

# TRIBOCHISPAS

**DONANTUENO, María Candela**

Colegio Nacional de Bs. As., Ciudad de Buenos Aires

BILGRAY, Adriana

## MEMORIAS

En cuanto me enteré del concurso y en qué consistía, encontré mi primera dificultad en la consigna de que debía ser un dispositivo experimental “original”. Me costó mucho pensar en el alcance de lo pedido. Fue por eso que quise plantear en un principio la construcción de un acelerador lineal de partículas a pequeña escala, donde se pudiera mostrar el funcionamiento de tal aparato, el cual no es común en la enseñanza media. Para el montaje de este artefacto, me di cuenta de que iba a requerir de elementos muy complejos de manejar. Por otra parte, esos elementos serían muy costosos, lo cual haría del proyecto en sí algo difícil y poco práctico de aplicar en una escuela donde el presupuesto para “hacer ciencia” no pudiera cubrir los costos de una bomba de vacío y de un generador de iones, por ejemplo.

Entonces caí en la cuenta de que debería pensar este proyecto desde una visión un poco más global, algo que *realmente* valiera la pena construir en relación “costo-beneficio”.

Así fue como al poco tiempo, en uno de los encuentros semanales de “Laboratorio Cero” (curso al que yo asisto los sábados por la mañana, dictado en el Centro Atómico Constituyentes), hicimos una experiencia con un generador de Van de Graaff. Lo que más me llamó la atención de la práctica que realizamos, fueron los múltiples fenómenos físicos que se podían evidenciar con el uso de este generador, sumándole algunos pequeños y sencillos dispositivos.

De esta experiencia fue de donde extraje un nuevo planteo: construir un generador como ése, pero haciéndolo al menor costo posible y así, que fuera posible para una escuela de bajos recursos que quisiera hacer experimentos con cuestiones electro-físicas, a partir de un dispositivo de funcionamiento muy sencillo como lo es un Van de Graaff.

Creo que si un colegio pudiera tener a su disposición un simple generador como este, podría experimentar con una infinidad de dispositivos más sencillos aun, y mostrar, así, una apertura de temas muy amplia.

## ¿Por qué un Van de Graaff?

En el acelerador de partículas iónicas TANDAR - que se encuentra en el Centro Atómico Constituyentes - las grandes diferencias de potencial que lo hacen funcionar son producidas por un generador Van de Graaff como el realizado en este proyecto, pero a gran escala. Este tipo de aceleradores tienen reconocidas aplicaciones en el mundo científico, como la investigación de aspectos muy complejos de la física nuclear.

Por otra parte, creo que disponer de esta máquina en una escuela secundaria permitiría a los alumnos la realización de numerosas experiencias participativas de electrostática, fenómeno muy presente en nuestra vida cotidiana. Y además poder hacer llegar a la escuela algo de la física de partículas que es tan interesante y actual.

## ¿Cómo funciona este VDG?

En principio, el “truco” mediante el cual un aparato de estas características pueda llegar a generar altas diferencias de potencial es el frotamiento (la triboelectricidad). El generador original, construido en 1933, constaba de una esfera metálica hueca, dentro de la cual una cinta de seda llevaba cargas eléctricas. Esto se producía por el frotamiento de la cinta con un rodillo inferior que

se cargaba con un signo distinto a la carga del rodillo superior, también cargado por frotamiento. Simultáneamente, el rodillo inferior inducía sus cargas en un peine metálico, ubicado a su misma altura. La banda transportaba estas cargas hasta la parte superior y las inducía en otro peine metálico, a la altura del rodillo superior. Por la inducción de este peine, la esfera metálica hueca terminaba cargándose con el signo de la carga que había subido por la banda.

En el construido en este caso se debió realizar un reemplazo de los materiales para poder hacerlo viable a un costo mucho menor.

- En primera instancia, hubo que reemplazar la estructura de sostén. Muchos VDG ya contruidos aparecen con cilindros huecos de acrílico, los cuales muchas veces deben ser mandados a hacer a medida. Esto representaba un costo muy elevado, por lo cual primero pensé en una estructura de dos placas de madera rectangulares, que oficiaran de paredes para la esfera. Pero ahora el problema aparecía en encajar los ejes de los rodillos en ellas, y a su vez, la esfera, que debía contener el rodillo superior dentro para poder cargarla. Luego de pensar en infinidad de materiales, llegué al tubo de PVC, el cual tiene un costo mínimo, es fácil de trabajar y da con la forma necesaria para el montaje del eje del rodillo y de la esfera.
- En los VDG ya contruidos que observé casi siempre se utilizaba una esfera metálica, la cual también es muy costosa. Por lo cual debí probar con sucesivos materiales para reemplazarla.  
Una de las ideas que tuve consistía en una esfera hueca de telgopor recubierta por pintura conductora. Pero esta pintura resultó ser muy cara para la cantidad que yo necesitaba, entonces probé en fabricar una pintura casera que condujera. Esta se trataba de una mezcla de grafito en polvo con cola vinílica, la cual se adheriría al telgopor sin dañarlo y tendría suspendido el grafito que es altamente conductor. A pesar de la teoría sobre la conducción del grafito, cuando lo probé, resultó que este recubrimiento no conducía absolutamente nada. También pensé en cubrir la esfera con papel de aluminio, pero este es muy frágil y podría romperse fácilmente. De todas formas, construí esta esfera recubierta de papel de aluminio y realicé algunos experimentos con ella ya que resultó ser una buena alternativa conductora a pesar de su fragilidad.  
Así fue como llegué a la cacerola de aluminio, la cual hubo que trabajarla mucho con pinzas, martillos, serruchos, etc. para tratar de darle una forma más abombada. Esta representa la versión más práctica y económica de la esfera conductora necesaria.
- Los rodillos me representaron un problema en el sentido de investigar qué materiales convenían utilizar para cada uno, lo cual tampoco fue fácil. Terminé concluyendo que uno de PVC en la parte inferior y un tubo de ensayo en la parte superior deberían producir el efecto buscado.
- Con respecto a la cinta, probé con muchos materiales. Primero intenté unir tiras de guantes de látex, pero quedaba muy desprolijo porque es un material muy difícil de trabajar. Luego probé con una tira de tela con lycra pero se patinaba y no giraba sobre los ejes. También experimenté con una tira de caucho (de una cámara de neumático) pero por la forma en que había que cortarla quedaba muy irregular y se corría sobre los ejes, y a su vez le costaba correr sobre ellos por el gran rozamiento con el vidrio. Unir una tira de cinta para torniquete abierta por la mitad no fue posible con los pegamentos con los que disponía, por lo cual desistí de ese material. Finalmente, se me ocurrió probar con una tira de panty-media de mujer, unida en sus extremos. Una vez “calibrada” la tensión con la que funcionaría, fue el material que mejor corrió por la polea. De todas formas, para aprovechar al máximo la potencia del motor, adherí al tubo eje de PVC inferior una tirita de papel de lija muy fino que no cubriera toda la superficie de roce con la media. De esta forma la arrastraría mucho y eso aumentaría la carga del generador por unidad de tiempo.

- El motor utilizado no tiene una gran potencia, ya que utilicé el de un secador de pelo antiguo, el cual está sujeto al eje del rodillo inferior de PVC.
- Para la descarga a tierra, un cable hace contacto con el tornillo que sujeta el peine metálico inferior, y el otro extremo puede estar conectado a una canilla.
- Para el peine superior hay un cable que conecta desde afuera del tubo principal de PVC el tornillo de ese peine con el interior de la cacerola pegado con una cinta aislante.
- Los peines consisten sencillamente en un poco de rollito de virulana cepillado sujeto por un tornillo y tuerca a un perfil metálico en forma de L, que a su vez está sujeto al caño de PVC principal.

## APLICACIONES

Mediante la utilización de un máquina electrostática; generadora de grandes potenciales como lo es la planteada en este proyecto, es posible realizar diferentes experiencias complementarias para mostrar distintos fenómenos de la electrostática con la sola adición de dispositivos muy sencillos y factibles de construir con elementos para nada sofisticados. A continuación se detallará una lista de algunas de las posibles experiencias a realizar; con la interacción del generador de Van de Graaff con ciertos dispositivos que se explicarán así mismo.

- Con un **electroscopio armado con un tubo de ensayo**: se puede observar el fenómeno de inducción y se lo puede cargar por contacto.
- Con un **tubo fluorescente**: se puede lograr prender un tubo de estas características con sólo acercarlo a la bocha. Para la seguridad del que ejecute la experiencia es muy importante que lo sostenga desde la mitad del tubo sin tocar los terminales del extremo.
- Con un **conito de papel de aluminio**: sujetando con algún pegamento o cinta el conito a la bocha conductora sería posible mostrar el efecto punta, dado que éste estaría al mismo potencial que tuviera la bocha en ese momento. Entonces, si colocáramos una vela cerca de esta punta, sería evidenciado el fenómeno del viento eléctrico, causando que la vela se apagara.
- Con un **cable cocodrilo**: si conectáramos una punta de este a la bocha, y la otra la conectáramos a una placa de metal, que estuviera enfrentada a una de igual forma; conectada a tierra, podríamos ver las líneas de fuerza del campo eléctrico creado entre estas dos placas. Este sistema de placas debe estar apropiadamente dispuesto sobre una bandeja cualquiera de un material plástico, llenado de un aceite (las placas deben estar en contacto con este aceite) con semillas dispersas entre las placas. Sobre este mismo sistema de aceite se pueden colocar placas metálicas de distintas formas, y sería muy práctico y económico hacerlas de trozos de lata de gaseosa cortados, dándoles la forma deseada.
- Con **pelotitas de telgopor muy pequeñas o papel picado**: si con el generador apagado colocáramos sobre la parte superior de la bocha estos materiales, al encenderlo veríamos que los elementos serían expulsados de la superficie. Aquí también se evidencian las líneas de fuerza del campo, que son perpendiculares a la superficie de la esfera.
- Con **cintas de papel**: si colocáramos una banda elástica por la mitad de la esfera y engancháramos las cintas colgando de esa cinta con la máquina apagada, al encenderla veríamos que saldrían proyectadas nuevamente perpendiculares a la superficie de la bocha. En esta experiencia se visualiza más claramente que en la anterior la dirección del vector de las líneas del campo eléctrico.

- Con **medio tubo de PVC y unas bolitas metálicas**: este resulta una experiencia muy interesante, y de hecho, es la que me llevó a construir esta máquina. Con estos elementos sería factible simular el funcionamiento de un acelerador de partículas. Debemos colocar la bolita metálica sobre la superficie cóncava del semi-tubo de PVC y acercar este a la bocha. Así veremos como, en primer lugar, la bolita se sentirá atraída a la bocha debido a un fenómeno de polarización. Luego, por adquirir el mismo tipo de carga de la bocha, se verá repelida por la misma. Para que esto funcione, una placa metálica debe estar sujeta al tubo por un extremo y a la bocha por el otro.
- Con un **péndulo eléctrico**: si bien este suele ser un dispositivo de un mecanismo sencillo, pero hecho especialmente por un fabricante, acá planteo construirlo con una lata de gaseosa. Esto sería dejando la base como soporte del dispositivo y dejando también una tira vertical, la cual será doblada. De ahí se enganchará papel de aluminio manipulado en forma de sogá, y dejándole una pelotita del mismo material para construir nuestro péndulo. Así, al acercarlo a la bocha se verá atraída la pelotita de la punta y al tomar contacto con la bocha, por adquirir carga del mismo signo, la bolita es repelida. Se observa aquí el fenómeno de inducción de materiales conductores.
- Con una **jaula de Faraday**: un cesto de alambre puede servir como jaula y colocar papelitos metálicos dentro y fuera de ella, agarrados del propio enrejado. Conectando un cable con pinza cocodrilo a la bocha, un extremo y al enrejado, la otra es posible observar como el campo eléctrico dentro de la jaula se anula. También, simplemente acercando la jaula a la bocha se ve como los papelitos metálicos exteriores son atraídos hacia ella.
- Con un **molino eléctrico**: se puede armar el molinito con 2 tiras cortadas de una lata de gaseosa formando ángulo recto, pinchadas sobre una aguja, que a su vez está clavada sobre una base de madera de sostén. Agarrando nuevamente una pinza cocodrilo a la bocha, y el otro extremo, a la aguja, veremos cómo el molino girará sobre la aguja por la ionización del aire.

En general, entonces, este tipo de generador puede servir para todo tipo de experiencias electrostáticas. Vale aclarar que, si bien puede generar grandes diferencias de potencial, no puede generar una gran intensidad de corriente.

## CONCLUSIONES

Este dispositivo fue mostrado en dos cursos de mi colegio a modo de “prueba piloto” para ver qué reacción causaba en los grupos. La devolución de los estudiantes fue muy positiva, ya que se manifestaron muy interesados en los fenómenos mostrados por el aparato, y sobre todo, muchos de ellos remarcaron la ventaja de haber podido entender esos fenómenos de un modo tan sencillo como fue verlo a través del funcionamiento de la máquina construida. Se logró encender un tubo fluorescente acercándolo a un centímetro y medio de la cacerola y visualizar una chispa de descarga, lo cual nos permitió estimar la diferencia de potencial generada por el aparato, que fue de unos 45000V (esto ocurrió en días donde había entre un 80% y un 90% de humedad y el aparato debiera funcionar mucho mejor en condiciones de menor humedad en el ambiente). El interés fue tal, que la gran mayoría del grupo insistía en participar como voluntarios “cargándose” con el VDG, y se mostraban muy curiosos con respecto a toda la actividad y al funcionamiento del artefacto.

Creo que la respuesta de los chicos es más que interesante, ya que se logró exactamente el objetivo que se buscaba: llamar el interés por la ciencia por parte de los chicos de un modo que fuera fácil de entender para ellos.

También me gustaría compartir mi punto de vista con respecto a lo que puede significar el trabajo de un investigador en física a partir del rol que tuve que desempeñar realizando esta experiencia. Ante todo, debo admitir que no fue nada fácil concretarlo. Muchas veces, aquellas ideas que tenemos en la mente y que creemos imposible que puedan no funcionar en la práctica, realmente fallan una vez llevadas a cabo. Se necesita de mucho empeño y dedicación, ya que en el armado de dispositivos de este tipo se requiere mucha precisión.

Las primeras veces todo el dispositivo en conjunto encontré dificultades, ya que el motor no sólo no arrastraba la media, sino que le costaba funcionar. Descubrimos allí que el tubo de PVC que funcionaba de rodillo estaba haciendo palanca sobre el eje de rotación del motor, y entonces éste no podía hacer girar ese rodillo. Fuimos encontrando muchísimos errores en el camino, y eso fue lo que día tras día nos iba desafiando más en el laboratorio del colegio donde hice el armado final. Al mismo tiempo creo que son esas cosas las que terminan retando al investigador en la vida real: esos obstáculos van a poner a prueba constantemente la perseverancia del individuo que está determinado a investigar aquello que se propuso.

Por otra parte, para construir algo similar a un generador real, no sólo es necesaria la base teórica del funcionamiento, sino que también se requieren conocimientos de ingeniería aplicada para resolver los obstáculos que surgen en el camino. Para esto fue invaluable la ayuda de gente que supo instruirme sobre las herramientas posibles para trabajar, y ciertos principios sobre cómo trabajar algunos de los materiales utilizados.

Vale remarcar que, si bien la idea principal de cómo construir este generador fue mía, inevitablemente fue necesario acudir a la ayuda de muchos familiares, conocidos, profesores y ayudantes del departamento de física del colegio. El trabajo de calibración del dispositivo, una vez ya construido, fue en equipo, y creo que hubiera sido casi imposible realizar una tarea de este tipo individualmente. Incluso, una vez que el dispositivo quedó listo para su funcionamiento, no fue sólo la satisfacción de haber concretado su construcción, sino también estuvo presente el haber podido solucionar esos obstáculos con la ayuda de un equipo que estuvo dispuesto incondicionalmente. Esto evidencia por qué hoy en día las investigaciones son realizadas por equipos interdisciplinarios.

Creo que no vale la pena aclarar que ya existen construidos VDGs en todo el mundo, por lo cual este VDG no es completamente original. Pero en mi proyecto la idea que sí es original estuvo íntimamente afectada por el objetivo de lograr el montaje de un VDG con una inversión económica ínfima para el tipo de aparato que es, y que nos permitiera comprender muchos fenómenos físicos relacionados con la triboelectricidad y la electrostática de la forma más sencilla posible y construido de tal forma que pudiera ser fácilmente transportable. Creo que sería muy factible valerse de un dispositivo de este tipo en escuelas donde la ciencia es la verdadera deuda interna. A mí me hubiera gustado mucho haber tenido la posibilidad de aprender electrostática con una máquina de este tipo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 – J.S.Fernandez, E.E.Galloni. *Física Elemental (vol 2) – 3° edición*, Editorial Nigar S.R.L.
- 2 – Eduardo J. Quel. *Notas sobre Electricidad y Magnetismo*, 1999
- 3 - [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)
- 4 – A. M. Ribeiro da Luz, B. Alvarenga. *Física General – 4° edición*, Oxford University Press, México, 1998, p. 888-889
- 5 - <http://scitoys.com/>
- 6 – Wilson. *Física – 2° edición*, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996, p. 504
- 7 – R. A. Serway, J. S. Faughn. *Física – 5° edición*, Pearson Education, México, 2001, p. 505

## AGRADECIMIENTOS

Por último, para cerrar me gustaría mencionar brevemente a todos aquellos que colaboraron acompañándome, resolviendo los obstáculos que se me iban presentando en el camino y/o simplemente dando una palabra de aliento para que yo pudiera sacar este proyecto adelante. Quiero darle gracias a mi profesora Adriana Bilgray, la primera que creyó en mí, y que me ofreció su tiempo, buena voluntad y optimismo desde que le planteé mi interés en esta beca (la cual representaba un gran desafío para mí); a todo el Departamento de Física del CNBA, incluyendo a muchos de sus profesores y ayudantes, que me dedicaron varias horas en el Laboratorio de Física del colegio en esos días críticos en que nada parecía funcionar; y a todos los miembros de mi familia, quienes estuvieron dedicando sus fines de semana a mi VDG, brindándome toda la ayuda que pudiera necesitar. ¡Muchísimas gracias a todos!





