



II CONCURSO  
DIVULGACIÓN CPAN

## CONSTRUCCIÓN DE UN VAN DER GRAAFF CASERO

Inmaculada Díaz Francés<sup>1</sup> y Ángel Jesús Romero Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento Física Aplicada II (Universidad de Sevilla).

<sup>2</sup>Centro Nacional de Aceleradores (Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC)

Hace más de 25 siglos el hombre tuvo un glorioso despertar. Fue cuando aparecieron las primeras personas que se cuestionaron que todo lo que le rodeaba se debía a algo más que una deidad divina, a pesar de la hostilidad hacia las nuevas ideas. Ya en el siglo 6 a.C hubo una gran revolución en el pensamiento, se empezó a alegrar que el Universo era conocible, se observaba que existían ciertas reglas en la naturaleza que permiten descubrir sus secretos, el cosmos. Tales de Mileto fue el primero en enfocar que el mundo no había sido hecho por los dioses, sino por el resultado de fuerzas materiales que interactuaron. La inquietud del hombre, su ambición por conocer más y más nos han llevado a experimentar e investigar todo aquello que nos rodea. Desde algo tan simple como la caída de una manzana, hasta el experimento más sofisticado, pueden darnos respuestas y hacer que comprendamos mejor lo que somos, lo que vemos y en mundo en el que nos encontramos. El hacer llegar estos conocimientos y las experiencias que nos enseñan llegar a ellos, es una tarea reconfortante si se logra llegar al objetivo. Es este motivo, el que nos ha movido a participar en este concurso enfocado a ello, a la divulgación de la ciencia. La física forma parte de nuestro día a día, y en este campo trabajamos. Con el proyecto que hemos decidido presentar esperamos poder explicar muchos conceptos y despertar el interés de todo el público en general, ya que con el generador Van de Graaff se pueden desarrollar muchas y distintas experiencias y explicarlas a distintos niveles.

Un generador de Van de Graaff es un artefacto que crea diferencias de potencial o tensiones, produciendo por ello grandes voltajes. Su nombre viene de su creador, Robert Jamison Van der Graaff, quien lo construyó en 1929. El sistema se basa en fenómenos de electrización por contacto.

Para ello va a emplear una cinta móvil aislante en la cual se van a transportar elevadas cantidades de carga eléctrica, generadas por contacto, hacia la parte superior donde se encuentra una esfera metálica hueca que actúa como terminal.

Las diferencias de potencial que se pueden llegar a alcanzar en un generador de Van de Graaff moderno pueden llegar a ser de hasta 5 megavoltios.

El interés que suscita la presentación de este trabajo es su aplicación en experimentos de física nuclear y de partículas.

### BREVE RESEÑA HISTÓRICA

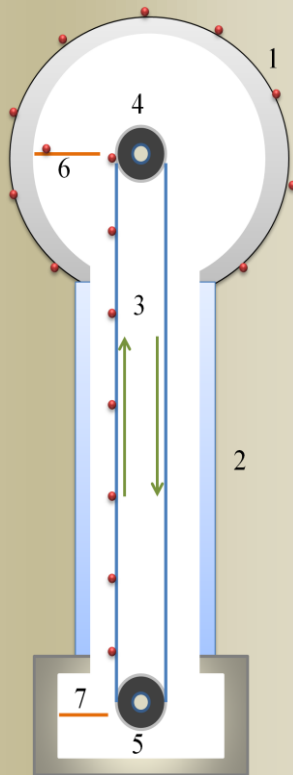
Robert J. Van de Graaff diseñó en 1929 el generador eléctrico que llevaría su nombre en el Instituto de Tecnología de Massachusetts con el fin de realizar experimentos en el campo de la física nuclear. En estos experimentos se perseguía sacar conclusiones sobre los núcleos de los átomos a partir de colisiones, para ello, era necesario acelerar partículas cargadas, que tras alcanzar gran velocidad chocaban contra blancos fijos.

En 1931 ya había conseguido que dicho generador alcanzara diferencias de potencial de hasta 1 MV. Hoy día nos encontramos con sistemas pelletron que pueden llegar a alcanzar voltajes de 25MV.

## MONTAJE

El generador de Van de Graaff está constituido básicamente por un motor, una correa aislante, dos mallas de aluminio, dos semiesferas huecas de acero donde irá acumulándose la carga que transporte la correa.

A continuación, en la figura se muestra con más detalle el montaje del artefacto.



*1 Una esfera metálica hueca, formada por dos semiesferas de acero acopladas, una de ellas tiene en su base una apertura para posibilitar el paso de la correa aislante.*

*2 Soporte aislante de plástico que sostiene a la esfera por la parte superior y que se atornilla a un pie metálico.*

*3 Una correa o cinta de goma (aislante) que se mueve entre dos poleas 4 y 5. La polea 5 se acciona mediante un motor eléctrico.*

*6 y 7 Dos mallas conductoras de aluminio situadas muy próximas a la correa pero sin llegar a tocarla.*

*Figura 1 Esquema de montaje de un generador Van der Graaff*

Las piezas se unirán según la figura 1. Para ello no se empleará pegamento, sino tornillos. La esfera metálica, va apoyada sobre el soporte de plástico sin necesidad de otra sujeción. En el anexo se mostrarán fotografías de las distintas piezas y algunas instrucciones más detalladas del montaje.

### Descripción de las piezas empleadas y coste

La finalidad de este trabajo es demostrar cómo se puede construir un generador Van der Graaff de bajo coste a partir de piezas cotidianas fáciles de adquirir y reciclando materiales con el fin de mirar por el medio ambiente y darle utilidad a objetos que parecen a simple vista inservibles.

-Para la esfera metálica hueca de unos 20cm de diámetro, se han empleado dos cuencos de acero inoxidable de los que se pueden adquirir en cualquier superficie comercial. Su coste es de 5 euros la unidad.

-El soporte o columna aislante de 30cm de altura y 12cm de diámetro que sostiene la esfera es un bote de plástico PET que se emplea normalmente para guardar los

espaguetis. Se adquiere fácilmente en cualquier bazar comercial por aproximadamente 2 euros.

-La correa o cinta de goma elástica que se ha empleado es de 5,5cm de ancho y de látex. Se puede adquirir en una ortopedia ya que es una cinta que normalmente se emplea en procesos de rehabilitación o actividades deportivas. Su precio puede oscilar entre 3 y 5 euros el metro.

-Los rodillos uno es un tope de seguridad de lavadora y otro es el rodillo de una impresora (material reciclado).

-La malla de aluminio son los apantallamientos de cables de transmisión de datos. Precio 2 euros el metro.

-El motor empleado es el motor de la bomba de agua de una lavadora (material reciclado).

-El pie metálico que se emplea como base es la carcasa de una fuente de alimentación (material reciclado).

-Las uniones entre los distintos materiales se han realizado con tornillería recuperada.

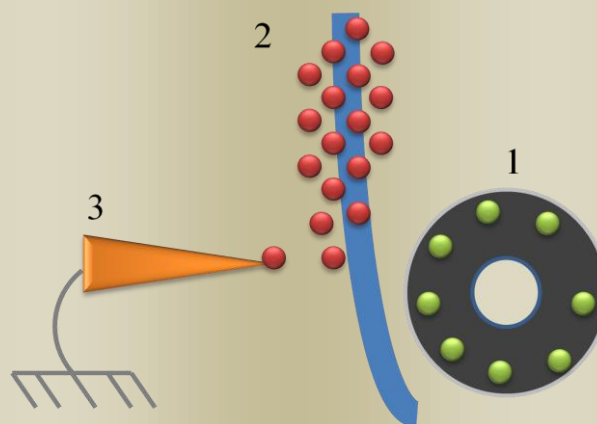
-Otros materiales: Pegamento, cables, cinta de teflón, papel de aluminio, cinta adhesiva. El coste total de los materiales empleados es aproximadamente unos 20 euros.

### FUNCIONAMIENTO

Este generador no va a necesitar de un aporte de cargas desde el exterior para el inicio de su funcionamiento. El motor va a hacer girar el rodillo de la parte inferior que al entrar en contacto con la correa aislante va a producir una separación de cargas, es lo que se conoce como efecto triboeléctrico. Tanto el rodillo como la correa van a adquirir las mismas cargas pero de signo opuesto, esto va a depender de los materiales empleados en los mismos. Para el generador que hemos montado en nuestro caso el rodillo va a adquirir carga negativa y la correa carga positiva (ver tabla 1).

El rodillo induce cargas de distinto signo en la malla metálica inferior, el intenso campo eléctrico que se forma entre estos dos elementos ioniza el aire que los rodea.

Las cargas de la malla de aluminio no abandonan el metal, pero se forma un plasma conductor debido al fuerte campo eléctrico creado, que hace que finalmente estas cargas se repelan (efecto Corona)



*Figura 2 Esquema de la adquisición de carga en la parte inferior del sistema. 1 Rodillo inferior, 2 Correa aislante, 3 Malla metálica*

Es entonces cuando se va a formar un puente conductor para el movimiento de cargas. El rodillo va a atraer las cargas negativas, pero la correa va a atrapar muchas de ellas al pasar por la misma.

En el rodillo la densidad de carga va a ser mayor que en la correa ya que por esta última se van a extender por una mayor superficie, además, la carga del rodillo va a ser muy intensa ya que dicha carga va a acumularse en dicha zona.

De esta forma la cinta aislante va a ir transportando un flujo continuo de carga negativa hacia el rodillo superior. Como el rodillo superior es de un material neutro no se va a transportar cargas en el descenso de la correa.

La carga al llegar al rodillo superior pasará a través de la malla conductora de aluminio que se encuentra en el interior de la esfera, se va a creando un campo lo bastante intenso para ionizar el aire entre la malla y la cinta. A partir de ahí también se va a ir cargando el aire del interior de la esfera (efecto Faraday).

### CÁLCULOS

Existe un campo en la superficie de la esfera en el que el aire se ioniza y se vuelve conductor y a partir del cual el generador no puede incrementar más la carga.

Si realizamos una aproximación del campo producido de la esfera teniendo en cuenta el conductor hueco es una esfera conductora de radio  $R$  y sabiendo la carga acumulada  $Q$  (ver la fórmula 1)

$$E = \frac{1}{4\pi\delta_0} \frac{Q}{R^2} \text{ Fórmula 1}$$

La capacidad de una esfera está definida por la ecuación

$$C = 4\pi\delta_0 R \text{ Fórmula 2}$$

Como

$$Q = C V \text{ Fórmula 3}$$

Sustituimos en la fórmula 1 la anterior igualdad

$$E = \frac{1}{4\pi\delta_0} \frac{C V}{R^2} \text{ Fórmula 4}$$

El campo de ruptura es el valor máximo del campo que un medio aislante soporte sin hacerse conductor, en el aire dicho valor es  $3,1 \cdot 10^6$  V/m.

Sustituyendo  $E$  por su valor y  $C$  por su igualdad tenemos

$$3,1 \cdot 10^6 V/m = \frac{4\pi\delta_0 R V}{4\pi\delta_0 R^2} = \frac{V}{R} \text{ Fórmula 5}$$

Despejando  $V$

$$V = 3,1 \cdot 10^6 V/m \cdot R \text{ Fórmula 6}$$

El radio de nuestra esfera es de 0,20m

$$V = 3,1 \cdot 10^6 V/m \cdot 0,20m = 620.000V$$

Estos cálculos son aproximados puesto que: La esfera no es completa, la columna soporte y la propia correa no tienen resistencia infinita y se producen pérdidas en los bordes de la esfera (efecto corona).

### EXPERIENCIAS A REALIZAR CON EL GENERADOR VAN DER GRAAFF CONSTRUIDO



A continuación, vamos a comentar una serie de experiencias que se pueden realizar con el generador construido y que pueden ser muy didácticas para explicar distintos conceptos, tales como la carga, campo eléctrico, jaula de Faraday, entre otros. Son ejemplos muy sencillos que suelen llamar la atención del público en general y

despiertan el interés de niños que están empezando a adentrarse en el mundo de la física.

**Carga y repulsión de pequeños cuerpos.** Con un mechón de pelos o con trozos de papel higiénico cortados en flecos, sujetos con un alambre que esté a su vez en contacto con la esfera.

**Viento iónico.** Pegamos una aguja metálica a la esfera y acercamos a ella una vela encendida se puede observar como se mueve la llama. La persona que este cercana a la punta se va a ir cargando eléctricamente (terminará descargándose, pero es inofensivo, ya que la intensidad es baja).

**Motor iónico.** Pegamos una aguja metálica a la esfera y sobre la punta de esta colocamos unas hélices metálicas (pueden hacerse con papel de aluminio con un agujero en el centro para introducir por ahí la aguja) de forma que estas puedan girar pero no salgan despedidas (para ello podemos doblar un poco la punta de la aguja).

**Descarga.** Tomamos un objeto que esté conectado a tierra, y lo acercamos una vez haya pasado algunos segundos que se haya puesto en marcha el generador. En función del voltaje que nuestro generador alcance y la humedad del ambiente la chispa que se visualiza será de mayor o menor tamaño. Es recomendable para conseguir la menor humedad posible, que el Van der Graaff se ponga a funcionar en un lugar donde haya aire acondicionado, o bien previamente pasar un secador de pelo con aire caliente por la zona de la esfera.

**Carga de una persona.** Para esta experiencia es recomendable buscar a una persona con cabello, largo, fino y limpio. No debe hacerse con persona que tenga problemas cardiacos. Si pone su mano sobre la esfera antes de encenderla y está un tiempo con ella puesta cuando el generador esta funcionando, puede llegar a observarse que los pelos se le ponen de punta (siempre que haya buenas condiciones). Si esa persona pone la mano una vez esta en funcionamiento va a sentir una descarga (inofensiva ya que la intensidad es muy baja).

**Campo eléctrico.** Podemos observarlo con un electroscopio, también muy fácil de construir de forma casera. Podemos encontrar varios ejemplos de ello en internet, inclusive en el apartado de I Concurso CPAN, ya que fue uno de los trabajos ganadores la pasada edición.

**Jaula de Faraday.** Si colocamos el electroscopio en el interior de una malla metálica y lo acercamos al generador, observamos que no se produce el efecto que veíamos con la experiencia explicada en el apartado anterior.

### ANEXO

#### Materiales más positivos

aire  
vidrio pulido  
fibra sintética  
piel de conejo  
mica  
lana  
piel de gato  
plomo  
aluminio  
papel

#### Materiales neutros

algodón  
papel  
ebonita  
acero  
madera  
caucho  
resina  
cobre  
níquel  
plata  
azufrevidrio sin pulir  
acetato(celuloide)  
poliéster  
poliuretano  
polipropileno  
vinilo (PVC)  
silicona

#### Materiales más negativos

Teflón

*Tabla 1. Los materiales más propensos a adquirir carga negativa son los materiales más negativos. Al contrario pasa con los materiales más positivos, éstos adquieren carga positiva.*



*El soporte o columna aislante (tubo de espaguetis) lo cortamos por su base para que la banda aislante pueda pasar por los dos extremos. El hecho de usar este tipo de recipientes solo se debe a que son transparentes y a efectos de divulgación es más sencillo mostrar como gira la banda que con un soporte opaco.*

*En el pie metálico (fuente de alimentación) realizamos una perforación con el mismo diámetro que el soporte, dentro de esta carcasa atornillamos el motor con su correspondiente cableado y conectamos esta a tierra. También atornillamos a la carcasa en la zona donde circula la banda una placa de aluminio que realiza el efecto puntas y carga la banda.*





*En la parte superior del soporte atornillamos unos topes de plástico donde apoya la semiesfera y unos perfiles que sirven como soporte del rodamiento superior y la malla de aluminio que recoge la carga y la distribuye por la esfera.*

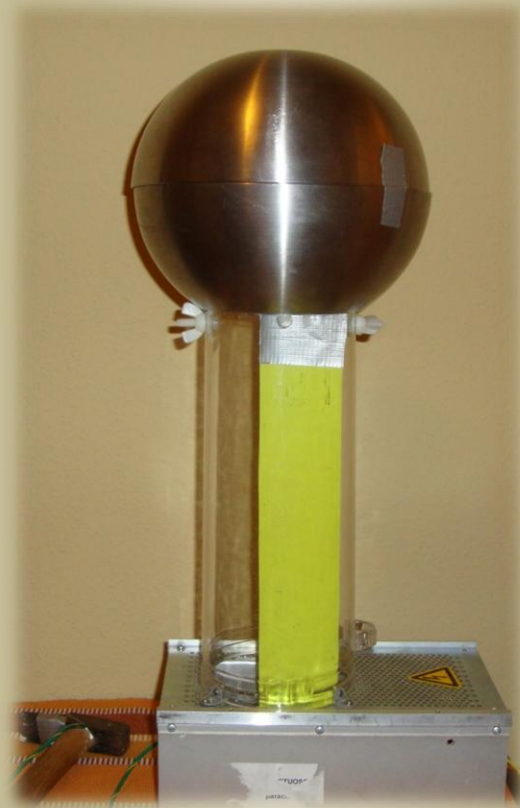
*Las dos semiesferas se acoplan entre sí mediante unas pequeñas tiras de plástico que están pegadas en la semiesfera inferior de forma que la superior encaja en esta.*



*El rodillo inferior está envuelto en teflón (cinta de teflón típica usada en fontanería), el superior está envuelto en papel de aluminio. Estos recubrimientos los hemos realizado para favorecer el efecto triboelectrico.*

*Para poder descargar nuestro generador tenemos que usar una masa conductora conectada a tierra, hemos usado un martillo con un cable conectado a su cabeza que lo enlaza con tierra*





*En esta imagen se observa el montaje completo de nuestro generador Van der Graaff listo para funcionar.*

*En los siguientes enlaces podemos ver unos videos del generador en funcionamiento.*

[http://www.youtube.com/watch?v=LB\\_0YGu6U2s](http://www.youtube.com/watch?v=LB_0YGu6U2s)

<http://www.youtube.com/watch?v=hn-TqQFbU6c>

<http://www.youtube.com/watch?v=-OxYe7e62HM>

## REFERENCIAS

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Van\\_de\\_Graaff\\_generator](http://en.wikipedia.org/wiki/Van_de_Graaff_generator)
- [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo\\_electrico/graaf/graaf.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_electrico/graaf/graaf.htm)
- Brenni P. "The Van de Graaff generator". An electrostatic machine for the 20th century. Bulletin of the Scientific Instrument Society No. 63 , 1999.
- Ryne C. Allen "Triboelectric Generation: Getting Charged" Desco Industries Inc. (DII), 2000.
- Tesla N. "Possibilities Of Electrostatic Generators". Scientific American, March, 1934.



ACCÉSIT EN EL II CONCURSO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DEL  
CENTRO NACIONAL DE FÍSICA DE PARTÍCULAS,  
ASTROPARTÍCULAS Y NUCLEAR (CPAN)