

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

F609 - TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA I

RELATÓRIO FINAL

CONSTRUÇÃO DE UM MINI-GERADOR
DE VAN DE GRAAFF



ALUNO: GUILHERME CÔCO BELTRAMINI
guicoco@gmail.com

RA 023943

ORIENTADOR: PROF. DR. RICHARD LANDERS
landers@ifi.unicamp.br

COORDENADOR DA DISCIPLINA: PROF. DR. JOSÉ JOAQUIN LUNAZZI

CAMPINAS, 12 DE JUNHO DE 2007

1)

Introdução

1.1) Motivação

O gerador de Van de Graaff é um dos equipamentos mais presentes em feiras de ciências e experimentos didáticos. Ele deve sua fama à curiosa consequência de se colocar a mão sobre uma esfera carregada pelo gerador: se a carga for suficientemente alta, é possível que os fios de cabelo do “corajoso” que tocar a esfera fiquem todos eriçados.

Uma das fotos mais conhecidas de experimentos de divulgação científica para o público geral mostra uma jovem de cabelos longos e finos com a mão sobre a esfera metálica e seus cabelos espetados (Fig. 1).

Há diversas razões para o fascínio do público. A eletricidade é fenômeno muito presente no dia-a-dia, mas também muito temida, pois pode ser letal. As crianças logo aprendem com seus pais a ficarem longe das tomadas e, quando adultos, mantêm o medo adquirido na infância.

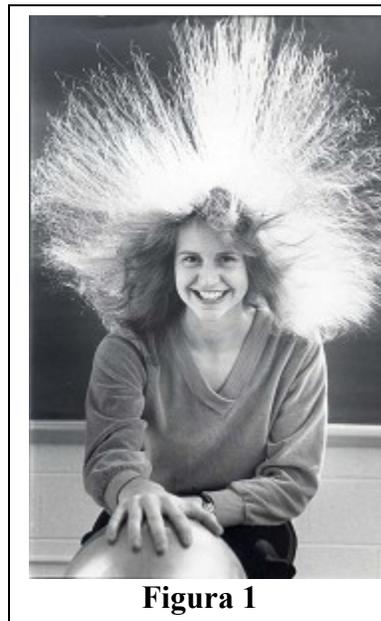


Figura 1

Um dos objetivos da divulgação científica é acabar com muitos mitos e tornar a ciência algo mais tangível ao público leigo. O gerador de Van de Graaff pode conseguir cumprir com esses objetivos. A alta voltagem normalmente é associada a algo ruim e perigoso. As pessoas ficam quase sempre espantadas ao colocar as mãos sobre o globo e não ver nada danoso, mas sim observam o cabelo arrepiar ou uma faísca saltar do dedo ao aproximá-lo da esfera.

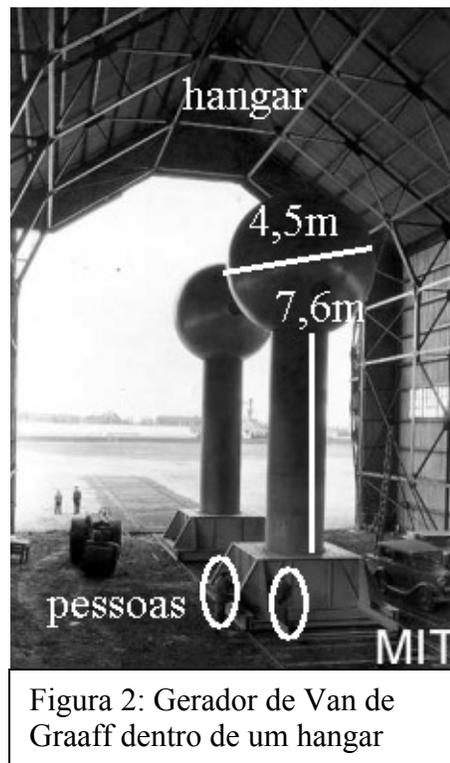
Se essas mesmas pessoas conhecerem o princípio de funcionamento do gerador ficarão ainda mais espantadas. Neste trabalho, utilizando itens que podem ser facilmente adquiridos, foi construído um mini-gerador de Van de Graaff, que faz uso de uma lata de refrigerante em vez de uma grande esfera metálica.

Temos, portanto, um público-alvo bem amplo. Vai desde as crianças e população leiga, sem formação superior ou que têm pouco conhecimento de eletricidade, indo até aqueles com certo conhecimento de fenômenos elétricos, mas que não conheciam o gerador ou não sabiam que poderia se construir um facilmente. O primeiro contato com o princípio de funcionamento de um gerador de Van de Graaff (transferência de cargas) ocorre na infância, quando a criança atrita uma bexiga em seus cabelos. Sendo assim, podem compreender num nível básico qual é a origem de um potencial elétrico tão alto no gerador.

1.2) Breve história

Robert Jemison Van de Graaff (1901-1967) foi um físico americano e construiu o gerador que leva seu nome. Um fato curioso é que Van de Graaff teve aulas de radiação com Marie Curie na Universidade de Sorbonne, em Paris, no período em que esteve lá, entre 1924 e 1925.

Na época, a motivação para construir um gerador de altas voltagens era que físicos experimentais, como Ernest Rutherford, precisavam acelerar partículas a energias suficientemente altas para desintegrar o núcleo atômico. O primeiro gerador, que atingia até 80.000V, foi feito em 1929 na Universidade de Princeton, onde lecionava. Em 1933, já no Massachusetts Institute of Technology, Van de Graaff construiu um gerador muito maior, que podia chegar até 7 milhões de volts, como mostrado na Figura 2.



2) Descrição do Gerador de Van de Graaff

O gerador de Van de Graaff pode ser entendido pelo público leigo da seguinte forma.

2.1) Nível Básico

Um gerador de Van de Graaff é um dispositivo que utiliza uma correia de material isolante (normalmente borracha) para acumular muitas cargas em uma esfera metálica oca. A esfera pode chegar a voltagens da ordem de milhões de volts.

Em nosso caso, faremos apenas um mini-gerador, ou seja, alcançaremos voltagens bem menores e substituiremos a esfera oca por uma lata de refrigerante vazia.

O funcionamento do gerador também pode ser explicado de uma forma mais aprofundada, como descrito abaixo.

2.2) Nível Médio

O endereço <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/electro/electro6.html> serviu de referência para esta seção (veja seção *Pesquisa Realizada*).

O gerador de Van de Graaff construído neste trabalho consiste basicamente de: um terminal de saída (esfera metálica, lata de refrigerante, qualquer material condutor); uma correia de material isolante (borracha); dois roletes; um motor; duas “escovas metálicas”. Esses componentes estão mostrados na Fig. 3.

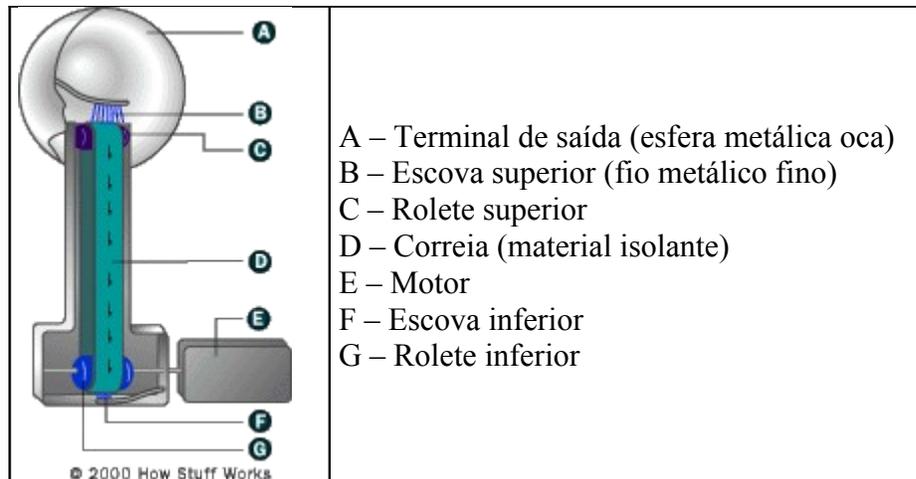


Figura 3: Esquema do gerador de Van de Graaff

Abaixo estão descritas as etapas do funcionamento de um gerador de Van de Graaff, que estão esquematizadas na Fig. 4:

1) Rolete inferior adquire carga por atrito com a correia

Após o motor ser ligado, o rolete inferior começa a rodar a correia. Por atrito, acumula-se carga na borracha. O sinal da carga depende das posições da borracha e do material do rolete inferior na série triboelétrica. Essa série é simplesmente uma lista de materiais ordenados segundo a carga relativa que adquirem quando atritados dois a dois. Para simplificar, vamos supor que seja positiva na correia e negativa no rolete.

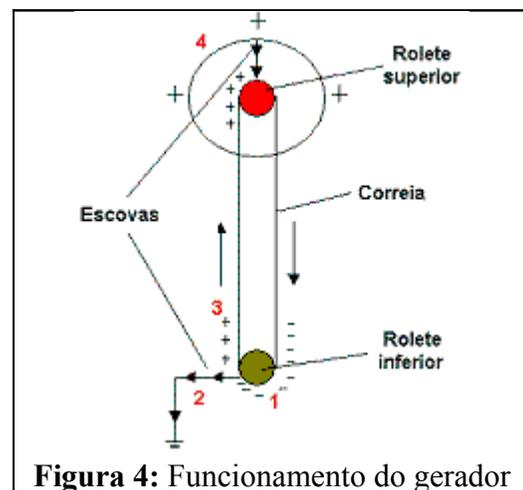


Figura 4: Funcionamento do gerador

2) Surge campo elétrico intenso entre rolete e escova, ionizando o ar

Como a correia é relativamente grande e está em movimento, a concentração de cargas é muito maior no rolete do que na correia. Por causa disso, o campo elétrico do rolete é

muito maior do que o da correia no local onde eles se tocam. Há duas conseqüências importantes devido à grande carga negativa no rolete:

- As cargas negativas (elétrons) do rolete repelem os elétrons próximos das pontas da escova inferior. Isso ocorre, pois a escova é metálica, e os elétrons são bastante móveis em metais, se movendo em direção à outra ponta da escova (conectada ao solo). Assim, a escova inferior fica carregada positivamente.

- Os elétrons do rolete ionizam (retiram elétrons) as moléculas do ar, deixando a região entre o rolete e a escova com elétrons livres e átomos do ar positivamente carregados. Os elétrons do ar são repelidos pelos do rolete e são atraídos pelas cargas positivas da ponta da escova; os átomos positivos do ar são atraídos pelo rolete, que tem carga negativa.

3)Cargas elétricas são transportadas para cima pela correia

Quando os átomos positivos do ar vão em direção ao rolete, entram em contato com a correia, que está na frente. Isso deixa a correia com carga positiva, que é levada para cima, se afastando do rolete inferior.

4)Esfera fica carregada

A correia, carregada positivamente, atrai elétrons para a ponta da escova superior. Novamente, os átomos do ar são ionizados: os elétrons do ar se movem para a correia, e os átomos positivos são atraídos para a escova. Quando um objeto carregado toca o lado de dentro de um material condutor, este irá retirar toda a carga, deixando o objeto neutro. Esse excesso de carga vai para a superfície mais externa do condutor. Portanto, a esfera metálica (ou lata de refrigerante) fica positivamente carregada.

5)Repetição do ciclo

Todo o ciclo repete, porque a correia desce neutra (ou negativamente carregada, dependendo do material do rolete superior). Logo, a esfera metálica ficaria cada vez com mais carga. Mas, como há perdas, existe um limite para a carga da esfera.

Há certas questões que podem surgir para os indivíduos mais curiosos. A compreensão da resposta pode exigir formação de nível superior. A seção abaixo é de leitura opcional, pois explica somente por que não ocorre transferência de cargas sempre que dois materiais estão em contato.

2.3) Nível de Graduação

O endereço <http://science.howstuffworks.com/vdgl.htm> serviu de referência para esta seção (veja seção *Pesquisa Realizada*).

Um ponto que pouco se comenta é que as cargas eletrostáticas não são causadas diretamente pelo atrito. Mas o que acontece então quando atritamos uma bexiga nos cabelos? O fenômeno em questão é a adesão. Uma força química, de natureza elétrica, que

aparece quando dois materiais estão em contato. Dependendo das propriedades triboelétricas dos materiais, um deles poderá capturar elétrons do outro. Ao serem separados, ambos ficarão eletricamente carregados.

Surge então uma nova questão: por que esse fenômeno não é observado sempre que dois materiais estão em contato? Há dois fatores importantes:

- A quantidade de carga depende dos materiais envolvidos e da área superficial de contato. Mas deve ser notado que todas as superfícies apresentam certa rugosidade, o que diminui a área superficial de contato, diminuindo a diferença de cargas.
- A umidade contribui para diminuir a diferença de cargas. Isso ocorre, pois a água do ar recobre a superfície dos materiais, resultando em um caminho de baixa resistência elétrica, que permite que as cargas se recombinem, neutralizando a diferença de cargas. Por outro lado, se a umidade é muito baixa, a carga pode atingir valores relativamente altos (gerando até alguns milhares de volts).

Em vista do exposto, o atrito é basicamente uma força de resistência ao deslocamento devido à adesão dos materiais. Ao se atritar dois materiais para acumular carga em ambos, o que ocorre é o aumento da área superficial de contato entre os materiais, permitindo uma maior troca de cargas.

3) **Montagem do experimento**

Os materiais necessários para a construção do mini-gerador de Van de Graaff são:

- 1 lata de refrigerante vazia e sem a tampa superior
- 1 prego pequeno ou eixo de aço
- 1 fita de borracha (não pode ser preta) de 1,5cm (largura) x 20cm (comprimento)
- 1 fusível de vidro 500mA ou um cilindro oco de plástico
- 1 pequeno motor DC (em torno de 3V)
- Alimentação DC (pilhas ou fonte de alimentação ajustável)
- 1 conexão “T” de PVC de 3/4” marrom
- 1 luva de PVC de 3/4”
- 20 cm de tubo de PVC de 3/4”
- 20 cm de fio de luz flexível, de diâmetro $\approx 3\text{mm}$
- 40 cm de fio encapado (cabinho 22) flexível
- 1 base de madeira de $2 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$
- 1 pedaço de madeira (pode ser lápis comum)
- Cola quente ou cola para tubos PVC, cola SuperBonder®
- furadeira, broca, serra, alicate, tesoura, fita adesiva, flanela

Alguns dos materiais adquiridos estão mostrados na Fig. 5.: lata de refrigerante sem a tampa superior, pequeno motor DC (proveniente de um drive de CD-ROM antigo), conexão

“T” de PVC de $\frac{3}{4}$ ”, luva de PVC de $\frac{3}{4}$ ”, 30 cm de tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ ”, base de madeira de $1 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$.

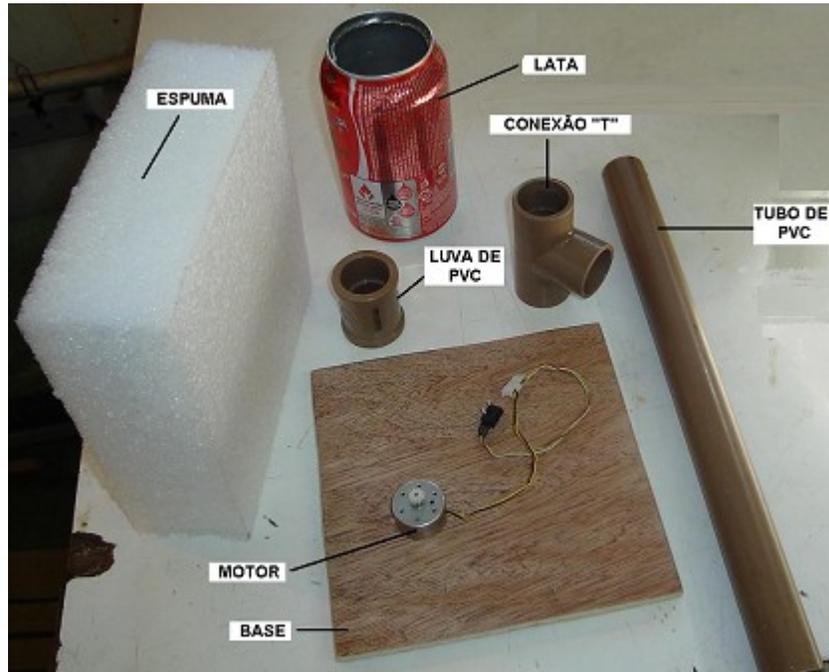


Figura 5: Componentes para a construção do mini-gerador de Van de Graaff

A Fig. 6-A mostra a parte externa do gerador de Van de Graaff quase toda montada. Para a montagem da parte externa, foi cortado em torno de 10 cm do tubo de PVC (seu tamanho depende do tamanho da correia de borracha que será utilizada). Uma das pontas do tubo foi encaixada na conexão “T”, e a outra, na luva de PVC. Foram cortados três pedaços de espuma em forma de “L” para que se ajustassem à luva e que tivessem a espessura adequada para prender a lata por sua parte aberta.

O motor se encaixa muito bem na conexão “T”, e pode ser fixado com qualquer tipo de enchimento e fita isolante para suporte. O rolete inferior constitui-se de um pedaço de madeira lixada, com um furo de 2mm para encaixe no eixo do motor, e com uma tira de feltro colado sobre ele, cercando toda a madeira (Fig. 6-C).

Já o rolete superior foi construído com um prego e um cilindro oco de plástico (Fig. 6-B). Foi testado também um pequeno vidro de perfume, cujo formato é parecido com o de um fusível, mas ele foi descartado. Devido à fragilidade do vidro, talvez a pressão da borracha sobre ele somada a sua movimentação pudessem quebrar o vidro e estragar o experimento (tal fato foi citado na referência [1] – seção *Pesquisa Realizada*).

Deve ser feito um buraco no “T” de PVC para a passagem do fio inferior e três furos na luva de PVC (dois para a passagem do prego, que foi preso com uma rolha, e um para a passagem do fio superior). Internamente, os fios devem estar desencapados e com seus fios de cobre internos separados (Fig. 6-D).

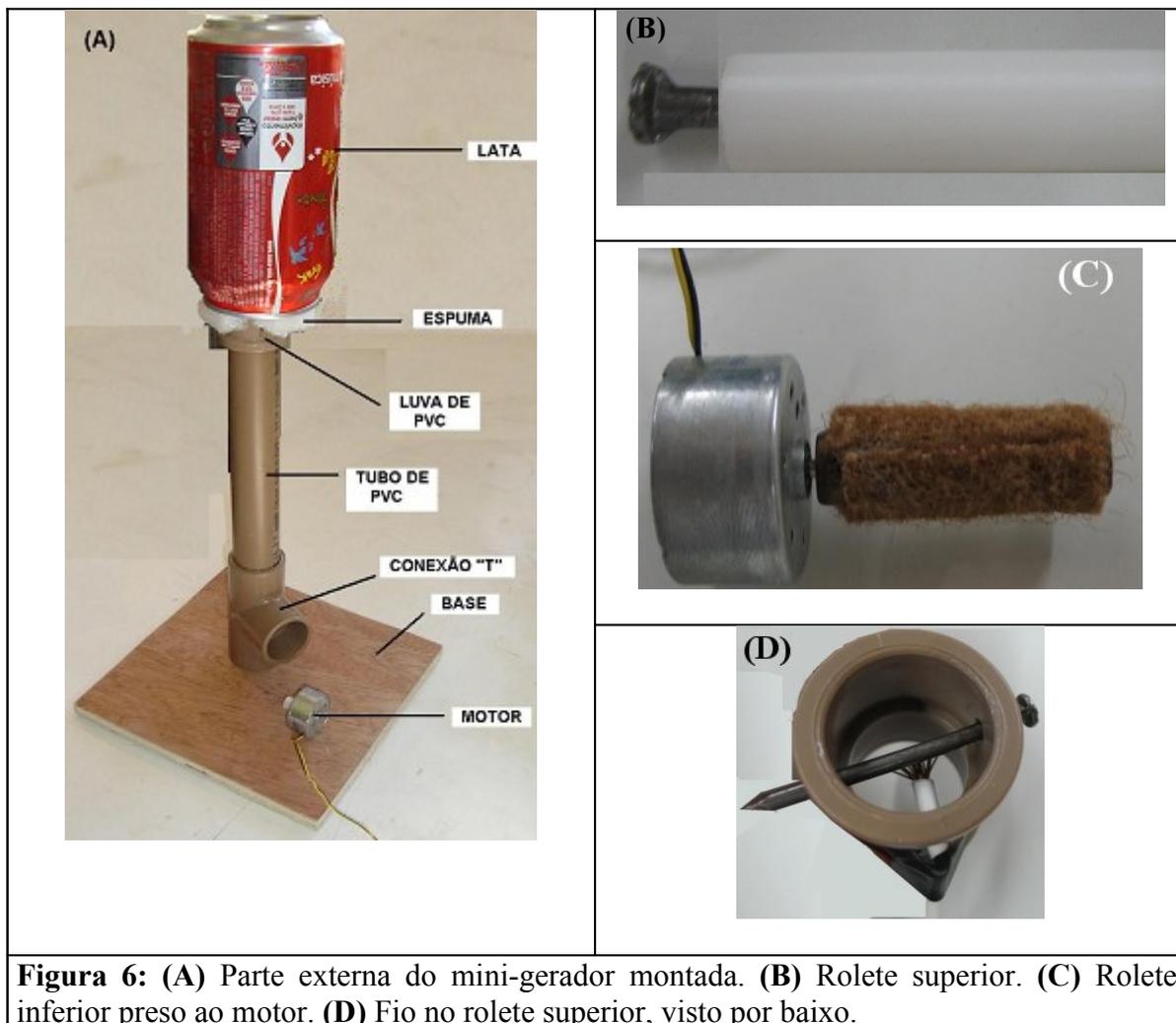


Figura 6: (A) Parte externa do mini-gerador montada. (B) Rolete superior. (C) Rolete inferior preso ao motor. (D) Fio no rolete superior, visto por baixo.

A correia de borracha foi feita a partir da parte do pulso de uma luva daquelas utilizadas em limpeza pesada, como por lixeiros. Simplesmente cortou-se uma largura de 1,5cm da parte do pulso da luva. A correia está mostrada na Fig. 8.

Para a montagem final, basta colar o “T” de PVC na base de madeira com cola quente, prender a borracha nos roletes inferior e superior e fixar os fios. A Fig. 7 mostra como devem ser feitas as ligações internamente, e a Fig. 9 mostra a parte externa. A extremidade livre do fio inferior deve ser ligada ao terra.

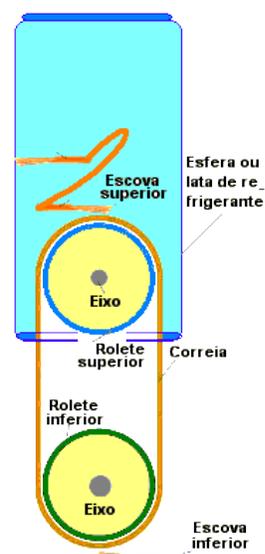


Figura 7: Vista do interior do gerador

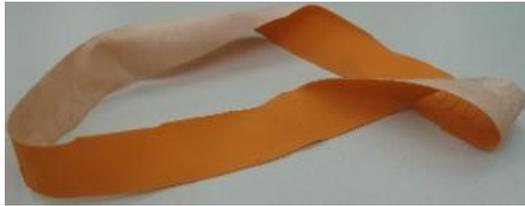


Figura 8: Correia de borracha

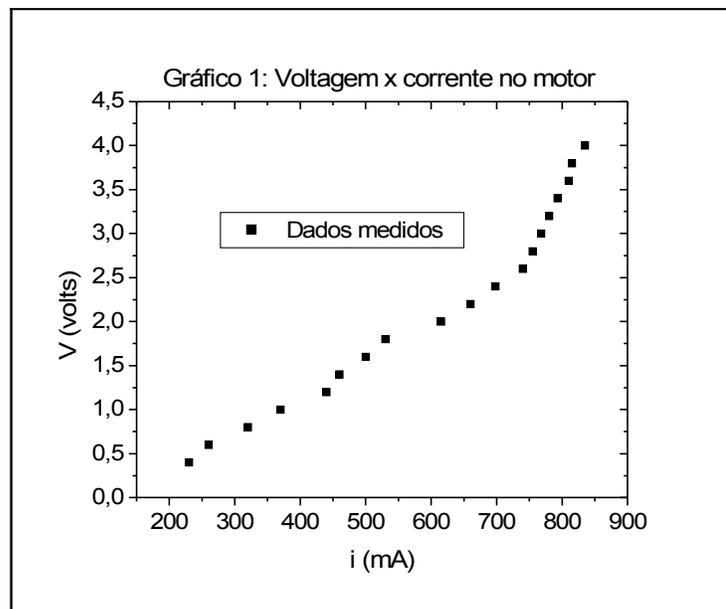


Figura 9: Mini-gerador de Van de Graaff

Para que tenhamos uma idéia da resposta do motor à tensão aplicada, foram feitas medidas da corrente no motor em função aplicada. A Tabela 1 mostra os dados obtidos, e o Gráfico 1 mostra os dados da Tabela 1. Nota-se que a corrente atinge valores muito altos, de quase 1.000mA. Foram feitas medidas para até 4,0V, pois o motor passava a girar muito rápido e a esquentar muito. Provavelmente, ele seria danificado para voltagens maiores.

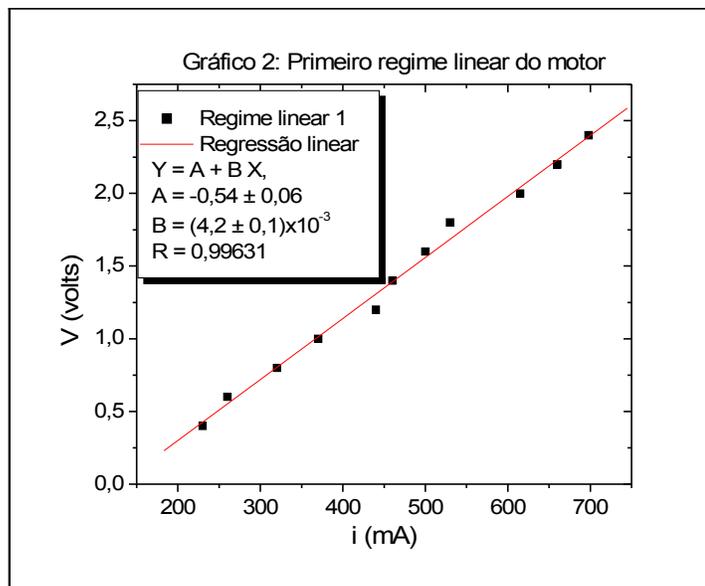
Tabela 1

V (V)	I (mA)
0,4	230
0,6	260
0,8	320
1,0	370
1,2	440
1,4	460
1,6	500
1,8	530
2,0	615
2,2	660
2,4	698
2,6	740
2,8	755
3,0	768
3,2	780
3,4	793
3,6	810
3,8	815
4,0	835

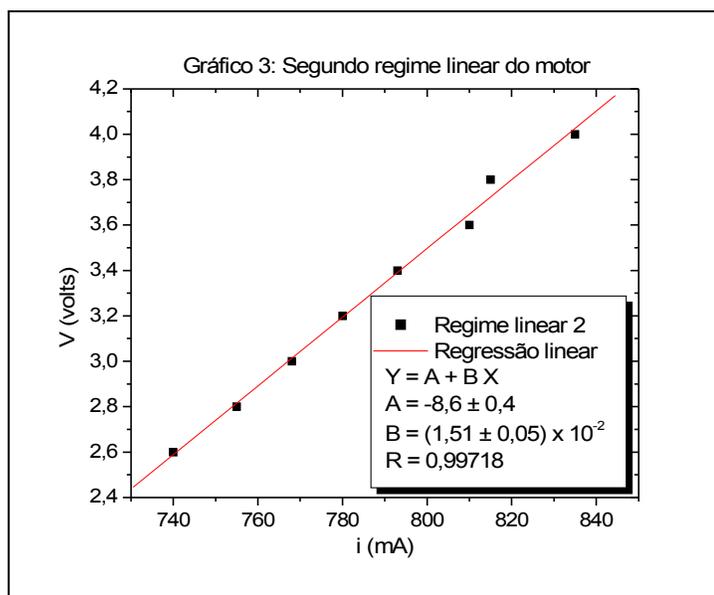


Pode-se observar no Gráfico 1 que há aproximadamente dois regimes de linearidade para o motor: de zero a 2,4V, e de 2,6V a 4,0V. Por isso, foram feitos outros dois gráficos (Gráficos 2 e 3), um para cada regime.

O Gráfico 2 mostra que o motor segue a primeira lei de Ohm ($U=RI$, onde U é a voltagem aplicada, R é a resistência, e I é a corrente) para voltagens de 0 a 2,4V. O ajuste foi muito bom, pois o coeficiente de correlação R do ajuste é 0,99631. Pela regressão linear, encontrou-se uma resistência de $4,2 \times 10^{-3} \Omega$. Essa baixa resistência do motor faz com que as correntes tenham valores altos.



O Gráfico 3 mostra o segundo regime de linearidade entre voltagem aplicada e corrente. Novamente, o ajuste a uma reta foi muito bom (coeficiente de correlação $R=0,99718$), mostrando que o motor segue a primeira Lei de Ohm. Mas, nesse caso, a resistência é de $1,51 \times 10^{-2} \Omega$, ou seja, um valor em torno de 3,6 vezes maior.



Esse pequeno motor tem um torque muito baixo, mas uma rotação alta. Além disso, ele consome muita corrente. Essas características se devem ao fato de que esse motor é responsável por abrir e fechar a gaveta do *drive* de CD-ROM. Logo, ele funciona por períodos muito curtos e não precisa ter muito torque, devido ao sistema de engrenagens que existe dentro do *drive*.

Após a montagem completa, o aparato funciona: o motor faz a correia de borracha girar sobre os roletes para voltagens em torno de 2V. Para preservar o motor, deve-se utilizar voltagens de até 4V. Por isso, escolheu-se 3V para manter o motor girando.

A carga acumulada na lata foi muito pequena, sendo suficiente para atrair um fio de barbante. Isso pode ocorrer devido a diversos motivos. As perdas de carga em um equipamento construído dessa forma são muito grandes. Essas perdas ocorrem da borracha para o rolete inferior, pois a borracha recobre apenas uma porção do rolete, além de ter algumas imperfeições.

Também há perdas da correia de borracha para o eixo do rolete superior, que é um material condutor. Além disso, as escovas inferior e superior podem não estar posicionadas adequadamente para gerar um campo elétrico no ar entre a borracha e a escova.

No geral, pode-se dizer que o mini-gerador de Van de Graaff foi construído com sucesso, pois se notou um acúmulo de carga na lata.

5) Comentários do orientador

Meu orientador, Prof. Richard Landers realizou os seguintes comentários:

“NÃO TEM COMENTÁRIOS”

6) Comentários do coordenador

Projeto

“Projeto aprovado. Lembre de comentar cada referência no RP.” (03/04/2007, 20:18:35)

Relatório Parcial

“RP aprovado, nota 10.” (16/05/2007, 21:54:42)

7)

Pesquisa Realizada

Para encontrar as referências, buscou-se primeiramente na internet, que é o meio de mais rápida aquisição de informações. Percebeu-se que nem todas as referências citadas no *Projeto* eram necessárias, servindo apenas como informações adicionais. Como elas não são essenciais para a compreensão do funcionamento do gerador de Van de Graaff, além de ocuparem muito espaço como anexos, foi decidido listar somente as referências essenciais, cujos conteúdos estão em anexo.

Para consulta rápida de livros, foi utilizado um serviço do portal Google, que permite a visualização de alguns livros que foram digitalizados (<http://books.google.com>).

As palavras-chave empregadas na busca foram: "van de graaff", gerador ou "generator", refrigerante ou "soda" (refrigerante em inglês).

Com isso, foi possível encontrar uma boa referência no serviço de livros do Google: *Field, S.Q. Gonzo Gizmos: Projects & Devices to Channel Your Inner Geek, Chicago Review Press, 2003.*

Já no serviço comum de buscas (<http://www.google.com>), encontraram-se alguns endereços e, coincidentemente, um deles ([2]) tinha o mesmo conteúdo do livro citado acima, além de ter mais fotografias explicativas.

Nas páginas a seguir, está copiado da internet o conteúdo de todos os endereços citados como referência.

[1] http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_49.asp (acessado em 12/06/2007)

Excelente endereço da internet para instruções detalhadas de como fazer experimentos de Física para ensino, ou mesmo diversão. Será utilizado como guia na montagem do mini-gerador deste trabalho.

[2] <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/electro/electro6.html> (acessado em 12/06/2007)

Endereço em inglês muito semelhante ao anterior. Dá algumas instruções um pouco mais detalhadas sobre a montagem, além de fornecer boas explicações sobre o funcionamento do gerador de Van de Graaff.

[3] <http://science.howstuffworks.com/vdg1.htm> (acessado em 12/06/2007)

Esta referência fornece uma ótima explicação sobre o funcionamento do gerador. O domínio <http://science.howstuffworks.com/> é um ótimo lugar para se compreender o muitos assuntos, desde como o laser funciona até como varia o preço da gasolina.

- 7.1) http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_49.asp
(acessado em 12/06/2007)

Mini gerador de Van de Graaff

Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Muitos de nossos projetos requerem um alto potencial elétrico para seu funcionamento. As máquinas destinadas à produção de tais potenciais elétricos são os geradores eletrostáticos, dentre os quais citamos o gerador de Van de Graaff, a máquina eletrostática de Whimshurst, o eletróforo de Volta, a 'técnica do liga-desliga TV', entre outros modelos e variantes desses processos. Vários desses equipamentos já foram por nós abordados nessa Sala 11 (Eletrostática) e na Sala 22 (Motores Gerais).

Nesse projeto vamos construir, passo a passo, um mini-gerador de Van de Graaff que poderá produzir cerca de 15 000 volts em uma lata de refrigerante vazia. É um projeto modesto (e de baixo custo), porém capaz de produzir faíscas de 3 a 4 cm no dedo que se aproximar da lata de refrigerante 'carregada'. Tal faísca, pelo efeito de pele, é bastante inocente, não mais perigosa que aquela que poderá saltar de seus dedos para uma maçaneta após você ter atritado seus pés num tapete.

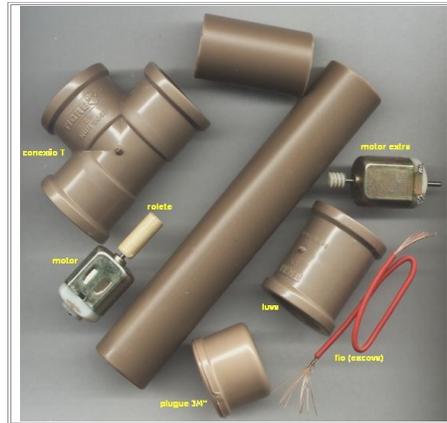
Usamos da lata de refrigerante por, além de sua facilidade de obtenção, não apresentar 'pontas' ou 'quinas' salientes as quais facilitariam o escoamento de cargas para o ambiente mas, sem dúvida, poderá ser substituída (com vantagens) por uma cúpula metálica esférica típica dos geradores tipo Van de Graaff.

Material

- 1 lata de refrigerante vazia (sem a tampa superior)
- 1 prego pequeno ou eixo de aço (cerca de 4 cm)
- 1 fita de borracha (vermelha ou laranja) de 1,5 cm (largura) x 20 cm (comprimento)
- 1 fusível de vidro 500 mA, comum em equipamento eletrônico
- 1 pequeno motor DC para 1,5 ou 3,0 volts ('extraído' de um carrinho de brinquedo)
- 2 pilhas e seu porta-pilhas
- 1 conexão "T" de PVC, 3/4", marrom (para instalações hidráulicas)
- 1 luva de PVC de 3/4"
- 20 cm de tubo de PVC marrom de 3/4"
- 20 cm de fio de luz, flexível, diâmetro 2 ou 3 mm
- 40 cm de fio encapado (cabinho 22) flexível
- 1 base de madeira de (2 x 10 x 15) cm
- 1 pedaço de lápis comum
- Cola quente ou cola para tubos PVC
- Furadeira, broca, serra, alicate, tesoura, fita adesiva, flanela etc.

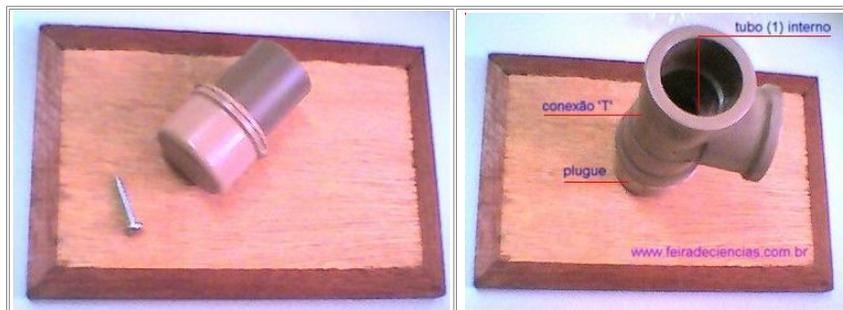
Visual do material

Vejam um visual geral de parte desse material que, à primeira vista, pode parecer algo complicado mas que, na verdade, poderá ser reunido facilmente em um par de horas.



Montagem

Vamos começar a coisa de baixo para cima. Para tanto, dê uma boa lixada na placa de madeira de (2x20x20) cm, que será a base de apoio do nosso GVDG e marque o centro dessa tábua. Corte 6 cm de tubo de PVC de 3/4" e fixe-o bem perpendicularmente ao centro dessa tábua. Poderá usar cola quente, superbonder ou qualquer outra técnica que permita a boa fixação desse tubinho (1) na base de madeira. Uma boa opção é colar no tubinho um plugue (tampão) de 3/4" e aparafusar esse plugue na base; eis, à esquerda, o visual dos componentes dessa opção (que é a por mim adotada) :



Esse tubinho (1) é quem sustentará o GVDG e permitirá sua remoção para trocar a correia (ilustração acima, à direita) e outros eventuais ajustes (para tanto bastará retirar a conexão T que será encaixada nesse tubinho).

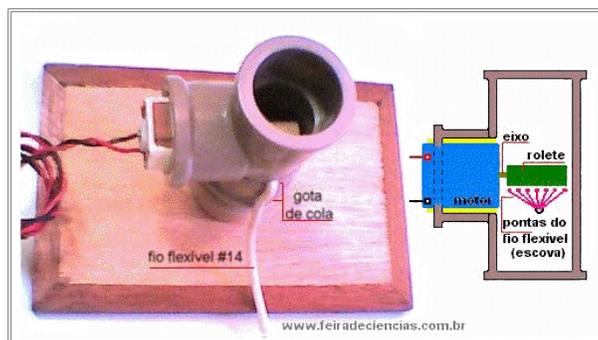
Preparemos a unidade motora. Para tanto separe, com um serra de dentes finos, um cilindro de lápis de cerca de 2 cm de comprimento. Esse cilindro será o rolete inferior do gerador e deverá ser recoberto com uma camada de tecido (pode ser de feltro, pano de guarda-chuva, cetim etc.); basta passar um pouquinho de cola do cilindro e enrolar o pano (depois de seco faça os cortes para retirar as rebarbas).

Espete esse cilindro de toco de lápis no eixo do motor (use um 'nadinha' de cola se não conseguir uma boa fixação); para isso empurre o grafite para fora. Esse motor + rolete deverá ser fixado no 'pé do T" da conexão de PVC de 3/4" (ele deverá ficar fixado, bem firme, nesse orifício central da conexão; use fita isolante ao redor do motor para ajustar seu diâmetro ao diâmetro interno do T ou outra técnica).

Eis como estamos:



O próximo passo é fazer a escova inferior do gerador. Para tanto, com furadeira e broca, faça um furo na lateral da conexão T, imediatamente abaixo do rolete, suficiente para passar o plástico que recobre o fio de luz, flexível, de 2 ou 3 mm de diâmetro. Descasque cerca de 1 cm numa extremidade desse fio e espalhe os fiozinhos internos desse fio fazendo uma espécie de vassourinha da largura do rolete inferior do gerador; corte esse fio flexível numa extensão de uns 10 cm; espete esse fio de dentro do T para fora, de forma que a vassourinha fique bem sob o rolete --- sem encostar nele! Cole o fio no orifício para bem fixá-lo na posição devida (ou use fita adesiva para prende-lo). Estamos algo assim:



A seguir, deveremos cortar outro pedaço de tubo de PVC de 3/4" que será encaixado no buraco superior da conexão T o qual suportará, por sua vez, a luva de PVC de 3/4", que conterá o rolete superior e o prego, onde girará a tira de borracha. Corte o tubo de água de 3/4" para que fique com cerca de 6 cm de comprimento (lixe para ajusta-lo na conexão T e luva). Com a broca e furadeira faça um furo que atravesse de lado a lado, ao longo do diâmetro, a luva de PVC, a uns 1,5 cm da extremidade superior (o diâmetro desse furo deve permitir, com certa folga, a passagem do prego). Inicialmente usei um prego 12x12, depois troquei por um eixo de aço. Eis à esquerda das ilustrações abaixo, os novos componentes da montagem e, à direita a visão dos trabalhos até o momento:



Agora é hora de ajustar a correia, ou seja, a tira de borracha, que deve passar pela polia inferior (toco de lápis recoberto com feltro) e pelo prego (sem estar demais apertada a ponto de travar o funcionamento do motor). Desse arranjo deverá sair o comprimento adequado da correia. Um tubinho de plástico rígido recobrindo o prego, permitirá um deslizar mais suave para a correia. Deve-se dar preferência para um tubinho de vidro retirado de um fusível já queimado (veja notas abaixo). Para retirar as partes metálicas desse fusível basta aquecer fortemente as extremidades metálicas (com a ponta de um soldador) e puxa-las com alicate.

Logo acima do prego (coisa de 3 mm) deverá ser feito outro orifício na lateral da luva (no lado 'perpendicular' ao eixo) para passar o fio da escova superior, do mesmo modo que foi feito com a escova inferior. A extremidade livre desse fio, do lado de fora da luva de PVC, deverá encostar no interior da lata de refrigerante (a lata de refrigerante é uma das opções para fazer a cúpula do mini-gerador de Van de Graaff). Estamos assim:



Nota 1: O rolete superior pode ser feito do mesmo pedaço de lápis usado para fazer o rolete inferior. Corte um pedaço de 2 cm e retire a mina de grafite.

Nota 2: A tira de borracha amarela tem 1,5 cm de largura e as extremidades foram coladas diretamente uma contra a outra (sem superposição), usando cola epoxi -- superbonder, marca registrada da Loctite. Use fita adesiva 'durex' para segurar juntas as extremidades, na fase de colagem.

Nota 3: Na foto acima não mostramos a escova superior. Não vá esquecer dela! Veja foto abaixo.

Nota 4: A tira de borracha (já em forma de correia) é enfiada pela luva e abraça a polia inferior; a seguir será sustentada pelo prego (e pelo tubo de vidro ou rolete superior). Usando o tubo de vidro, o prego servirá de mancal e usando o cilindro de lápis a luva servirá de mancal para o eixo de aço.

Retire a tampa superior da lata de refrigerante (cuidado com as rebarbas). Eu, particularmente, uso de uma lixadeira vertical para extrair essa tampa superior. Basta encostar a 'boca' da lata na lixadeira e 'comer' cerca de 1/2 mm do material. Depois ... lixa d'água.

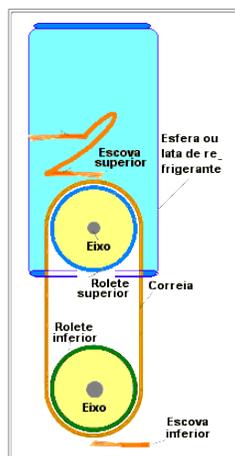


Vamos 'fixar' a lata (cúpula) na nossa 'torre'. O diâmetro externo da luva de 3/4" é de cerca de 3 cm e o diâmetro da boca da lata de refrigerante é coisa de 5,2 cm, logo, $5,2 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 2,2 \text{ cm}$. Metade disso será a folga entre a boca da lata e a luva. Vamos preencher isso com 'quadrinhos' de borracha (dessa comum, de apagar os erros feitos à lápis). Assim, para ficar um pouco apertado, você vai precisar de 4 'quadrinhos' de borracha de 1,2 cm para colocar entre a borda interna da boca da lata e a luva. E, finalmente, nosso mini-gerador de Van de Graaff!



Agora é só colocar para funcionar. Coloque duas pilhas no porta-pilhas e ligue aos fios vermelho e preto do motor. O ideal é usar uma fonte de alimentação ajustável de 0 --- 6 ou 0 -- 12 VDC e ajustar a tensão para o melhor ponto de funcionamento. Ligue a escova inferior, fio branco da foto acima, num ponto de terra (pode ser o mesmo terra da fonte de alimentação) como, por exemplo, uma janela metálica.

O 'esquema' do mini-gerador, para que você possa explicar o funcionamento em sua Feira de Ciências é:



Divirta-se! Ah! não esqueça de cobrir o rolete inferior com flanela (usei aquele tecido verde típico de mesa de bilhar).

Sugestões recebidas via e-mail:

De Vivian Vidal Salles, recebi mensagens relativas à montagem desse projeto e, dentre elas, a dificuldade de encontrar a tal 'borracha vermelha'. Logo ela encontrou a solução; reproduzo sua mensagem e as fotos que enviou (e autorização para publicação). Meus agradecimentos à Vivian.

"Oii...td bomm? Era a correia sim o problema desse gerador. Liguei para várias borracharias e para a Casa da Borracha e ninguém tinha o que eu precisava (borracha amarelada). Assim, não tendo mais nenhuma alternativa, sabe aquelas toucas de natação de silicone, então fiz a correia com isso e deu certo. Porém, o motor gira com maior facilidade e já quebrei 2 vidros fusíveis "brincando" com a experiência. Tem alguma forma para tentar não quebrar o fusível? Valeu.... Segue fotos ... Vivian."

NOTA: Vivian já recebeu a mensagem de retorno; exponho aqui: colocar um rolete (como o inferior) no lugar do vidro de fusível. Use um pedaço de lápis, retire o grafite e substitua esse por um prego (ou eixo de arame duro).

7.2) <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/electro/electro6.html>
(acessado em 12/06/2007)

In the previous two projects, we stole high voltage from a television set to power our high voltage motors. In this project we will build a device that can generate 12,000 volts from an empty soda can and a rubber band. The device is called a Van de Graaff generator. Science museums and research facilities have large versions that generate potentials in the hundreds of thousands of volts. Ours is more modest, but is still capable of drawing 1/2 inch sparks from the soda can to my finger. The spark is harmless, and similar to the jolt you get from a doorknob after scuffing your feet on the carpet. To build the toy, you need:

- An empty soda can
 - A small nail
 - A rubber band, 1/4 inch by 3 or 4 inches
 - A 5x20 millimeter GMA-Type [electrical fuse](#) (such as Radio Shack #270-1062)
 - A small [DC motor](#) (such as Radio Shack #273-223)
 - A battery clip (Radio Shack #270-324)
 - A battery holder (Radio Shack #270-382)
 - A styrofoam cup (a paper cup will also work)
 - A hot glue gun (or regular glue if you don't mind waiting)
 - Two 6 inch long stranded electrical wires (such as from an extension cord)
 - Two pieces of 3/4 inch PVC plumbing pipe, each about 2 or 3 inches long
 - One 3/4 inch PVC coupler
 - One 3/4 inch PVC T connector
 - Some electrical tape
-
- A block of wood

That sounds like a lot of stuff, but take a look at the step-by-step photos below, and you will find that the whole project can easily be put together in an evening, once all the parts have been collected.

We'll start at the bottom, and work our way up.



The first thing to do is to cut a 2 to 3 inch long piece of 3/4 inch PVC pipe, and glue that to the wooden base. This piece will hold the generator up, and allow us to remove it to more easily replace the rubber band, or make adjustments.

The PVC "T" connector will hold the small motor. The motor fits too loosely by itself, so we wrap paper or tape around it to make a snug fit. The shaft of the motor can be left bare, but the generator will work a little better if it is made fatter by wrapping tape around it, or (better) putting a plastic rod with a hole in the center onto the shaft to act as a pulley for the rubber band.

Next, we drill a small hole in the side of the PVC "T" connector, just under the makeshift pulley on the motor. This hole will be used to hold the lower "brush", which is simply a bit of stranded wire frayed at the end, that is *almost* touching the rubber band on the pulley.

As the photo shows, the stranded wire is held in place with some electrical tape, or some other tape or glue.

The rubber band is now placed on the pulley, and allowed to hang out the top of the "T" connector. 



Next, cut another 3 or 4 inch piece of 3/4 inch PVC plumbing pipe. This will go into the top of the "T" connector, with the rubber band going up through it. Use the small nail to hold the rubber band in place, as in the photo below. The length of the PVC pipe should be just enough to fit the rubber band. The rubber band should not be stretched too tightly, since the resulting friction would prevent the motor from turning properly, and increase wear on the parts. 



Cut the styrofoam cup about an inch from the bottom, and carefully cut a 3/4 inch diameter hole in the center of the bottom of the cup. This hole should fit snugly onto the 3/4 inch PVC pipe. 



Now drill three holes near the top of the PVC union coupling. Two of these holes need to be diametrically opposite one another, since they will hold the small nail which will act as an axle for the rubber band. The third hole is between the other two, and it will hold the top "brush", which, like the bottom brush, will almost touch the rubber band. 

The top brush is taped to the PVC union coupler, and the coupler is placed on the 3/4 inch pipe, above the styrofoam cup collar. The rubber band is threaded through the coupler, and held in place with the small nail, as before. 

Bare the top brush (so it has no insulation) and twist it to keep the individual wires from coming apart. You can solder the free end if you like, but it is not necessary. 

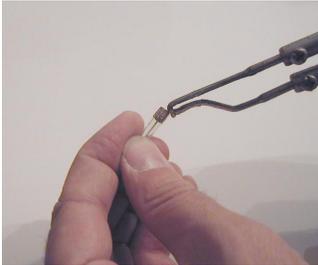
The free end of the top brush will be curled up inside the empty soda can when we are done, and thus electrically connect the soda can to the top brush. 



We need a small glass tube to act as both a low-friction top pulley, and as a "triboelectric" complement to the rubber band, to generate static electricity by rubbing. Glass is one of the best materials to rub against rubber to create electricity. 🧪

We get the tube by taking apart a small electrical fuse. The metal ends of the fuse come off easily if heated with a soldering iron or a match. The solder inside them drips out when they come off, so be careful. The glass, the metal cap, and the molten solder are all quite hot, and will blister the skin if you touch them before they cool.

Save the metal caps -- we will use them in a future project! 🧪



The resulting glass tube has nice straight, even edges, which are "fire polished" for you, so there is no sharp glass, and no uneven edges to catch on the PVC and break the glass. 🧪

The next step is a little tricky. The small nail is placed through one of the two holes in the PVC union coupler, and the small glass tube is placed on the nail. Then the rubber band is placed on the glass tube, and the nail is then placed in the second hole. The rubber band is on the glass tube, which is free to rotate around the nail. 🧪



Now we glue the styrofoam collar in place on the PVC pipe. I like to use a hot glue gun for this, since the glue can be laid on thickly to stabilize the collar, and it sets quickly and does not dissolve the styrofoam. 🧪



At this point we are ready for the empty soda can. Aluminum pop-top cans are good for high voltage because they have nice rounded edges, which minimizes "corona discharge".

With a sharp knife, carefully cut out the top of the soda can. Leave the nice crimped edge, and cut close to the side of the can so as to leave very little in the way of sharp edges. You can smooth the cut edge by "stirring" the can with a metal tool like a screwdriver, pressing outward as you stir, to flatten the sharp edge.

Tuck the free end of the top brush wire into the can, and invert the can over the top of the device, until it rests snugly on the styrofoam collar.



The last step is to attach the batteries. I like to solder a battery clip to the motor terminals, and then clip this onto either a nine-volt battery, or a battery holder for two AA size batteries. The nine-volt battery works, but it runs the motor too fast, making a lot of noise, and risking breakage of the glass tube. It does, however, make a slightly higher voltage, until the device breaks.



To use the Van de Graaff generator, simply clip the battery to the battery clip. If the brushes are very close to the ends of the rubber band, but not touching, you should be able to feel a spark from the soda can if you bring your finger close enough. It helps to hold onto the free end of the bottom brush with the other hand while doing this.



To use our generator to power the Franklin's Bells we built in the previous section of the book, clip the bottom brush wire to one "bell", and attach a wire to the top of the generator, connecting it to the other "bell".
The pop-top clapper of the Franklin's Bells should start jumping between the soda cans. It may need a little push to get started.



HOW DOES IT DO THAT?

You may have at one time rubbed a balloon on your hair, and then made the balloon stick to the wall. If you have never done this, try it!
The Van de Graaff generator uses this trick and two others to generate the high voltage needed to make a spark.



THE FIRST TRICK

When the balloon made contact with your hair, the molecules of the rubber touched the molecules of the hair. When they touched, the molecules of the rubber attract electrons from the molecules of the hair. Then you take the balloon away from your hair, and some of those electrons stay with the balloon, giving it a negative charge.

The positive wall attracts the negative balloon with enough force to keep it stuck to the wall.

If you collected a bunch of different materials and touched them to one another, you could find out which ones were left negatively charged, and which were left positively charged.

You could then take these pairs of objects, and put them in order in a list, from the most positive to the most negative. Such a list is called a *Triboelectric Series*. The prefix *Tribo-* means "to rub".



THE TRIBOELECTRIC SERIES

**Most positive
(items at this end lose electrons)**

- asbestos
- rabbit fur
- glass
- hair
- nylon
- wool
- silk
- paper
- cotton
- hard rubber
- synthetic rubber
- polyester
- styrofoam
- orlon
- saran
- polyurethane
- polyethylene
- polypropylene
- polyvinyl chloride (PVC pipe)
- teflon
- silicone rubber

**Most negative
(items at this end steal electrons)**

Our Van de Graaff generator uses a glass tube and a rubber band. The rubber band steals electrons from the glass tube, leaving the glass positively charged, and the rubber band negatively charged.

THE SECOND TRICK

The triboelectric charging is the first trick. The second trick involves the wire brushes.

When a metal object is brought near a charged object, something quite interesting happens. The charged object causes the electrons in the metal to move. If the object is charged negatively, it pushes the electrons away. If it is charged positively, it pulls the electrons towards it. 

Electrons are all negatively charged. Because like charges repel, and electrons are all the same charge, electrons will always try to get as far away from other electrons as possible. 

If the metal object has a sharp point on it, the electrons on the point are pushed by all of the other electrons in the rest of the object. So on a point, there are a lot of electrons pushing from the metal, but no electrons pushing from the air. 

If there are enough extra electrons on the metal, they can push some electrons off the point and into the air. The electrons land on the air molecules, making them negatively charged. The negatively charged air is repelled from the negatively charged metal, and a small wind of charged air blows away from the metal. This is called "corona discharge", because the dim light it gives off looks like a crown. 

The same thing happens in reverse if the metal has too few electrons (if it is positively charged). At the point, all of the positive charges in the metal pull all the electrons from the point, leaving it very highly charged. 

The air molecules that hit the metal point lose their electrons to the strong pull from the positive tip of the sharp point. The air molecules are now positive, and are repelled from the positive metal. 

THE THIRD TRICK

There is one more trick the Van de Graaff generator uses. After we understand the third trick, we will put all

of the tricks together to see how the generator works. 📡

We said earlier that all electrons have the same charge, and so they all try to get as far from one another as possible. The third trick uses the soda can to take advantage of this feature of the electrons in an interesting way. 📡

If we give the soda can a charge of electrons, they will all try to get as far away from one another as possible. This has the effect of making all the electrons crowd to the outside of the can. Any electron on the inside of the can will feel the push from all the other electrons, and will move. But the electrons on the outside feel the push from the can, but they do not feel any push from the air around the can, which is not charged. 📡

This means that we can put electrons on the inside of the can, and they will be pulled away to the outside. 📡

We can keep adding as many electrons as we like to the inside of the can, and they will always be pulled to the outside. 📡

📡

PUTTING ALL THREE TRICKS TOGETHER

📡

So now let's look at the Van de Graaff generator with our three tricks in mind. 📡

The motor moves the rubber band around and around. The rubber band loops over the glass tube and steals the electrons from the glass. 📡

The rubber band is much bigger than the glass tube. The electrons stolen from the glass are distributed across the whole rubber band. 📡

The glass, on the other hand, is small. The negative charges that are spread out over the rubber band are weak, compared to the positive charges that are all concentrated on the little glass tube. 📡

The strong positive charge on the glass attracts the electrons in the wire on the top brush. These electrons spray from the sharp points in the brush, and charge the air. The air is repelled from the wire, and attracted to the glass. 📡

But the charged air can't get to the glass, because the rubber band is in the way. The charged air molecules hit the rubber, and transfer the electrons to it. 📡

The rubber band travels down to the bottom brush. The electrons in the rubber push on the electrons in the wire of the bottom brush. The electrons are pushed out of the wire, and into whatever large object we have attached to the end of the wire, such as the earth, or a person. 📡

The sharp points of the bottom brush are now positive, and they pull the electrons off of any air molecules that touch them. These positively charged air molecules are repelled by the positively charged wire, and attracted to the electrons on the rubber band. When they hit the rubber, they get their electrons back, and the rubber and the air both lose their charge. 📡

The rubber band is now ready to go back up and steal more electrons from the glass tube. 📡

The top brush is connected to the inside of the soda can. It is positively charged, and so attracts electrons from the can. The positive charges in the can move away from one another (they are the same charge, so they repel, just like electrons). The positive charges collect on the outside of the can, leaving the neutral atoms of the can on the inside, where they are always ready to donate more electrons. 📡

The effect is to transfer electrons from the soda can into the ground, using the rubber band like a conveyor belt. It doesn't take very long for the soda can to lose so many electrons that it becomes 12,000 volts more positive than the ground. 📡

When the can gets very positive, it eventually has enough charge to steal electrons from the air molecules that hit the can. This happens most at any sharp points on the can. If the can were a perfect sphere, it would be able to reach a higher voltage, since there would be no places where the charge was more concentrated than anywhere else. 📡

If the sphere were larger, an even higher voltage could be reached before it started stealing electrons from the air, because a larger sphere is not as "sharp" as a smaller one. 📡

The places on our soda can where the curves are the sharpest are where the charge accumulates the most, and

where the electrons are stolen from the air. 

Air *ionizes* in an electric field of about 25,000 volts per inch. Ionized air conducts electricity like a wire does. You can see the ionized air conducting electricity, because it gets so hot it emits light. It is what we call a spark. 

Since our generator can draw sparks that are about a half inch long, we know we are generating about 12,500 volts. 

7.3) <http://science.howstuffworks.com/vdg1.htm>
(acessado em 12/06/2007)

How Van de Graaff Generators Work

by [John M. Zavis](#)

Static Electricity

To understand the Van de Graaff generator and how it works, you need to understand static electricity. Almost all of us are familiar with static electricity because we can see and feel it in the winter. On dry winter days, static electricity can build up in our bodies and cause a spark to jump from our bodies to pieces of metal or other people's bodies. We can see, feel and hear the sound of the spark when it jumps.

In science class you may have also done some experiments with static electricity. For example, if you rub a glass rod with a silk cloth or if you rub a piece of amber with wool, the glass and amber will develop a static charge that can attract small bits of paper or plastic.

To understand what is happening when your body or a glass rod develops a static charge, you need to think about the [atoms](#) that make up everything we can see. All matter is made up of atoms, which are themselves made up of charged particles. Atoms have a nucleus consisting of neutrons and protons. They also have a surrounding "shell" that is made up electrons. Typically, matter is neutrally charged, meaning that the number of electrons and protons are the same. If an atom has more electrons than protons, it is negatively charged. If it has more protons than electrons, it is positively charged.

Some atoms hold on to their electrons more tightly than others do. How strongly matter holds on to its electrons determines its place in the **triboelectric series**. If a material is more apt to give up electrons when in contact with another material, it is more positive in the triboelectric series. If a material is more apt to "capture" electrons when in contact with another material, it is more negative in the triboelectric series.

The following table shows you the triboelectric series for many materials you find around the house. Positive items in the series are at the top, and negative items are at the bottom:

- | | |
|---|----------------------------------|
| •Human hands (usually too moist, though) <i>Very positive</i> | •Wood |
| •Rabbit Fur | •Amber |
| •Glass | •Hard rubber |
| •Human hair | •Nickel, Copper |
| •Nylon | •Brass, Silver |
| •Wool | •Gold, Platinum |
| •Fur | •Polyester |
| •Lead | •Styrene (Styrofoam) |
| •Silk | •Saran Wrap |
| •Aluminum | •Polyurethane |
| •Paper | •Polyethylene (like Scotch Tape) |
| •Cotton | •Polypropylene |
| •Steel <i>Neutral</i> | •Vinyl (PVC) |
| | •Silicon |
| | •Teflon <i>Very negative</i> |

(The above list is adapted from [Nature's Electricity](#), by Charles K. Adams.)

Roots

The word "**electron**" in English comes from the Greek word for **amber**!

The **relative position** of two substances in the triboelectric series tells you how they will act when brought into contact. Glass rubbed by silk causes a charge separation because they are several positions apart in the table. The same applies for amber and wool. The farther the separation in the table, the greater the effect.

When two non-conducting materials come into contact with each other, a chemical bond, known as **adhesion**, is formed between the two materials. Depending on the triboelectric properties of the materials, one material may "capture" some of the electrons from the other material. If the two materials are now separated from each other, a **charge imbalance** will occur. The material that captured the electron is now negatively charged and the material that lost an electron is now positively charged. This charge imbalance is where "static electricity" comes from. The term "static" in this case is deceptive, because it implies "no motion," when in reality it is very common and necessary for charge imbalances to flow. The spark you feel when you touch a door knob is an example of such flow.

You may wonder why you don't see sparks every time you lift a piece of paper from your desk. The amount of charge is dependent on the materials involved and the amount of surface area that is connecting them. Many surfaces, when viewed with a [magnifying device](#), appear rough or jagged. If these surfaces were flattened to allow for more surface contact to occur, the charge (**voltage**) would most definitely increase.

Another important factor in electrostatics is **humidity**. If it is very humid, the charge imbalance will not remain for a useful amount of time. Remember that [humidity](#) is the measure of moisture in the air. If the humidity is high, the moisture coats the surface of the material, providing a low-resistance path for electron flow. This path allows the charges to "recombine" and thus neutralize the charge imbalance. Likewise, if it is very dry, a charge can build up to extraordinary levels, up to tens of thousands of volts!

Think about the shock you get on a dry winter day. Depending on the type of sole your shoes have and the material of the floor you walk on, you can build up enough voltage to cause the charge to jump to the door knob, thus leaving you neutral. You may remember the old "static cling" commercial. Clothes in the [dryer](#) build up an electrostatic charge. The dryer provides a low-moisture environment that rotates, allowing the clothes to continually contact and separate from each other. The charge can easily be high enough to cause the material to attract and "stick" to oppositely charged surfaces (your body or other clothes, in this case). One method you could use to remove the "static" would be to lightly mist the clothes with some water. Here again, the water allows the charge to leak away, thus leaving the material neutral.

It should be noted that when dirt is in the air, the air will break down much more easily in an electric field. This means that the dirt allows the air to become ionized more easily. Ionized air is actually air that has been stripped of its electrons. When this occurs, it is said to be **plasma**, which is a pretty good conductor. Generally speaking, adding impurities to air improves its conductivity. Having impurities in the air has the same effect as having moisture in the air. Neither condition is at all desirable for electrostatics. The presence of these impurities in the air usually means that they are also on the materials you are using. The air conditions are a good gauge for your material conditions -- the materials will generally break down like air, only much sooner.

It's Not Friction

Electrostatic charges are not caused by friction. Many assume this to be the case. Rubbing a balloon on your head or dragging your feet on the carpet will build up a charge. Electrostatics and friction are related in that they both are products of **adhesion**. Rubbing materials together can increase the electrostatic charge because more surface area is being contacted, but friction itself has nothing to do with the charge.