



Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
Instituto de Física “ Gleb Wataghin “ - IFGW

Projeto de Instrumentação de Ensino F-809

Estudo do Funcionamento de uma Máquina Fotocopiadora

Aluno: Rogério Boucault Palhares
Orientador: José Joaquin Lunazzi
Campinas, 22 de novembro de 2002

Objetivos

Esse projeto visa o estudo de máquinas fotocopadoras, analisando seus blocos e procurando utilizá-los para que se possa compreender algumas aplicações da física. O equipamento no seu todo engloba desde conceitos de mecânica até eletricidade. Esse projeto visa então um estudo mais profundo das aplicações da eletricidade, criando um protótipo que possa representar o processo xerográfico e utilizá-lo didaticamente na explanação de assuntos da área especificada. Será explorado também a história do desenvolvimento das atuais máquinas de fotocópias, procurando detalhes históricos importantes que possam nos levar para um conhecimento mais amplo do assunto. Enfim, o trabalho visa a exploração de um equipamento bastante atual aos olhos do ensino da física.

Introdução

A necessidade é chamada freqüentemente a mãe da invenção, mas as vezes há outras razões para que os povos se tornem inovativos. Talvez seja o simples desejo de eliminar tarefas repetitivas e entediosas, transformando-as para que se tornem mais rápidas e automáticas. Ou talvez seja a constante busca de uma realização pessoal e particular. No caso de Chester F. Carlson, a necessidade fez com que desenvolvesse um dos mais importantes aparelhos do século 20: a máquina fotocopadora.

A procura por processos que pudessem ser utilizados para copiar data da Idade Média, onde um sábio alemão chamado Gutemberg desenvolveu um processo artesanal que permitiu que um documento fosse copiado centenas de vezes: a tipografia. O processo tipográfico representou outra grande conquista na história da humanidade pois, utilizada para a impressão de jornais, permitiu que um número maior de pessoas tivessem acesso à escrita, fazendo com que a informação mudasse o panorama cultural do homem.

Outros métodos precederam a xerografia, porém eram simples e confusos. A hectografia era um desses métodos, e baseava-se na criação de uma cópia mestra que seria utilizada para gerar as outras cópias. A cópia mestra era escrita num pedaço do papel com uma tinta especial e pressionada com a face para baixo em uma bandeja com uma espécie de gelatina que dissolvesse e absorvesse a tinta. As folhas de papel em branco úmidas eram então pressionadas contra essa bandeja e algumas cópias eram feitas desta forma. Outra forma de cópia utilizando a hectografia era o processo onde se datilografava ou se escrevia na folha mestra, sendo que esta era montada em um cilindro para que se tornasse molde para as outras cópias. Em cada rotação do cilindro o álcool metil dissolve um pouco da tinta da folha mestra, que é transferida para a folha branca originando as cópias. Outro processo que existia era o fotográfico, mas possuía um custo muito alto e era bastante lento.

Observando essa dificuldade, um norte-americano chamado CHESTER CARLSON iniciou suas pesquisas e, em 1937, patenteou um processo que chamou eletrofotografia. Após muitos estudos ele, no dia 22 de Outubro de 1938, preparou numa lâmina de vidro um original com os dizeres "10 - 22 - 38 ASTORIA". Em seguida Carlson esfregou com um lenço de algodão uma placa metálica recoberta com enxofre, que adquiriu cargas elétricas. A lâmina de vidro foi colocada sobre a placa metálica e exposta à luz de um refletor. E quando uma folha de papel foi pressionada contra a superfície sulfurosa da placa a inscrição

transferiu-se para o papel. Retirando a lâmina de vidro, pulverizou a placa metálica com um pó chamado licopódio, e os dizeres "10 - 22 - 38 - ASTORIA " tornaram-se visíveis. Essa foi a primeira cópia xerográfica do mundo!!!



A História da Máquina Fotocopiadora

Nascido em 8 de fevereiro de 1906 na cidade de Seattle, Washington, Carlson teve uma infância bem difícil. Aos 14 anos seu pai tinha tuberculose e artrite, e sua mãe acabara de contrair tuberculose. Ela já trabalhava e era a principal fonte de renda da família.



figura 1 - Chester Carlson

Jovem ainda frequentou o Riverside Junior College, Califórnia, por três anos alternando períodos entre a escola e o trabalho.

Na faculdade em 1928, no Instituto de Tecnologia da Califórnia, ele teve dificuldades em escolher uma carreira, interessando-se por profissões que permitiriam trabalhar em reclusão, distante de pressões sociais e distrações. Ele formou-se então como Bacharel em Física em 1930. Ele possuía uma enorme vontade de torna-se um poeta, um escritor ou um artista, porém sua idéia era torna-se um inventor.

Porém, deixando de lado a idéia de tornar-se um inventor, Carlson foi vítima da Grande Depressão que atingiu os Estados Unidos na década de 30. Com muitos débitos ele mandou currículos para 82 diferentes companhias, sendo que apenas duas responderam mas sem nenhuma oferta de emprego. Ele foi então trabalhar como engenheiro de pesquisa para uma empresa chamada Bell Labs em Nova Iorque. Porém ele não ficou muito tempo devido à Depressão.

Previendo que provavelmente não conseguiria trabalho na sua área, Carlson resolveu aceitar um emprego numa firma de produtos eletrônicos chamada P.R. Mallory, famosa por suas baterias. Foi promovido eventualmente a gerente do departamento de patentes da Mallory. Começou a estudar no período noturno para tornar-se um advogado de patentes. No fim esse trabalho foi responsável por conduzir Carlson à invenção que mudaria o mundo.

Ele gastava longas horas examinando com atenção documentos e desenhos de patentes. O serviço requeria muitas cópias e o único caminho para obtê-las era copiando-as manualmente. Como muitas cópias deveriam ser feitas, Carlson procurou formas para que pudesse duplicar os documentos. O primeiro deles era um método fotográfico e o outro um método laboratorial. Ambos demonstraram ser muito caros e despendiam muito tempo. Para piorar a situação, Carlson era míope e começava a sofrer de artrite. Ele concluiu que necessitava de um equipamento que poderia ser utilizado no escritório, de baixo custo, onde se colocaria o documento numa abertura e a cópia era realizada.

Esse problema porém não possuía um solução muito fácil, mesmo porque até então ninguém havia conseguido realizar tal feito. Inicialmente Carlson dirigiu-se a biblioteca pública de Nova Iorque onde estudou diversos artigos científicos e literaturas técnicas. Os artigos relacionavam-se ao campo da fotografia, porém ele rejeitou esse caminho pois os métodos químicos usados no processo fotográfico haviam sido já exaustivamente analisados por diversas companhias, tornando-se então não interessante.

Carlson dirigiu sua atenção então para o campo da fotocondutividade. Esse era um campo relativamente novo, sendo desenvolvido por um físico húngaro chamado Paul Selenyi. Leu então que quando a luz atinge a superfície de determinados materiais, ocorre o aumento da condutividade (fluxo de elétrons). Como era um físico, ele teve esse “flash” de inspiração que todos os inventores costumam dizer que tem. Carlson fez então com que a imagem de uma fotografia fosse projetada sobre uma superfície fotocondutora utilizando o princípio do funcionamento dos materiais fotocondutores: a corrente flui somente nas áreas em que a luz reflete, ou seja, as áreas de cópia são escuras onde a luz não reflete e não permite que a corrente flua.

Mas como todos os inventores sabem, a inspiração não é a invenção, pois a primeira pode levar trinta segundos, e a última pode levar anos. Assim Carlson, utilizando como laboratório a cozinha de sua casa, determinou os princípios básicos do processo denominado de eletrofotografia. A primeira patente do equipamento foi feita em 1937.

Com o tempo mudou seu laboratório para um quarto vago no salão de beleza de sua sogra em Astoria, Queens. Como estava sofrendo de artrite e estava sem muita paciência para continuar com suas experiências, Carlson empregou um físico alemão chamado Otto Kornei para ajudá-lo. Inicialmente eles utilizaram enxofre que é um mineral que não conduz eletricidade, mas quando exposto a luz ele conduz um pouco de carga. Revestiram uma placa de zinco com um revestimento preparado a partir do enxofre e escreveram as palavras “10-

22-38 Astoria” numa lâmina de vidro com uma tinta especial. Em seguida esfregaram com um lenço de algodão a placa metálica recoberta com enxofre para que adquirisse cargas elétricas. No quarto escuro, a lâmina de vidro foi colocada sobre a placa metálica e exposta à luz de um refletor por alguns segundos. Retirando a lâmina de vidro, pulverizaram a placa metálica com um pó chamado licopódio. Soprando então o excesso de licopódio da superfície da placa metálica recoberta por enxofre, observou-se uma imagem quase exata, só que invertida, dos dizeres “10-22-38 Astoria”. Eles então pressionaram um papel de seda sobre a superfície sulfurosa da placa metálica e obtiveram então a primeira fotocópia que se tem história !!!

Porém o produto não estava completamente pronto para sua aplicação nos escritórios, muito trabalho deveria ser feito, mas a teoria de Carlson havia sido confirmada. Kornei deixou a pesquisa para trabalhar na IBM pois Carlson já não tinha dinheiro para continuar investindo nas experiências. Com um produto tão interessante e importante se pensaria que muitas empresas se interessariam pelo processo, porém não foi o que ocorreu. Entre 1939 e 1944 mais de 20 grandes corporações, como IBM, Kodak, GE e RCA não quiseram investir em tal projeto.

Durante esse tempo, Carlson continuou a trabalhar para a P. R. Mallory, que indicou-o para o Battelle Memorial Institute, uma organização sem fundos lucrativos que investia em pesquisa tecnológica. Durante uma visita em 1944, Carlson mencionou que havia patenteado um novo processo de reprodução de documentos. Em consequência disso, os diretores da Battelle se interessaram e assinaram um contrato com Carlson dando a ele 40% dos rendimentos. Estando bem ciente da enorme pesquisa que seria realizada, a Battelle atribuiu o projeto a um físico chamado Roland M. Schaffert, que trabalhou solitário por quase um ano pois toda a comunidade científica estava voltada para outras áreas devido a Segunda Guerra Mundial.

Quando a guerra acabou, a Battelle mandou para Schaffert um pequeno grupo de assistentes para ajudá-lo nas pesquisas com o intuito de melhorar o processo. O primeiro passo era desenvolver uma nova placa fotocondutiva, diferente da placa sulfurosa utilizada por Carlson. Assim, a Battelle desenvolveu uma placa recoberta com Selênio, que era um fotocondutor muito melhor. Após isso, gastaram um ano desenvolvendo um fio, chamado de fio de coroa, responsável por aplicar a carga eletrostática na placa fotocondutiva e para transferir o pó da placa para o papel.

Uma das partes mais importantes foi o desenvolvimento da tinta seca. Carlson havia usado um pó de licopódio e outros materiais que produziam uma imagem borrada. A Battelle pesquisou um substituto para o licopódio que era um pó de ferro muito fino de tinta seca e uma mistura de um sal de cloreto de amônio e um material plástico. O cloreto de amônio foi incluído para corrigir o problema das imagens borradas. Esse pó tinha a mesma carga como a placa metálica, só que nas áreas onde havia poucas cargas ou sem imagem as partículas de ferro ficavam presas ao sal e não a placa metálica. O material plástico era designado para derreter quando as partículas de ferro fossem fundidas e aquecidas no papel. Esse material foi chamado de toner.

Em 2 de janeiro de 1947 a Battelle assinou um contrato de licença com uma pequena companhia de Rochester chamada Haloid, que manufaturava produtos fotograficos. O investimento da Haloid no processo eletrografico foi muito arriscado, uma vez que a companhia não tinha muito dinheiro para investir. Em 22 de outubro de 1948 a Battelle e a

Haloid demonstraram a eletrofotografia para o mundo, dez anos depois da primeira experiência de Carlson. A primeira fotocopiadora foi introduzida em 1949. O processo todo foi ineficiente e pouco prático. Foram catorze passos diferentes para ser usada e quarenta e cinco segundos para produzir uma cópia. Mudanças deveriam ser feitas.

A primeira mudança foi referente ao nome do processo. Para alguns o nome eletrofotografia não era muito atrativo. Um professor do estado de Ohio sugeriu o nome Xerografia, que vinha do grego xeros (seca) e graphos (escrita). A Haloid chamou esta primeira fotocopiadora de XeroX modelo A, sendo que o segundo X no nome era para tornar-se similar ao nome Kodak, que possuía o segundo K. Em 1958, a Haloid oficialmente mudou seu nome para Haloid Xerox e, finalmente em 1961 mudou novamente e definitivamente para Xerox Corporation.

O sucesso não havia vindo para a Haloid até 1959 quando ela lançou o modelo 914, a primeira fotocopiadora completamente automática. Foi chamada de 914 pois ela caitava papeis com um tamanha de até 9 x 14'' (tamanho officio). Essa máquina foi bem aceita, fazendo com que a Haloid ganhasse muito dinheiro.

Chester Carlson, o inventor do processo eletrografico, finalmente desfrutando dos rendimentos dos seus duros anos de trabalho, desmaiou e faleceu no dia 19 de setembro de 1968 enquanto caminhava na Rua 57th, na cidade de Nova Iorque. Ele havia ganhado cerca de cento e cinquenta milhões da Xerox, e doado generosamente cem milhões para a caridade. Muitas empresas surgiram desde então no desenvolvimento de novas tecnologias no ramo das fotocopiadoras. Atualmente essas máquinas possuem sistemas digitais altamente confiáveis que permitem a sua utilização até em redes corporativas, funcionando como fotocopiadoras, impressoras e fax. A tecnologia laser tem papel fundamental nessa nova fotocopiadora, pois é utilizado para eliminar as cargas elétricas da superfície do fotocondutor. Esse, por sinal, foi aperfeiçoado, sendo que atualmente são utilizados os cilindros OPC, muito mais seguros e menos nocivos ao meio ambiente. Mas vale lembrar que , independente de toda a tecnologia, foi num pequeno quarto de fundos que o Sr. Carlson descobriu o processo que revolucionou o conceito de cópias.

Teoria Eletrostática

Caminhando sobre um tapete em tempo seco, podemos provocar descarga elétrica ao tocarmos na maçaneta de uma porta. A “eletricidade estática “ está em toda parte, e devemos estar atentos aos seus efeitos, pois alguns deles, como faíscas e choques elétricos podem ser perigosos. Como exemplo podemos citar o relâmpago, que é uma manifestação da natureza e que representa não mais que simples manifestações da grande quantidade de carga elétrica que está armazenada nos objetos familiares que nos cercam, inclusive em nossos próprios corpos. Consideremos então uma experiência muito comum onde, após pentearmos nosso cabelo com um pente plástico, conseguimos atrair pequenos pedaços de papel ao encontro do pente. Fenômeno semelhante ocorre se friccionarmos um bastão de vidro com um pedaço de seda. Concluimos então que esses materiais adquirem nova propriedade que, conforme já dito acima, chama-se eletricidade. Uma característica interessante é que tal propriedade elétrica produz uma interação muito mais forte que a gravitacional.

Em primeiro lugar existe apenas uma espécie de interação gravitacional, que consiste numa atração universal entre duas massas quaisquer. Entretanto existem duas espécies de

interações elétricas. Suponha que colocamos um bastão de vidro eletrizado próximo a uma pequena bola de cortiça pendurada por um fio. Essa bola será atraída pelo bastão. Se repetirmos a experiência com um bastão de âmbar eletrizado, observaremos o mesmo efeito de atração na bola. Contudo, se ambos os bastões atraírem a bola simultaneamente, em vez de uma atração maior, será observado uma força de atração menor ou mesmo nenhuma atração na bola. Essas experiências mostram que, apesar de ambos os bastões de vidro e âmbar atraírem a bola de cortiça, eles o fazem por processos físicos opostos. Quando ambos os bastões estão presentes ocorrem efeitos opostos, sendo que o primeiro é positivo e o segundo negativo.

Outra experiência interessante é quando tocamos duas bolas de cortiça com um bastão de vidro eletrizado. Admitimos que ambas ficam eletrizadas positivamente e, ao colocarmos uma bola junto a outra elas se repelirão. O mesmo resultado aparece quando realizamos a experiência com o bastão de âmbar eletrizado, porém as bolas de cortiça irão adquirir carga negativa. Entretanto, se eletrizarmos uma bola com o bastão de vidro e a outra com o bastão de âmbar, uma vai adquirir carga positiva e a outra irá adquirir carga negativa. Ao aproximarmos ambas elas irão atrair-se.

Dois corpos com a mesma espécie de eletrização (ambos positivos ou negativos) repelem-se. Se possuírem diferentes tipos de eletrização (um positivo e outro negativo), atraem-se.

Processos de Eletrização

- Eletrização por Atrito: Ao atritar-se dois corpos inicialmente neutros, provoca-se um contato íntimo e extenso entre partes do corpo, permitindo a troca de elétrons e eletrizando-se positivamente o corpo que cede elétrons e negativamente o corpo que recebe elétrons.

- Eletrização por Contato: Ocorre quando um corpo neutro é colocado em contato com um corpo eletrizado, pois uma parte da carga do corpo eletrizado passa para o neutro. Como exemplo citamos as experiências acima descritas com a bola de cortiça que eletriza-se em contato com o bastão de vidro (positivamente) e com o bastão de âmbar (negativamente).

- Eletrização por indução: Ao aproximar-se um corpo eletrizado de um condutor inicialmente neutro, sem que haja contato, criam-se no condutor duas regiões com cargas de sinais opostos. Isso ocorre pois o condutor possui elétrons livres que podem ser atraídos ou repelidos pelo corpo inicialmente eletrizado.

Carga Elétrica

Da mesma forma que caracterizamos a intensidade da interação gravitacional atribuindo a cada corpo uma massa gravitacional, caracterizamos o estado de eletrização de um corpo definindo massa elétrica, mais comumente chamada carga elétrica, ou simplesmente carga, representada pelo símbolo q . Desse modo, qualquer porção de matéria ou qualquer partícula é caracterizada por duas propriedades independentes, porém fundamentais: carga e massa.

Desde que haja duas espécies de eletrização, há também duas espécies de cargas elétricas: positiva e negativa. Um corpo que apresenta eletrização positiva tem uma carga positiva, e um corpo com eletrização negativa tem uma carga elétrica negativa. A carga total de um corpo é a soma algébrica de suas cargas positivas e negativas. Um corpo tendo

quantidade de cargas positivas e negativas (carga total zero) é chamado eletricamente neutro. Por outro lado, uma partícula tendo uma carga total diferente de zero é freqüentemente chamada de íon. Como a matéria em conjunto não apresenta forças elétricas resultantes, podemos admitir que é composta po igual quantidade de cargas positivas e negativas.

Consideremos a interação elétrica entre duas partículas carregadas em repouso para um observador em um sistema de referência inercial, ou quando muito movendo-se com uma velocidade muito pequena; os resultados de tal interação constituem o que se chama de eletrostática. A interação eletrostática entre duas partículas carregadas é dada pela lei de Coulomb, assim denominada em honra ao engenheiro francês Charles A. de Coulomb (1736-1806), que foi o primeiro a formulá-la:

a interação eletrostática entre duas partículas carregadas é proporcional às suas cargas e ao inverso do quadrado da distância entre elas, e tem a direção da reta que une as duas cargas.

Matematicamente isso pode ser expresso por:

$$F = K_e \frac{qq'}{r^2}$$

onde r é a distância entre as duas cargas q e q' , F é a força que atua sobre qualquer das cargas, e Ke é igual a $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$. Por razões práticas e de cálculo é mais conveniente expressar Ke na forma

$$F = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

onde a constante física ϵ_0 é chamada permissividade de vácuo. Seu valor é:

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{C}^2$$

Condutores e Isolantes

Em princípio é sempre possível deslocar cargas elétricas através de um meio material. Mas esta possibilidade de movimento varia com a natureza do meio. Meios em que as cargas elétricas se deslocam com facilidade são chamados condutores. Classificam-se em:

- Condutores Eletrônicos ou de 1º classe: são os metais e o grafite. Nesses corpos os elétrons periféricos estão fracamente ligados aos átomos, permitindo o fácil transporte de cargas elétricas ao longo da massa condutora.
- Condutores Iônicos ou de 2º classe: Os típicos condutores desta classe são as soluções aquosas de ácidos, bases e sais, que também permitem o fácil transporte de cargas elétricas.

- Condutores Gasosos ou de 3º classe: são os gases ionizados, isto é, são gases que por um procedimento adequado, rompeu-se o equilíbrio elétrico de seus átomos ou moléculas, dando origem a íons capazes de se locomover com facilidade, transportando cargas elétricas.

Nos corpos onde não existem íons livres em número apreciável não permitem a condução de cargas elétricas. São os isolantes ou dielétricos. Estão nesse caso o vidro, os plásticos usuais, a água destilada, a borracha e os óleos minerais.

Os semicondutores, dentre os quais pode-se citar o silício e o germânio, são materiais que pertencem a uma classe intermediária entre os condutores e os isolantes. Os semicondutores tem muitas aplicações práticas e promoveram verdadeira revolução na microeletrônica.

Existe também os supercondutores, assim chamados por não oferecer resistência ao movimento da carga elétrica através deles. Ou seja, a resistência elétrica é nula e estabelecendo-se uma corrente elétrica em um anel supercondutor, ele se manterá inalterada por um longo tempo sem a necessidade de bateria ou qualquer outra fonte de energia. Foi descoberta em 1911 pelo físico holandês Kammerlingh Onnes.

Existe ainda uma classe de materiais que são os fotocondutores. Esses materiais tem a capacidade de conduzir corrente elétrica quando incide sobre eles luz, ou não conduzem corrente quando a luz não incide sobre eles. Isso ocorre devido a variação da resistência elétrica do material, que faz com que ocorra maior ou menor interferência na passagem da corrente elétrica. Como exemplo citamos o selênio.

Cilindros Fotocondutores

Existem alguns tipos de materiais fotocondutivos, porém o mais utilizado hoje nas máquinas fotocopiadoras são os cilindros OPC, que é a abreviatura de fotocondutor orgânico. O termo "orgânico" indica que o revestimento do fotocondutor foi fabricado de compostos químicos baseados em carbono, mais especificamente polímeros fotocondutores sintetizados de matérias primas obtidas através da refinação de fósseis combustíveis como o petróleo. Os tambores OPC são geralmente considerados os fotorreceptores menos nocivos ao meio-ambiente disponíveis atualmente, principalmente porque os seus projetistas e fabricantes usam deliberadamente matérias primas que não causam danos. Na verdade, todos os materiais são submetidos a rigorosos testes de segurança antes de serem utilizados na fabricação de tambores OPC. Isto assegura que os tambores OPC sejam alternativas não prejudiciais ao meio-ambiente quando comparados a fotorreceptores mais nocivos, como os tambores de trisseleneto de arsênico (As_2Se_3) e os de telúrio de selênio (SeTe).

Características físicas dos tambores OPC

Os tambores OPC mais utilizados atualmente nas fotocopiadoras são fabricados para receber uma carga negativa. Da camada mais interna até a mais externa eles normalmente são compostos de uma camada de substrato de alumínio, uma sub-camada de revestimento de base (ou "bloqueamento") (UCL), a camada de geração de carga (CGL) e a camada de transporte de carga (CTL).

O substrato de alumínio facilita a fotocondutividade em termos físicos e elétricos, mas não desempenha um papel ativo no processo eletrofotográfico. A sua principal função é oferecer suporte estrutural e mecânico, e uma boa conexão de aterramento.

A sub-camada de revestimento de base (UCL) funciona como uma interface entre o substrato e as camadas fotocondutoras, para fornecer adesão e evitar vazamentos indesejáveis de carga que podem deteriorar a qualidade de cópia. Como o substrato, esta sub-camada não desempenha um papel ativo no processo eletrofotográfico, mas oferece uma boa conexão de aterramento. Os materiais mais utilizados para a sub-camada incluem óxido de alumínio, alumínio anodizado e vários polímeros resistentes.

A camada de geração de carga (CGL) é extremamente fina, com uma espessura típica que varia de apenas 0,1 micrôn até 1,0 micrôn. A sua cor, que normalmente determina a cor do tambor OPC, depende dos materiais específicos que contém. A sensibilidade à luz do CGL é um fator essencial no desempenho do tambor OPC, e pode ser um fator limitante de velocidade de cópias na qual o tambor OPC pode funcionar eficientemente.

A camada de transporte de carga (CTL) é a camada externa de um tambor OPC cuja espessura é de 20 a 30 microns. Ela é essencialmente transparente, permitindo que a luz passe diretamente através da camada de geração de carga. Da mesma forma que a camada de geração de carga determina basicamente a sensibilidade à luz de um tambor OPC, a camada de transporte de carga determina sua capacidade de aceitação de carga e velocidade de transporte de carga. Como esta é a camada mais externa, ela entra em contato com o toner, o revelador, o papel, a lâmina de limpeza do tambor, o ozônio e outros agentes potencialmente abrasivos ou contaminantes. Conseqüentemente as características de desgaste desta camada, sua durabilidade e resistência à abrasão são fatores essenciais no potencial vida útil de um tambor OPC.

Embora a descrição acima é válida para a maioria dos tambores OPC usados atualmente, existem alguns tipos de tambores OPC de carga positiva, com uma camada de geração de carga e uma camada de transporte de carga combinadas. Eles são chamados de tambores OPC "de camada única". Como esta camada única determina todas as características elétricas e físicas do revestimento (inclusive aceitação de carga, fotossensibilidade e resistência ao desgaste) ela deve ser formulada e fabricada com extrema precisão. Os tambores OPC de carga positiva normalmente têm vida útil mais curta do que os tambores OPC "padrão", pois a sua camada única, cuja composição inclui materiais "mais macios" normalmente restritos à camada de geração de carga, é menos resistente à abrasão.

Vantagens da tecnologia de fotocondutores orgânicos

Há muitas razões significativas para a indústria de equipamento de escritório estar adotando com relativa rapidez a tecnologia dos tambores OPC. Em primeiro lugar os avanços nos materiais de revestimento e tecnologia de fabricação tornaram possível a fabricação de tambores OPC mais sensíveis à luz e mais duráveis, adequando-os a uma ampla variedade de aplicações, tais como copiadoras de alta velocidade (75 cpm ou mais). Os tambores OPC utilizados na maioria das máquinas mais recentes de segmento 3, 4, e 5 fornecem níveis de qualidade de cópias e uma duração de vida útil anteriormente alcançadas apenas com os tambores de trisseleneto de arsênico (As_2Se_3).

As crescentes preocupações com o meio-ambiente também constituem um fator importante na adoção da tecnologia do tambor. Esta conscientização global levou a uma expansão e intensificação das restrições legais sobre o procedimento de descarte de fotorreceptores de sulfeto de cádmio (CdS) ou os de selênio (As_2Se_3 e $SeTe$). Os tambores OPC, não classificados como dejetos perigosos, são a alternativa mais conveniente disponível.

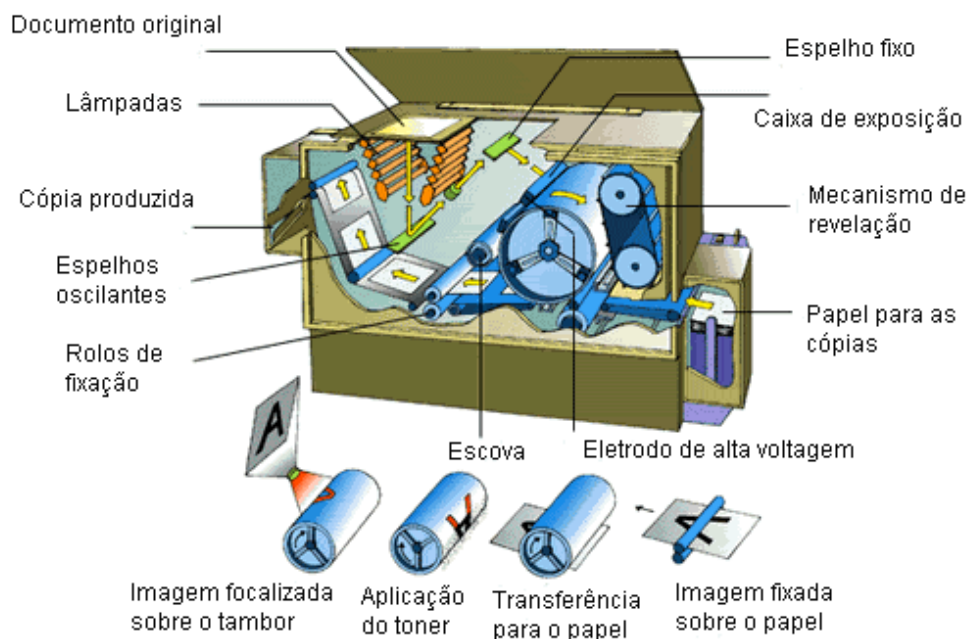
Outro motivo para os fabricantes preferirem a tecnologia OPC é que o seu processo de fabricação é muito mais econômico e rápido do que o processo de fabricação dos fotorreceptores de selênio. O método mais comum de fabricação dos tambores OPC é o mergulho na substância de revestimento. Este é um processo "contínuo", enquanto que o processo de deposição de vapor usado para fabricar tambores de selênio ou de silicônio amorfo (a-Si) é um processo de "lote", isto é, requer a colocação seqüencial de lotes de tambores em câmaras de vácuo, para formar as diversas camadas de revestimento. Esta diferença fundamental no processo de fabricação contribui para diminuir os custos dos tambores OPC.

Devido a todas estas importantes vantagens, assim como à continuação do uso de fotocondutores orgânicos em impressoras a laser e outras aplicações digitais (inclusive copiadoras digitais), a tecnologia de revestimento de fotocondutores orgânicos continuará a ser amplamente usada. Como conseqüência, a pesquisa e o desenvolvimento desta tecnologia continuarão a constituir uma alta prioridade na indústria de equipamento de escritório.

Teoria Da Máquina Fotocopiadora

O processo de xerografia (XERO = seco GRAFIA = escrita) tem sua principal característica centrada na utilização de cargas elétricas para a obtenção das cópias. Ou seja, o processo não usa papel umedecido e nem substâncias líquidas. Um importante componente nesse processo é o cilindro fotocondutor, pois é ele que tem a propriedade de tornar-se condutor na presença de luz, e semi-condutor na ausência da luz. Sua estrutura possui uma base de alumínio, ou material condutor, e uma camada externa do material fotocondutivo. Podemos considerar o cilindro fotocondutor o coração do equipamento, pois sem ele o processo eletrográfico das copiadoras atuais não ocorreriam.

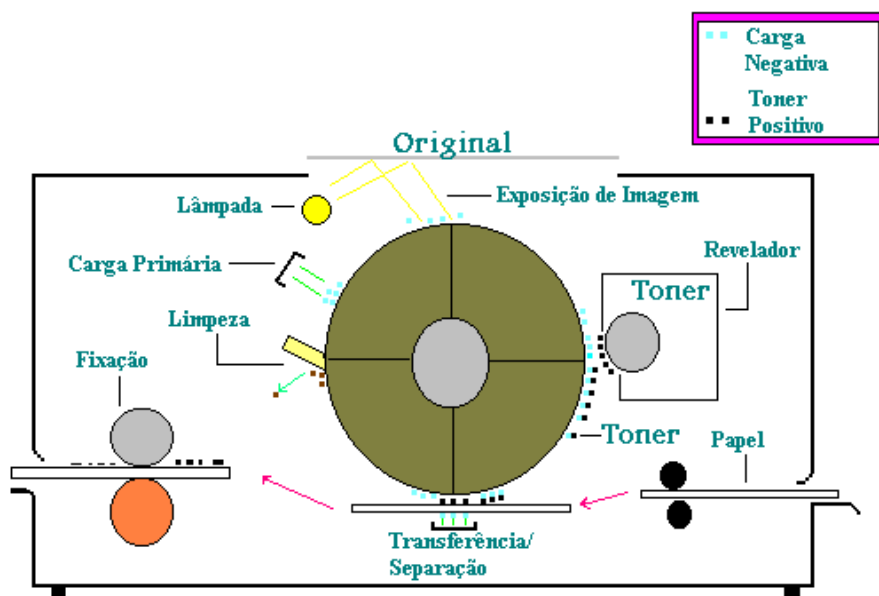
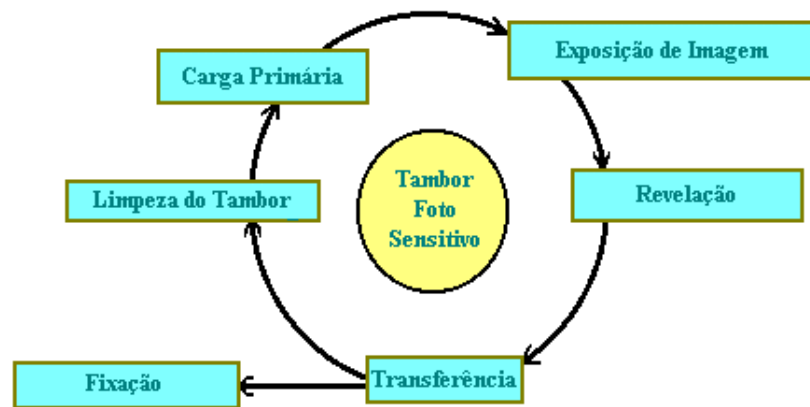
Abaixo temos um desenho geral da uma máquina fotocopiadora:



Para que possamos explicá-la de uma forma mais didática, a máquina foi dividida em seis blocos:

1. Exposição de carga eletrostática primária;
2. Sistema Óptico e exposição da imagem;
3. Revelação (exposição da tinta ou toner);
4. Exposição de carga eletrostática de transferência;
5. Fixação da tinta ou toner no papel;
6. Limpeza do cilindro fotocondutor e exposição de pré-condicionamento.

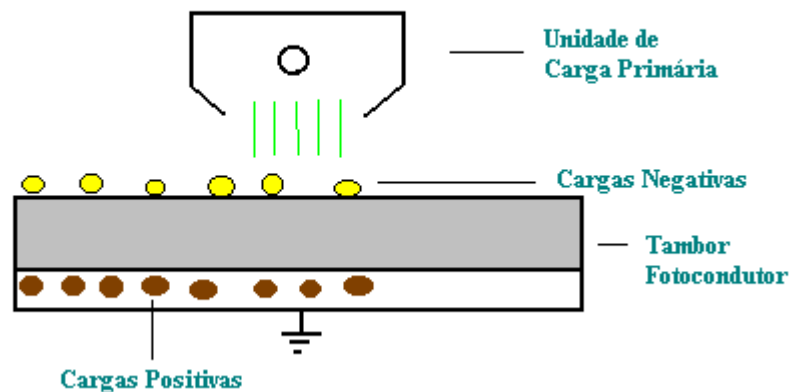
Processo Básico da Fotocopiadora



Exposição de Carga Eletrostática Primária

Junto ao cilindro fotocondutor é colocado um fio muito fino de material condutor com a finalidade de carregá-lo eletrostaticamente. Uma tensão DC muito alta, da ordem de -600V, é aplicada no fio. Como ele está próximo do cilindro e este está no escuro (torna-se semi-condutivo, ou seja, aumenta a resistência elétrica do material), essa tensão vai gerar cargas elétricas que irão carregar toda a área do cilindro fotocondutor. Dessa forma, a superfície do cilindro passará a ter uma camada uniforme de cargas negativas.

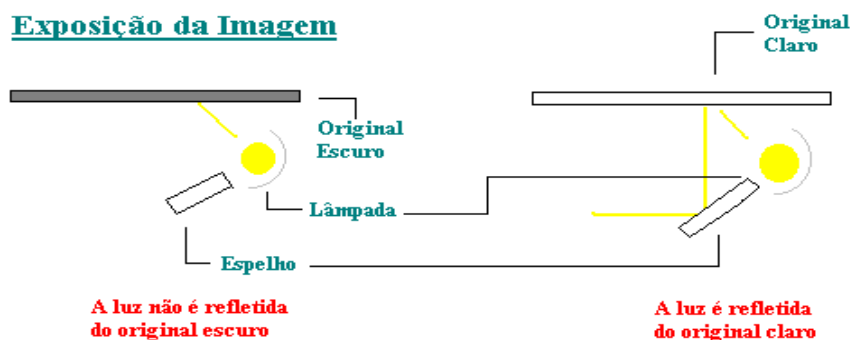
Aplicação de Carga Primária



Sistema Óptico e Exposição de Imagem

O original é iluminado. Suas áreas brancas, ao serem atingidas pelos raios de luz, tem a propriedade de refleti-los, o que não ocorre com as áreas onde há imagem. Um sistema de lentes e espelhos se encarrega de "transportar" a imagem até o cilindro, onde a imagem do documento é projetada. Devido a sua propriedade fotocondutora, ocorre no cilindro o que chamamos de formação de imagem latente: nas áreas onde há imagens não há luz e o cilindro permanece como isolante, retendo as cargas elétricas; já nas áreas onde ocorre a exposição da luz o cilindro torna-se condutor, perdendo as cargas elétricas que antes estavam nesses locais. Vale salientar que a base metálica do cilindro está ligado ao "terra", e é dessa forma que as cargas elétricas são eliminadas: na área onde ocorre a exposição pela luz (sem imagem) as cargas fluem para o terra; nas áreas onde não ocorre a exposição pela luz (imagem do original) ocorre a retenção das cargas devido à alta resistência existente.

Exposição da Imagem



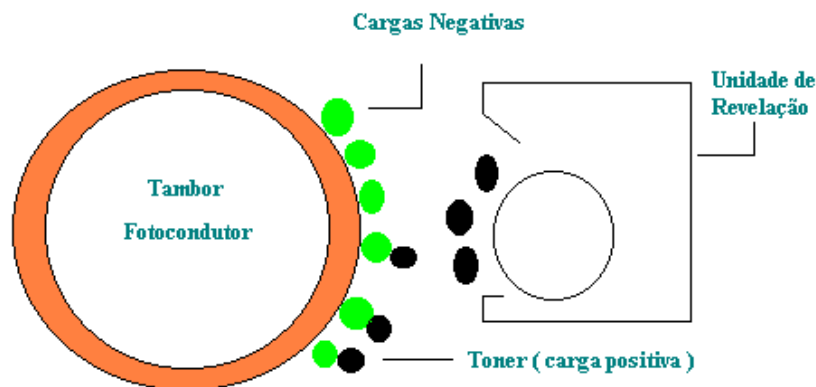
Revelação (Exposição da Tinta ou Toner)

O passo seguinte após a formação da imagem latente sobre o cilindro fotocondutor é a revelação da imagem, que será realizada utilizando-se o toner o qual é composto por magnetita e por uma resina plástica, e possui carga total positiva. Ele fica depositado num recipiente que chamamos de unidade de revelação. Nessa unidade é aplicada uma alta tensão que, diferentemente da unidade de carga primária, é alternada. O principal motivo para a utilização da alta tensão alternada é para que seja retirado o excesso de toner do cilindro fotocondutor.

O toner será atraído para os locais onde não existiu a exposição de luz sobre o cilindro fotocondutor. Essa atração ocorre devido a diferença de potencial existente entre as cargas do cilindro, entre a carga aplicada na unidade de revelação e entre a carga do toner. Na unidade de revelação existem quatro componentes básicos: o toner, o revelador (limalha de ferro), um cilindro metálico com um imã permanente interno, e uma lâmina magnética. O toner e o revelador ficam misturados em proporções iguais. Através do atrito com o cilindro metálico, o revelador é carregado com um potencial negativo e o toner é carregado com um potencial positivo. O imã interno do cilindro metálico gera um campo magnético que, em conjunto com a lâmina magnética, faz com que o revelador seja atraído para essa interface e cria uma camada fina e uniforme de toner sobre o cilindro metálico.

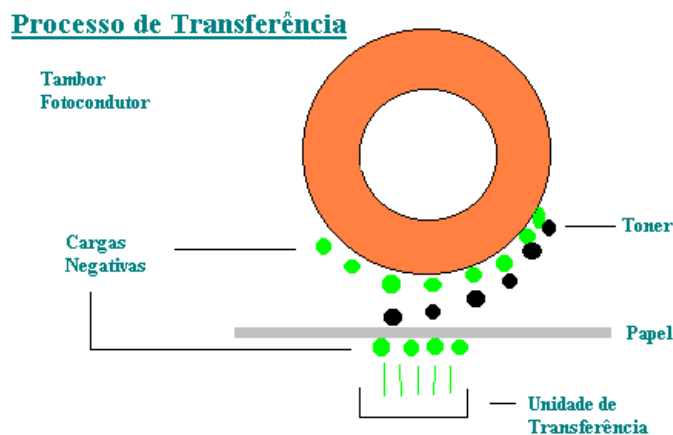
No cilindro metálico e na lâmina é aplicada uma alta tensão que possui componentes AC e DC (componente negativo). Como as tensões AC e DC são aplicadas ao mesmo tempo, a forma de onda resultante da tensão aplicada na unidade de revelação possui um componente negativo maior que o componente positivo. Assim, quando a onda está no ciclo positivo o toner, que está carregado positivamente, será repelido pelo cilindro metálico da unidade de revelação e será atraído pelo potencial negativo na superfície do cilindro fotocondutor. Em contrapartida, quando passa pelo ciclo negativo, o cilindro metálico atrairá as partículas de toner que estão fracamente ligadas com o cilindro fotocondutor, retirando o excesso. A tensão DC da unidade de revelação varia de -450 VDC até -80VDC. A tensão AC é da ordem de 1300VAC e com uma frequência da ordem de 1KHz. Após esse processo, a imagem sobre o cilindro fotocondutor é chamada de imagem revelada.

Processo de Revelação



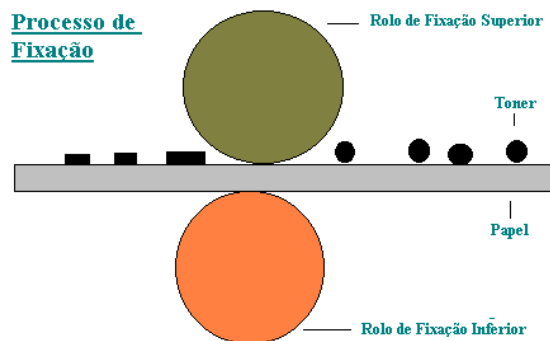
Exposição de Carga Eletrostática de Transferência

Agora a imagem revelada existente no cilindro fotocondutor deverá ser transferida para o papel cópia. É utilizado nesse ponto também um fio bem fino de material condutor, que é colocado num bloco chamado Bloco de Transferência. Nesse fio será aplicado uma alta tensão contínua da ordem de -5KVDC. Ocorre então que o papel será apanhado na bandeja de alimentação de papéis e irá passar entre o tambor fotocondutor e o bloco responsável pela transferência. Como o potencial negativo do Bloco de Transferência é bem maior que o potencial negativo da superfície do cilindro fotocondutor então o toner, cuja carga é positiva, será atraído para o papel.



Fixação da Tinta ou Toner ao Papel

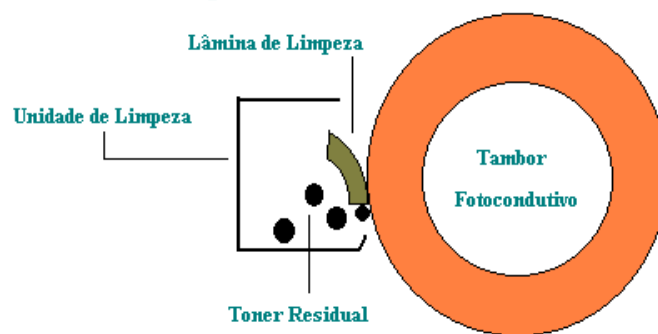
Após a transferência do toner a fixação no papel é o próximo passo. Essa etapa é importante pois como o toner é um componente seco, ele apenas foi depositado sobre o papel pela diferença dos potenciais indicados acima. Sua fixação é feita por dois métodos: temperatura e pressão. Assim, após a transferência, o papel é levado até a unidade de fixação onde um conjunto de rolos são responsáveis pela fixação do toner. Um desses rolos é de teflon e é aplicado à ele, por uma lâmpada interna de 900 W, uma temperatura em torno de 190 °C . Em contato com esse rolo existe outro de borracha especial que é responsável por pressionar o toner no papel. Está pronta nossa cópia.



Limpeza do Cilindro Fotocondutor e Exposição de Pré-Condicionamento

Nesse processo nem todo o toner é transferido para o papel. Isso fica evidente se analisarmos que o processo baseia-se em cargas eletrostáticas e diferenças de potenciais, pontos que podem ser influenciados por uma série de fatores como temperatura e umidade. Assim, o toner residual na superfície do cilindro fotocondutor é raspado por uma lâmina de borracha e depositado numa unidade reservada para esse fim. Essa é a limpeza física do cilindro. Após, existe o que se chama de exposição de pré-condicionamento, que é uma limpeza elétrica do cilindro. Isso é feito expondo toda a superfície do cilindro à luz. Todas as cargas restantes na superfície do cilindro do ciclo de cópia anterior são eliminadas, fazendo com que o cilindro fotocondutor esteja preparado para um novo ciclo de cópia descrito acima.

Processo de Limpeza

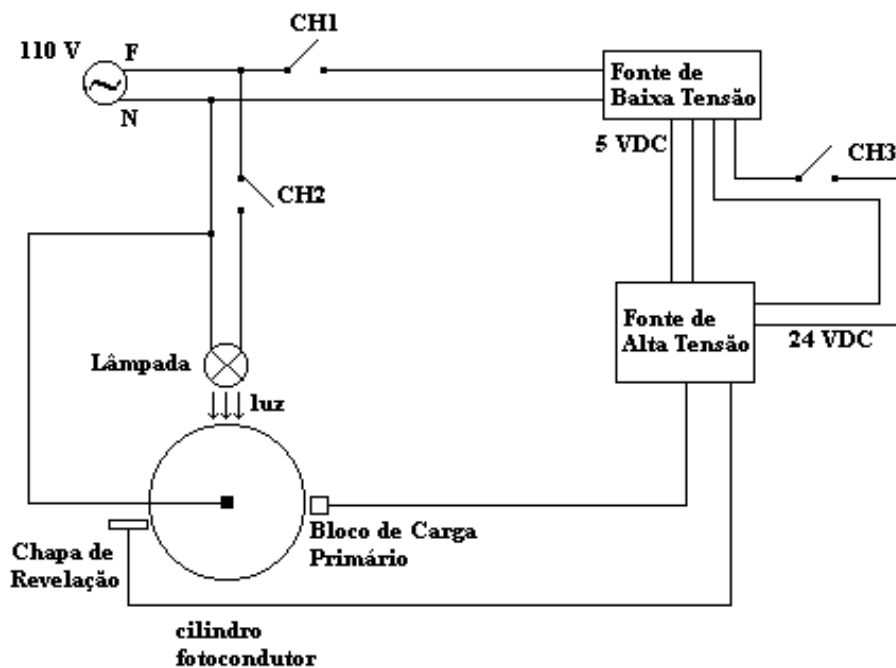


Montagem Experimental e Materiais Utilizados

Foi montado um protótipo para representar o processo xerográfico descrito acima e para utilizá-lo na explicação da teoria eletrostática num curso de ensino médio. Sua confecção foi um pouco demorada pois muitas adaptações foram feitas. Nesse protótipo foi utilizado alguns componentes de máquinas fotocopadoras da marca Canon. São eles:

- Fonte de Alta Tensão da Fotocopiadora Canon, modelo NP2120;
- Fonte de Baixa Tensão da Fotocopiadora Canon, modelo NP2120;
- Cilindro Fotocondutor da Fotocopiadora Colorida, Canon modelo CLC700;
- Unidade de Carga Primária da Fotocopiadora Canon, modelo NP2120.

Abaixo está um desenho esquemático do protótipo em questão:



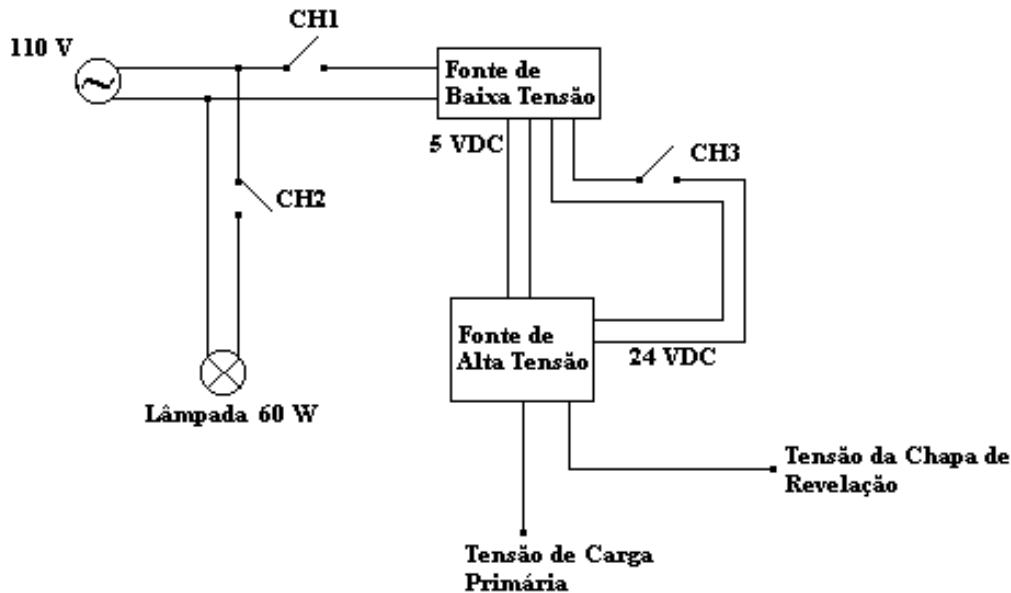
Consiste numa base de madeira onde foi colocado duas laterais para a montagem do cilindro fotocondutor. Para fixá-lo utilizou-se duas rodas de madeira que foram colocadas nas extremidades e um eixo metálico, com rosca para fixação das rodas, ao longo do cilindro. Foi adaptada uma manivela na extremidade do eixo para que o cilindro fotocondutor pudesse ser girado.

Foi adaptado próximo ao cilindro fotocondutor o bloco de carga primária, sendo ligado a ele a fonte de alta tensão responsável por gerar a voltagem necessária ao processo. Outra finalidade do eixo metálico, além de fixação, é de gerar o ponto de conexão terra. A fonte de baixa tensão é responsável por gerar +24 VDC, que é responsável por alimentar a fonte de alta tensão, e +5 VDC, que é utilizada para enviar o sinal de acionamento da alta tensão utilizada. Uma lâmpada incandescente foi adaptada para que o cilindro fotocondutor fosse iluminado. Utilizou-se também 3 chaves que são utilizadas para:

- Ligar / Desligar o protótipo (CH1);
- Ligar / Desligar iluminação artificial (luz incandescente / CH2);
- Ligar / Desligar acionamento de alta tensão (CH3).

Um ponto importante das máquinas fotocopadoras e do projeto aqui realizado é com relação à conexão terra, pois sem ela as cargas não seriam eliminadas quando ocorresse a situação de iluminação. Utilizou-se uma pequena chapa de metal para fazer a conexão junto ao eixo central do cilindro fotocondutor. Como muitas tomadas atualmente são desprovidas da conexão terra, foi improvisada uma ligação do terra com o neutro da tomada. Assim, o primeiro procedimento a ser feito para ligar o protótipo é descobrir qual é a conexão neutro

na tomada. No protótipo foi indicado na tomada qual é o pino que deverá ser ligado no fase e qual deverá ser ligado no neutro. O aparelho funciona em 110VAC, não podendo o mesmo ser ligado em 220VAC pois poderá ocorrer a sua queima. Abaixo temos uma figura das ligações elétricas:



Foi colocado no lado oposto ao bloco de carga primário uma base de madeira com uma chapa de alumínio sobre ela, com a finalidade de se colocar os materiais a serem atraídos para o tambor fotocondutor. À chapa de alumínio foi ligada uma conexão de alta tensão para que os materiais adquirissem cargas e pudessem ser atraídos. Alguns teste foram realizados sem essa chapa de alumínio e foi constatado que os materiais não foram atraídos ao tambor fotocondutor. Para essa conexão foi utilizada uma alta tensão AC, que é gerada pela placa, da ordem de 1300VAC. Assim quando estamos na situação de muita luz, ou seja, com a lâmpada incandescente ligada, quase toda a tensão do bloco de carga primário fluirá para o terra, e o material não será atraído para o tambor fotocondutor. Na situação de pouca luz, ou seja, com a lâmpada incandescente desligada, o material deverá ser atraído para o tambor fotocondutor. Testes foram realizados com diversos materiais como pó de grafite, toner, glitter, pedaços de papel, palha de aço moída e pequenas esferas de plástico. Os testes serão relatados no item resultados obtidos

Abaixo está descrito os materiais utilizados:

- 1 chapa de madeira de 47,5 x 72,5 cm;
- 2 chapas de madeira de 23,5 x 34,5 cm;
- 4 ripas de madeira de 6,0 x 37,0 cm;
- 2 rodas de madeira de diâmetro 18,7cm;

- Eixo metálico com rosca;
- 1 lâmpada incandescente de 60 W;
- 3 chaves Liga/Desliga;
- 1 chapa de alumínio de 12,5 x 4,5 cm;
- 1 caixa de papelão de 47,5 x 31,5 x 58,5 cm;
- Fios elétricos, Parafusos de diversos tamanhos, pregos, etc.

Além desses materiais relacionados, foram utilizados os componentes das máquinas fotocopadoras relacionados mais acima.

Funcionamento e Resultados Obtidos

Conforme já mencionado, o projeto baseia-se principalmente no funcionamento do Cilindro Fotocondutivo: com a caixa selada, será ligada a lâmpada incandescente (CH3)para que as cargas residuais sejam eliminadas do cilindro. Após, será ligada a chave CH2 para que seja aplicada a alta tensão no bloco de carga primário e este, por consequência, irá carregar o tambor com um potencial eletrostático. A tensão da carga primária está em torno de - 500VDC. Utilizando uma manivela acoplada em seu eixo central, o cilindro será girado para que toda sua superfície seja carregada eletrostaticamente. Será retirada a caixa e constatado se ocorreu ou não a atração do material pelo cilindro fotocondutor. Após isso a lâmpada incandescente será desligada para que possamos obter sobre o cilindro fotocondutor uma área escura e será aplicado novamente uma alta tensão no bloco de carga primária. Girando o cilindro essa atração do material pelo cilindro fotocondutor deverá ocorrer. Vale lembrar novamente que o processo deve ocorrer sempre numa caixa selada, ou seja, a única luz dentro da caixa deverá ser a da luz incandescente. O processo será visualizado após a retirada da caixa de papelão.

Após a montagem física do aparelho foi iniciado diversos testes para a obtenção de materiais que pudessem ser atraídos para o cilindro. O primeiro teste consistiu em utilizar materiais plásticos, como o glitter e pequenas esferas. Os resultados não foram positivos pois os materiais não foram atraídos. Foram testados ainda o grafite, o papel, e o próprio toner utilizado nas máquinas de fotocópias, sem que qualquer resultado positivo pudesse ser observado.

Utilizando então um multímetro foi medida a tensão na chapa que faz a conexão terra. Isso foi feito para que pudessemos medir a tensão que estava fluindo para o terra na situação de pouca luz e de muita luz. Obtivemos as seguintes medidas:

	Tensão na conexão terra
Escuro	-36 VDC
Muita Luz	-450 VDC
Luz Ambiente	-280 VDC

De acordo com essas medidas obtidas observamos que o princípio do material fotocondutor havia sido provado e seu funcionamento estava correto. Ou seja, na situação de pouca luz o material fotocondutivo apresenta uma certa resistência elétrica, fazendo com que uma parte da tensão aplicada pelo bloco primário flua para o terra e outra parte esteja aplicada sobre o cilindro, carregando-o. Já na situação de muita luz ocorre a diminuição da resistência elétrica do material fotocondutor, fazendo com que se torne mais condutivo. Dessa forma observamos uma tensão bem elevada no eixo central, pois quase toda a tensão aplicada sobre o cilindro esta fluindo para o terra.

Porém os testes em que os materiais deveriam ser atraídos não foram positivos. Após algumas pesquisas foi concluído que havia a necessidade de se adaptar no projeto uma pequena placa de alumínio sobre a base de madeira onde se coloca o material a ser atraído, e aplicado nessa chapa uma alta tensão que será transmitida para o material para que também esteja carregado eletrostaticamente. Isso porque foi observado que nas máquinas de fotocópia existe um componente, já relatado no item Teoria da Máquina Fotocopiadora, que chama-se Unidade de Revelação. É nessa unidade que o toner é depositado e existe aplicado a ela uma tensão AC e uma DC simultaneamente. É devido a essa tensão que o toner será mandado da unidade de revelação para a superfície do cilindro fotocondutor.

Após a adaptação da chapa e sua ligação com uma alta tensão AC/DC, foram realizados novos testes. Assim obteve-se os seguintes resultados para a situação de lâmpada apagada:

Material Utilizado	Resultado
Grafite	Atraiu
Toner	Não Atraiu
Palha de Aço	Atraiu
Esferas de Plástico	Não Atraiu
Glitter	Não Atraiu
Papel	Não Atraiu

Para a situação de lâmpada acesa obteve-se os seguinte resultados:

Material Utilizado	Resultado
Grafite	Algumas partículas foram atraídas
Toner	Não Atraiu
Palha de Aço	Algumas partículas foram atraídas
Esferas de Plástico	Não Atraiu
Glitter	Não Atraiu
Papel	Não Atraiu

Analisando esses dados concluiu-se que apenas materiais condutivos foram atraídos. Isso ocorreu porque os materiais foram apenas depositados sobre a chapa metálica, não ocorrendo nenhuma interação física entre eles que pudesse gerar cargas eletrostáticas. Como exemplo citamos o próprio toner dentro da unidade de revelação numa máquina copiadora.

Originalmente o toner possui propriedade isolante, porém atritando-se mutuamente e com o cilindro metálico da unidade de revelação adquire carga positiva, ficando apto a ser atraído para o cilindro fotocondutor. Em nossa aplicação, o toner não foi atritado, mantendo sua propriedade isolante e não adquirindo carga nenhuma. Já no caso da grafite, como é um material que conduz corrente elétrica, a aplicação da alta tensão foi uniforme ao longo do material depositado sobre a chapa.

Adotou-se então o grafite como material perfeito para a utilização em nossa aplicação didática. Foram realizados ainda alguns testes com relação a se tentar criar uma imagem qualquer no cilindro fotocondutor, utilizando-se áreas claras e escuras que iriam atrair ou não o grafite depositado sobre a chapa. Foi colocado sobre a lâmpada um anteparo para que obtivéssemos uma área escura no cilindro fotocondutor. Após alguns testes, observamos que não ocorreu a formação dessa imagem. Concluimos que é devido a dois fatores: o primeiro é que as partículas de grafite são maiores que as partículas de toner, fazendo com que a definição de uma imagem não seja clara; e outro ponto é que o grafite possui condutividade muito melhor que o toner, mesmo estando na condição de carga positiva. Isso faz com que mesmo que a lâmpada esteja acesa o cilindro não se descarrega totalmente, e qualquer pequena quantidade de carga na superfície do cilindro irá atrair o pó de grafite. É por isso que obtemos na situação de luz acesa alguma atração do pó de grafite pelo cilindro fotocondutor.

Seguindo o raciocínio anterior, foi realizado um teste com a lâmpada apagada mas com a caixa aberta. Ou seja, com a aplicação de luz externa. Como a superfície do tambor não se descarregou totalmente ocorreu a atração do pó de grafite pelo cilindro fotocondutor, porém em menor quantidade.

Concluimos então que o protótipo montado pode ser utilizado para a simulação do funcionamento da máquina fotocopadora (utilizando-se a caixa lacrada), e para a visualização da atração eletrostática entre corpos (utilizando-se a caixa aberta).

Muitos conceitos de eletricidade podem ser explorados com esse projeto como cargas elétricas, Potencial eletrostático, corrente elétrica, tensão AC e tensão DC, resistência elétrica, conexão terra, materiais condutivos e semicondutores, etc, ficando a cargo de um professor sua melhor forma de aplicação.

Ainda sobre o protótipo, algumas melhorias podem ser feitas como a implementação de uma unidade de revelação ao invés da utilização da placa metálica. Ou mesmo a implementação de um medidor para a obtenção da tensão que está fluindo para a conexão terra. Mas isso ficará para uma outra oportunidade.

Referências

Material utilizado para pesquisa sobre funcionamento da máquina fotocopadora

1. Service Manual - Fotocopadora Canon NP2120/2020 - Revisão 2BR
2. Manual da fotocopadora Xerox modelo 4235
3. Service Manual - Fotocopadora Canon IR400 - Revisão 2BR

Material utilizado para pesquisa sobre teoria eletrostática

4. Alonso & Finn, vol.2, *Física:um curso universitário* Campos e Ondas, Ed. Edgard Blücher Ltda,
5. Halliday, Resnick, Walker, vol.3, *Fundamentos de Física Eletromagnetismo*, LTC, Rio de Janeiro, 1996.
6. Livro do Anglo, Física - Eletricidade Básica

Sites que relatam a história da máquina fotocopadora e sobre seu criador

7. <http://br.geocities.com/saladefisica>
8. www.matercop.com.br/historiadoxerox1.html
9. www.terravista.pt/nazare/1077/aplicacoes.htm
10. [http://geocitiesyahoo.com.br/saladefisica/funciona/xerox.htm](http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica/funciona/xerox.htm)
11. <http://copiadoras.tripod.com/dica10.htm>
12. www.invent.org/hall_of_fame/27.html
13. <http://inventors.about.com/library/inventors/blxerox.htm>
14. <http://members.tripod.com/earthdude1/xerox/xerox.html>
15. www.physics.voghelph.ca/summer/scor/articles/scor54.htm
16. www.invent.org/book/book-text/20.html