo con otro. Los electrones pasan de uno de ellos (que queda cargado positivamente) al otro (que queda cargado negativamente). La carga transferida depende de la presión ejercida al frotar, de la temperatura, el tiempo que tarda fricción, de la humedad y un sin número adicional de variables y condiciones frecuentemente difíciles de controlar.

Contacto: Cuando un cuerpo u objeto posee un exceso de carga de un signo y se pone en contacto con un cuerpo eléctricamente neutro, pueden pasar a éste cargas del primero.

El intercambio de carga entre dos materiales después de friccionarlos y/o ponerlos en contacto entre sí es denominado triboelectricidad y casi todos los materiales son triboeléctricos.

1.2 Referentes Conceptuales y Marco Teórico

11

Serie Tribológica

+ Mayor carga positiva

Aire
Piel humana
Cuero
Piel de conejo
Vidrio
Cuarzo Mica
Pelo humano
Nylon
Lana
Plomo
Piel de gato
Seda
Aluminio
Papel (pequeña carga positiva)
Algodón (sin carga)
0
Acero (sin carga)
Madera (pequeña carga negativa)
Polimetilmetacrilato
Ámbar
Lacre
Acrílico
Poliestireno
Globo de goma
Resinas
Goma dura
Níquel, Cobre
Azufre
Bronce, Plata
Oro, Platino
Acetato, Rayón
Goma sintética
Poliéster
Espuma de poliestireno
Orlón
Papel film para embalar
Poliuretano
Polietileno (cinta Scotch)
Polipropileno
Vinilo (PVC)
Silicio
Teflón
Silicona
Ebonita

- Mayor carga negativa

La triboelectricidad explica adecuadamente por qué el cuerpo humano adquiere carga por fricción con la ropa, con materiales que utiliza cotidianamente y/o por contacto con objetos cargados. Es importante resaltar que la descarga de objetos cargados triboeléctricamente está estrechamente relacionada con la humedad del ambiente.

Para caracterizar electrostáticamente los materiales se utiliza la serie tribológica. Los materiales se organizan en una lista (o serie) desde los mas positivos hasta los mas negativos, facilitando la identificación de cómo se carga un material cuando entra en contacto o fricción con otro.

Si dos de los materiales que se encuentran en la serie se ponen en contacto o fricción, el más bajo de la serie ganará electrones y adquirirá una carga negativa. El otro por el contrario será el que pierda electrones, cargándose positivamente.

Cuanto más separados se hallen los materiales en la serie, mayor es la transferencia de carga, por ejemplo, para los materiales de la serie mostrada en este documento si friccionamos pelo humano con teflón, el primero cederá electrones al segundo con una gran facilidad, sin embargo, si friccionamos seda con aluminio, a pesar de que la seda entregará electrones al aluminio para que este quede cargado negativamente, será muy pequeña la transferencia de carga debido a que la separación en la serie tribológica es muy corta.

Debe tenerse presente que el fenómeno triboeléctrico depende del estado de las superficies, la temperatura y otros factores, que pueden alterar algunas posiciones de la serie.

1.2.2 Electrización por inducción

Un método práctico para cargar un conductor aprovechándose de sus propiedades conductoras se muestra en la figura ???. Si dos esferas metálicas sin cargar se encuentran en contacto. Y se aproxima una barra cargada a una de las esferas, electrones libres de una esfera se mueven de una esfera a la otra. Por ejemplo: una barra con carga positiva, atrae electrones cargados negativamente y la esfera más próxima a la barra adquiere electrones de la otra.

La esfera más cercana a la barra adquiere carga negativa y la más alejada carga positiva (ver figura 1.2(a)). Ahora, si se separan las esferas sin alejar la varilla (ver figura 1.2(b)), quedan cargadas con igual valor y opuestas (ver figura 1.2(c)).

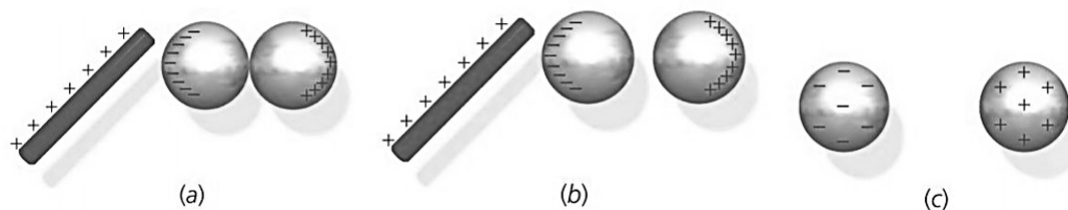


Figura 1.2: Proceso de carga por inducción.

Si la varilla se encontrará cargada negativamente se consigue un resultado completamente análogo al anterior. Por otra parte, la tierra constituye un conductor que se considera infinitamente grande para muchas aplicaciones. En el estudio de la electricidad es común la expresión puesta a tierra ó conexión a tierra y alude a poner en contacto un conductor con la tierra.

La representación esquemática de esta conexión a tierra se hace mediante un cable de conducción que termina en unas pequeñas líneas horizontales como se observa en la figura 1.3(c) y es posible usar la conexión a tierra para cargar un conductor por inducción.

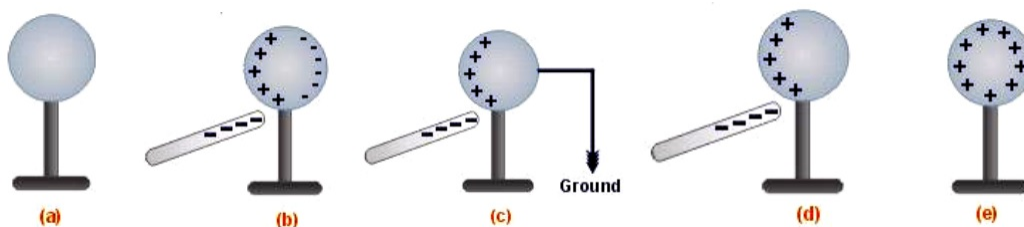


Figura 1.3: Proceso de carga por inducción utilizando una conexión de puesta a tierra.

En la figura 1.3(a) se muestra una esfera conductora descargada, en la figura 1.3(b) se acerca una barra cargada negativamente a una esfera conductora sin carga. Los electrones son repelidos ubicándose en el extremo derecho de la esfera, dejando el extremo cercano con carga positiva. Si se conecta a tierra la esfera con la barra cargada presente, aquella adquiere una carga opuesta a la de la barra, ya que los electrones se desplazan a través de hilo conductor hacia la tierra como se muestra en la figura 1.3(c). La conexión a tierra se interrumpe antes de retirar la barra con el objetivo de completar la carga en la esfera como se observa en la figura 1.3(d). Retirando entonces la barra, la esfera queda cargada positivamente (figura 1.2(e)). Proceso análogo sucedería si la barra se encontrara cargada con carga positiva.

1.2.3 Máquinas electrostáticas

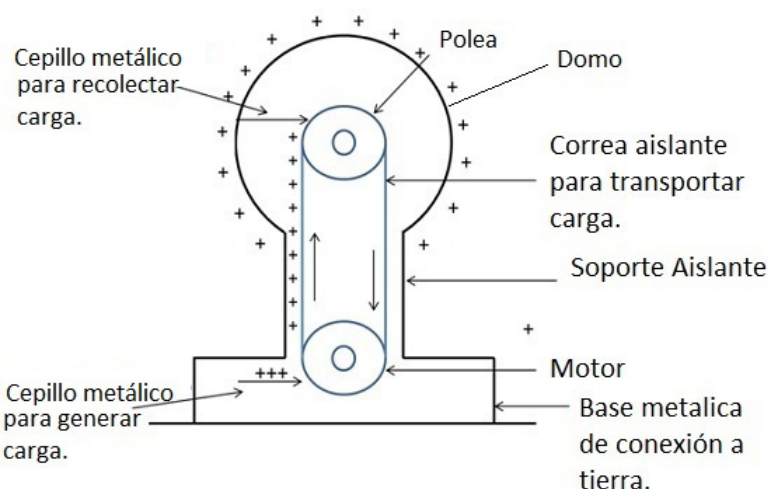
Generador electrostático de Van de Graff (GVG)

Si un conductor cargado se coloca en contacto con el interior de un conductor hueco, la carga del primer conductor es transferida al conductor hueco. Si se repite continuamente el proceso, es posible incrementar la carga en el conductor hueco.

Aprovechándose de este fenómeno en 1929 Robert J. Van de Graff aplicó este principio para diseñar y construir un generador electrostático. En principio, utilizado en investigaciones de física nuclear. En la actualidad, solo se usa en demostraciones de tipo académico.



(a) Van de Graff



(b) Partes del Generador

Figura 1.4: Generador electrostático de Van de Graff.

El generador tiene (ver figura 1.4(b)) un motor en la parte inferior anclado a su eje un rodillo, una correa aislante, dos cepillos metálicos, dos semiesferas huecas de acero (Domo) donde se va acumulando la carga que transporta la correa, una polea y una base metálica para realizar una conexión a tierra.

Cuando se enciende el motor, el rodillo inferior (cargador) comienza a girar la correa. La correa está hecha de goma y el rodillo inferior está cubierto con cinta de silicona, el rodillo inferior comienza a generar una carga negativa y la correa genera una carga positiva. Este desequilibrio de carga se comprende al observar la serie tribológica: el silicio es más negativo que el caucho; es así como el rodillo inferior captura electrones de la banda a medida que esta pasa sobre el rodillo.

Debido a que la carga del rodillo está mucho más concentrada que la carga de la correa, el campo eléctrico del rodillo es más fuerte que el de la correa a la altura del cepillo metálico inferior. La fuerte carga negativa del rodillo ahora comienza a hacer dos cosas:

1. Repele los electrones cerca a las puntas del cepillo inferior. El cepillo tiene ahora las puntas de alambre que están cargadas positivamente porque los electrones se han alejado de las puntas.
2. Empieza a quitar los electrones de las moléculas de aire cercanas. Cuando un átomo es despojado de sus electrones, se dice que es plasma, el cuarto estado de la materia. Entonces tenemos electrones libres y átomos de aire cargados positivamente que existen entre el rodillo y el cepillo. Los electrones se repelen del rodillo y se atraen a las puntas del cepillo sin electrones, mientras que los átomos positivos se atraen al rodillo cargado negativamente.

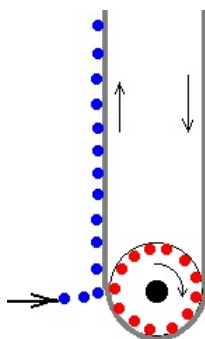


Figura 1.5: Proceso de carga en la correa del generador Van de Graff. Los puntos azules representan carga positiva y los rojos carga negativa.

Los núcleos atómicos cargados positivamente de las moléculas de aire intentan moverse hacia el rodillo cargado negativamente, pero la correa estorba como se observa en la figura 1.5. Entonces, la correa se recubre con la carga positiva, y rodando hacia el cepillo y la polea superior². El cepillo recolector está conectado al interior del domo. Los electrones del cepillo se mueven hacia las puntas de los cables porque son atraídos por la correa cargada positivamente. Una vez que el aire se ioniza como antes, los núcleos atómicos positivos del aire son atraídos por el cepillo. Al mismo tiempo, los electrones libres en el aire se mueven hacia el cinturón. El exceso de carga luego aparece en la superficie exterior del domo (la esfera del generador). Es a través de este efecto que el generador de Van de Graaff puede alcanzar sus enormes cantidades de carga electrostática.

²Normalmente, se utiliza un material neutro para la polea superior, por lo que la correa se vuelve neutra después de que la esfera succiona el exceso de carga. Sin embargo, una buena técnica para duplicar la carga es usar una polea superior de nailon (que es positivo en la serie tribológica), haciendo que la correa entregue una carga más positiva y se vuelva negativa. La banda es positiva en un lado cuando se acerca a la polea y negativa en el otro lado cuando se acerca al rodillo inferior.

1.3 Actividades Previas al Laboratorio

Use sus apuntes de clase, lecturas adicionales, referencias bibliográficas propuestas en esta guía y/o adicionales, para contestar en forma adecuada las situaciones relacionadas con la densidad de diferentes sólidos y fluidos, propuestas a continuación:

1. ¿Cómo está constituido un átomo?
2. ¿Qué es un ión positivo? ¿Un ión negativo?
3. ¿Qué es una conexión a tierra?
4. ¿Qué sucede cuando se conecta a tierra un objeto cargado?
5. ¿En qué difiere un objeto eléctricamente polarizado y un objeto eléctricamente cargado?
6. ¿Qué es el efecto corona, el efecto punta y el viento iónico?

1.4 Materiales

Para la práctica de laboratorio se necesitan los siguientes elementos:

1. Varilla de PVC (Gris).
2. Varilla de Nylon (Blanca).
3. Trapo de algodón.
4. Trapo de lana.
5. Trapo de vinilo (Recuadro en color verde).
6. Generador electrostático de Van de Graff.
7. Esfera de descarga.
8. Dos electros copios (Bajas y grandes cantidades de carga).
9. Electrodo (Circular plano, electrodo esférico, una puntilla).
10. Encendedor.
11. Un ping - pong y una esfera de icopor.
12. Una Vela
13. Cables de conexión (banana-banana y banana-caimán).
14. Guía de Laboratorio.

1.5 Procedimiento

Antes de iniciar cualquiera de las experiencias 1.5.1 y 1.5.2, garantice que todos los elementos a utilizar se encuentran eléctricamente neutros. Para ello, primero humedezca un poco, una región pequeña del paño de algodón. Luego, para eliminar carga residual existente, frote cada varilla, una a la vez, con la región del trapo de algodón humedecido anteriormente como se observa en la figura 1.6.



Figura 1.6: Descarga electrostática de elementos utilizando un trapo de algodón húmedo.

¡OJO!: Tenga mucho cuidado de no frotar al tiempo las dos varillas y el paño de algodón, ello podría resultar en una acumulación de carga en alguna ó incluso en las dos varillas.

1.5.1 Triboelectricidad

1. Corte papel en pequeños trozos (de masa muy ligera) y colóquelos sobre la mesa de trabajo.
2. Utilizando el paño, frote la varilla de PVC realizando una presión considerable con sus dedos, de tal manera que consiga cargar la varilla de PVC como se observa en la figura 1.7.



Figura 1.7: Frote con fuerza la varilla de PVC con el trapo de lana, realizando una buena presión con sus dedos mientras frota los dos elementos.

3. Acerque la varilla de PVC a los trozos de papel sin tocarlos y observe lo que sucede.
4. Repita del punto 2 y 3 pero ahora frote la varilla de Nylon con el trapo de vinilo. Si no observa nada, frótelo con mas fuerza hasta que consiga observar algún fenómeno.

1.5.2 Carga por fricción y contacto

1. Tome el electroscopio de bajas cantidades de carga y ubíquelo en su mesa de trabajo.
2. Utilizando el paño, frote la varilla de PVC realizando una presión considerable con sus dedos, de tal manera que consiga cargar la varilla de PVC como se observa en la figura 1.7.
3. Acerque la varilla de PVC al electroscopio sin tocarlo. Acérquelo y aléjelo en repetidas ocasiones y observe cuidadosamente las hojillas del electroscopio.

1.5 Procedimiento

17

4. Frote nuevamente la varilla de PVC realizando una presión considerable con sus dedos hasta que consiga cargar la varilla.
5. Ahora, acerque nuevamente la varilla de PVC al electroscopio pero en esta oportunidad asegúrese de tocar la esfera del electroscopio con la varilla cargada y observe cuidadosamente las hojillas del electroscopio.
6. Toque la esfera del electroscopio con su dedo índice. Observe cuidadosamente las hojillas del electroscopio.
7. Repita del punto 2 al 6 pero ahora frote la varilla de Nylon con el trapo de vinilo. Si no observa nada, frótelo con mas fuerza hasta que consiga observar algún fenómeno.

1.5.3 Maquina electrostática - GVG

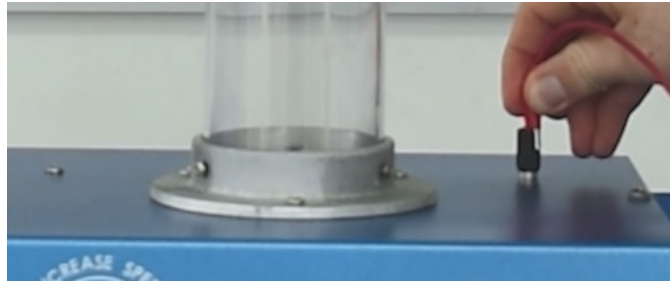
1. Tome servilletas y córtelas en tiras delgadas.
2. Utilizando cinta aislante pegue los trozos de servilletas de un extremo sobre el hemisferio superior de la cúpula del GVG como se observa en la figura 1.8(a).
3. Tome la esfera de descarga y utilizando un conductor banana-banana conecte un extremo a la esfera de descarga y el otro a la conexión a tierra del generador (ver figuras 1.8(b) y 1.8(c)).



(a) Van de Graff con trozos de servilleta pegados en su domo



(b) Conexión de esfera de descarga mediante conductor eléctrico.



(c) Conexión de la esfera de descarga a la tierra del GVG.



(d) Ajuste de potencia del GVG. Realmente realiza un control de velocidad de la cinta transportadora.

Figura 1.8: Conexiones del generador electrostático de Van de Graff (GVG).

4. **¡OJO!** La esfera de descarga conectada adecuadamente a tierra facilita la descarga del GVG (cada vez que se requiera) evitando que la misma se realice a través del cuerpo humano.
5. Encienda el GVG y gire su perilla a un 80 por ciento de su potencia máxima. (El control de potencia se observa en el círculo rojo de la figura 1.8(d)) espere unos 10 segundos y observe cuidadosamente lo que sucede con las tiras de servilleta. (Si no observa nada puede aumentar la potencia del GVG)
6. Acerque ligeramente su mano a las tiras de servilleta, con cuidado. Observe lo que sucede con las tiras de servilleta. Acerque también la esfera de descarga al domo del GVG y observe con atención lo que sucede.

1.5.4 Transferencia de carga

1. Retire las servilletas del domo del GVG.
2. Tome la esfera de descarga desconéctela de la tierra del GVG.
3. Toque el domo del GVG con la esfera de descarga.
4. Encienda el GVG y ajústelo a un 50 por ciento de su potencia máxima.
5. Espere uno 10 ó 15 segundos retírelo con cuidado y acérquelo al electroscopio para altas cantidades de carga sin tocarlo, observe lo que sucede.

¡OJO! Nunca lo acerque al electroscopio de bajas cantidades de carga su hojillas son muy sensibles y la alta cantidad de carga puede dañarlas.

6. Espere uno 10 ó 15 segundos retírelo con cuidado y acérquelo al electroscopio para altas cantidades de carga sin tocarlo, observe lo que sucede.
7. Repita los pasos 3 al 5, sin embargo, ahora asegúrese que la esfera de descarga si toca las esfera del electroscopio.

1.5.5 Péndulo electrostático

1. Tome la esfera de descarga y utilizando un conductor banana-banana conecte un extremo a la esfera de descarga y el otro a la conexión a tierra del generador como se observa en la figura 1.8(b) y 1.8(c)).
2. Use un soporte universal y con hilo cuelgue de él una esfera de ping-pong y una esfera de icopor como si fueran dos péndulos.
3. Acerque los dos péndulos al domo superior del GVG a una distancia no mayor a 20 cm. Observe la figura 1.9.
4. Encienda el GVG con una potencia no mayor al 80 por ciento de su potencia máxima. Recuerde que el ajuste se realiza con la perilla resaltada en rojo de la figura 1.8(d).
5. Observe con atención el comportamiento de las dos esferas durante unos 40 segundos.
6. Acerque su dedo índice a cada una de las esferas sin tocarlas. Observe con atención que aspectos del fenómeno varían respecto al punto anterior.

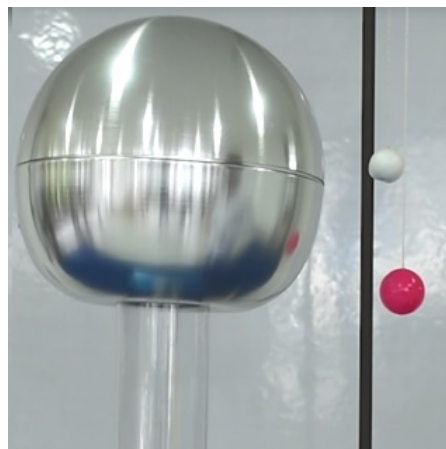


Figura 1.9: Aspecto de los péndulos al acercarlos al GVG

1.5.6 Viento iónico

1. Tome la esfera de descarga y utilizando un conductor banana-banana conecte un extremo a la esfera de descarga y el otro a la conexión a tierra del generador como se observa en la figura 1.8(b) y 1.8(c)).
2. Conecte un cable banana-caimán, el extremo de la banana péguelo con cinta al domo del GVG (vea el recuadro azul de la figura 1.10) y con el extremo caimán agarre una puntilla de tal forma que la forma puntiaguda quede apuntando hacia afuera como se observa en el zoom del recuadro rojo de la figura 1.10.

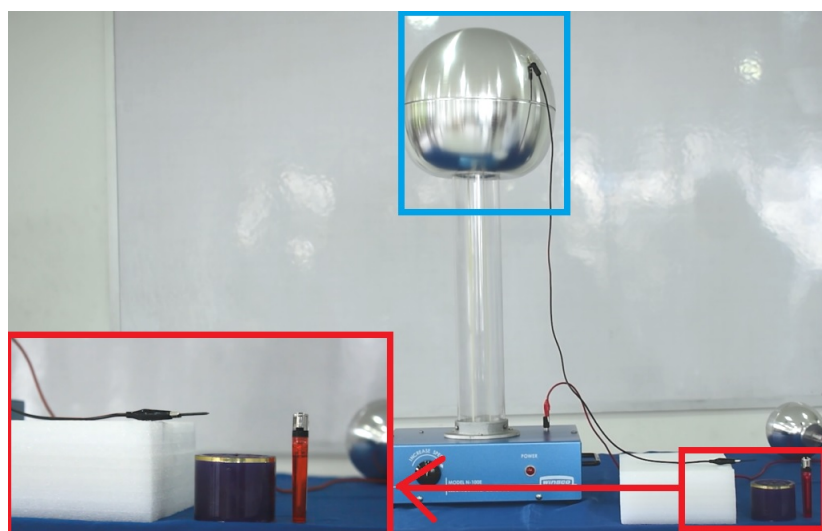


Figura 1.10: Configuración experimental para el estudio del viento iónico.

3. Tome la vela enciéndala y acerque el extremo puntiagudo de la puntilla a la flama (llama) de la vela.
4. Encienda el GVG y observe con atención el comportamiento de la flama de la vela.
5. Repita el numeral 3 y 4 pero ahora utilice otros electrodos (esférico y circular plano) para reemplacen la puntilla. Vea la figura 1.11.



Figura 1.11: Diferentes electrodos para el estudio del viento iónico.

1.5.7 Ruptura dieléctrica

1. Tome la esfera de descarga y utilizando un conductor banana-banana conecte un extremo a la esfera de descarga y el otro a la conexión a tierra del generador como se observa en la figura 1.8(b) y 1.8(c)).
2. Encienda el GVG con una potencia no mayor al 80 por ciento de su potencia máxima. Recuerde que el ajuste se realiza con la perilla resaltada en rojo de la figura 1.8(d).
3. Acerque a unos 10 ó 15 cm la esfera de descarga del generador espere un poco hasta que observe la chispa de descarga. Si no consigue observarla después de unos segundos, puede acercarse un poco mas la esfera de descarga ó incluso aumentar un la potencia del generador.
4. Tome un trozo de vidrio o de acrílico e interponga entre el GVG y la esfera de descarga. Observe con atención lo que sucede.

1.6 Análisis Cuantitativo y Cualitativo

Todas las explicaciones solicitadas en esta sección se deben redactar utilizando los argumentos físicos y científicos de la electricidad estática y los mecanismos de carga (ficción, contacto e inducción).

1.7 Referencias

21

1. Para la sección 1.5.1 explique desde los métodos de electrización las observaciones que obtuvo después de realizar el procedimiento planteado. ¿Existió alguna facilidad para electrizar alguna de las dos varillas (PVC o Nylon) mas que la otra? Explique su respuesta. ¿Tiene la serie tribologica alguna implicación específica en los fenómenos observados? ¿Por qué se debe acercar demasiado las varillas al papel para observar el fenómeno?
2. Para la sección 1.5.2 explique cada uno de los comportamientos observados en las hojillas del electroscopio. ¿Por qué al tocar el electroscopio con el dedo se descarga? Explique en detalle la razón física de tal efecto.
3. Teniendo presente el funcionamiento de un GVG explicado en los aspectos teóricos de la presente guía. ¿Cómo se puede determinar el tipo de carga electrostática que acumula el GVG?. ¿Cuál es la función de la esfera de descarga cuando se encuentra conectada a la tierra del generador?
4. En el procedimiento 1.5.3. ¿Cuál es la causa para que los trozos de servilleta de alejen del domo del GVG? ¿Por qué al acercar la mano al extremo de las servilletas ellas intentan caer nuevamente sobre el domo?
5. En el procedimiento 1.5.4 ¿por qué no se conecta a tierra la esfera de descarga? ¿Qué función cumple la esfera de descarga en este procedimiento?. Al retirar la esfera del GVG, ¿queda totalmente descargado?
6. En el procedimiento 1.5.5 ¿por qué las esferas se comportan como péndulos (oscilan acercándose y alejándose periódicamente del domo del GVG)?, ¿siempre que se acercan al GVG y consiguen tocarlo? si/no explique y argumente su respuesta? y ¿cuál es el efecto de acercar un poco la mano a los péndulos?
7. En el procedimiento 1.5.6. ¿cuál es la razón del movimiento de la llama de la vela? de todos los electrodos utilizados ¿cuál genera mayor movimiento en la llama?, la deformación en la forma de la llama para todos los electrodos ¿es igual? ¿cómo explica eso?
8. Explique detalladamente las causas del efecto observado en el procedimiento 1.5.7. Todas las chispas de descarga ¿saltan siempre del generador a la esfera de descarga ó viceversa? ¿qué diferencia hace la inserción de un dieléctrico (vidrio o acrílico) entre el domo y la esfera de descarga? ¿existe alguna relación de este fenómeno con la generación de los rayos en tormentas eléctricas?

1.7 Referencias

1. Course, B. P. (2019). *Electricidad y magnetismo Volumen 2* (2ª ed.). Reverte.
2. *Electrostatics Kit*. (2021, 22 junio). Vernier.
<https://www.vernier.com/product/electrostatics-kit/>
3. *Charge*. (s. f.). Laboratorio de Física Eléctrica. Recuperado 8 de julio de 2021, de
<http://physics.ham.miamioh.edu/LabPages/QuantitativeElectrostatics.htm>
4. Serway, R. (2018). *Física Para Ciencias e Ingeniería. Vol. 1* (10ª ed.). Cengage Learning.
5. Tipler, P. A. (2010). *Física. 6ed. Vol. 2*. Reverté.