

UNICAMP

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp

Relatório Final

F 609 – Tópicos de Ensino de Física I
Prof.º Dr. José Joaquim Lunazzi

Projeto Motor Stirling

Aluno: Renato Peron da Silva RA: 035616
e-mail: rpsperon@gmail.com



Orientador: Jorge Isaias Llagostera Beltran
e-mail: llagost@fem.unicamp.br

Sumário:

1 – Descrição	03
2 – Parte Experimental.....	05
3 – Teoria.....	12
4 – Princípio de Funcionamento.....	13
5 – Funcionamento do Motor Stirling.....	15
6 – Dificuldades Encontradas.....	16
7 – Análise do Projeto.....	17
8 – Conclusão.....	18
9 – Comentários do Orientador.....	18
10 – Referências.....	19
11 – Anexo 1.....	21

Descrição

O motor Stirling é um motor de combustão externa, aperfeiçoado pelo pastor escocês Robert Stirling em 1816, auxiliado pelo seu irmão engenheiro. Eles visavam a substituição do motor a vapor, com o qual o motor Stirling tem grande semelhança estrutural e teórica. No início do século 19, as máquinas a vapor explodiam com muita frequência, em função da precária tecnologia metalúrgica das caldeiras, que se rompiam quando submetidas à alta pressão. Sensibilizados com a dor das famílias dos operários mortos em acidentes, os irmãos Stirling buscaram conceber um mecanismo mais seguro. É referido também como "motor de ar quente", por utilizar os gases atmosféricos como fluido de trabalho.

Este tipo de motor funciona com um ciclo termodinâmico composto de 4 fases e executado em 2 tempos do pistão: compressão isotérmica (=temperatura constante), aquecimento isométrico (=volume constante), expansão isotérmica e resfriamento isométrico. Este é o ciclo idealizado (válido para gases perfeitos), que diverge do ciclo real medido por instrumentos. Não obstante, encontra-se muito próximo do chamado Ciclo de Carnot, que estabelece o limite teórico máximo de rendimento das máquinas térmicas.

O motor Stirling surpreende por sua simplicidade, pois consiste de duas câmaras em diferentes temperaturas que aquecem e resfriam um gás de forma alternada, provocando expansão e contração cíclicas, o que faz movimentar dois êmbolos ligados a um eixo comum. O gás utilizado nos modelos mais simples é o ar (daí a expressão citada acima); hélio ou hidrogênio pressurizado (até 15 MPa) são empregados nas versões de alta potência e rendimento, por serem gases com condutividade térmica mais elevada e menor viscosidade, isto é, transportam energia térmica (calor) mais rapidamente e têm menor resistência ao escoamento, o que implica menos perdas por atrito. Ao contrário dos motores de combustão interna, o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor; trata-se portanto de uma máquina de ciclo fechado.

Teoricamente, o motor Stirling é a máquina térmica mais eficiente possível. Alguns protótipos construídos pela empresa holandesa Phillips nos anos 50 e 60 chegaram a índices de 45%, superando facilmente os motores a gasolina, diesel e as máquinas a vapor (eficiência entre 20% e 30%). A fim de diminuir as perdas térmicas, geralmente é instalado um "regenerador" entre as câmaras quente e fria, onde o calor (que seria rejeitado na câmara fria) fica armazenado para o fase seguinte de aquecimento, incrementando sobremaneira a eficiência termodinâmica. Há 3 configurações básicas deste tipo de motor: Alfa - com cilindros em V; Beta - com êmbolos co-axiais num mesmo cilindro e Gama - com cilindros em linha (ver links externos).

Existem modelos grandes com uso prático e modelos didáticos, minúsculos, acionados até pelo calor de uma mão humana.

Esse tipo de motor apresenta diversas vantagens: é pouco poluente pois a combustão é contínua, e não intermitente como nos motores Ciclo de Otto e Ciclo Diesel, permitindo uma queima mais completa e eficiente do combustível.

Por isso é muito silencioso e apresenta baixa vibração (não há "explosão"). É verdadeiramente multi-combustível, pode utilizar praticamente qualquer fonte energética: gasolina, etanol, metanol, gás natural, óleo diesel, biogás, GLP, energia solar, calor geotérmico e outros. Basta gerar uma diferença de temperatura significativa entre a câmara quente e a câmara fria para produzir trabalho (quanto maior a diferença de temperatura, maior é a eficiência do processo e mais compacto o motor).

Sua maior desvantagem consiste na dificuldade de dar partida e variar sua velocidade de rotação rapidamente, sendo complicado seu emprego em veículos como carros e caminhões, embora modelos de propulsão híbrida (elétrico e motor térmico) possam ser viáveis. Também há problemas técnicos a serem resolvidos quanto ao sistema de vedação, que impede o vazamento do fluido de trabalho, particularmente quando se empregam gases inertes e leves (hélio, hidrogênio), difíceis de serem confinados sob alta pressão sem escaparem para o exterior. Além disso, por ser uma tecnologia pouco difundida, os motores Stirling são mais caros, tanto na aquisição quanto na manutenção.

Parte Experimental

Para a construção do Motor Stirling foi feita uma pesquisa na internet, onde encontrou-se diversos modelos interessantes e que utilizavam materiais de fácil acesso. Porém escolheu-se apenas um modelo, mostrado a seguir:

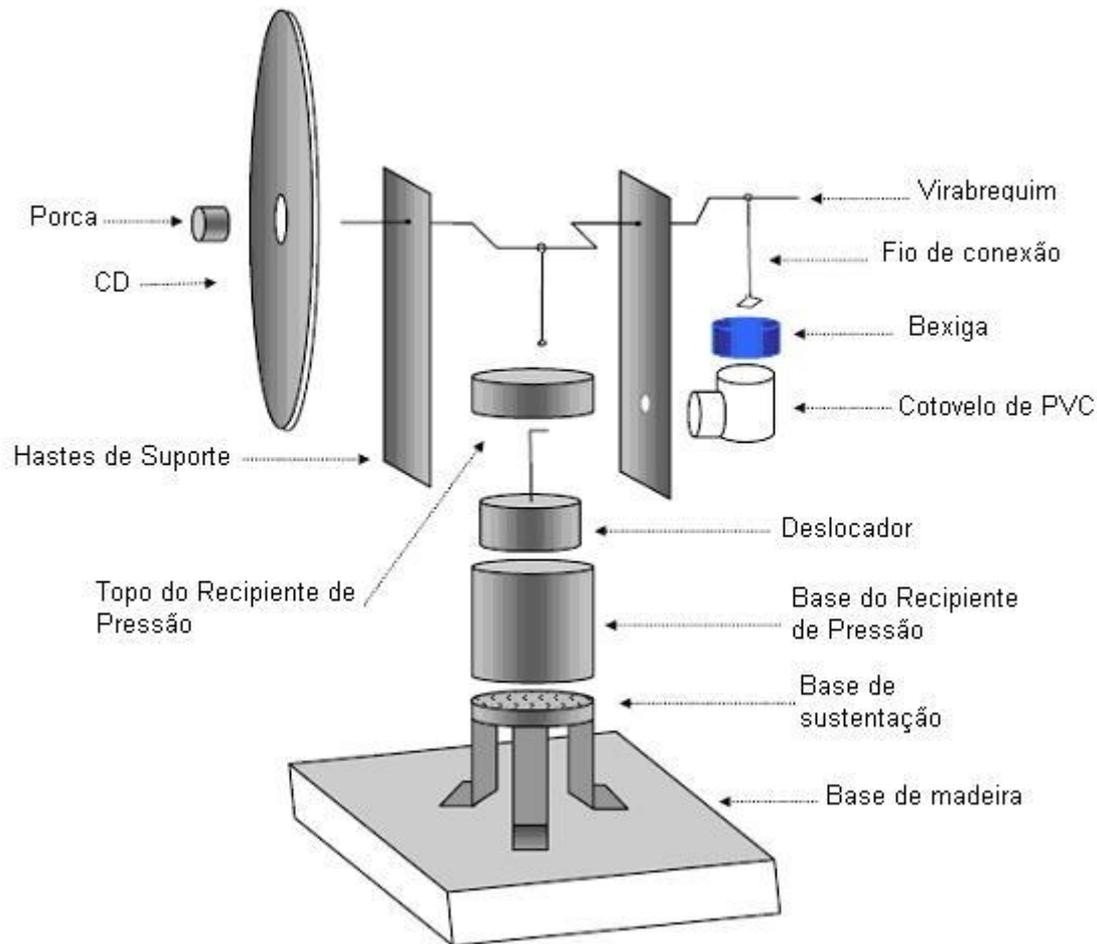


Figura 1: modelo do Motor Stirling

A maioria dos materiais utilizados, na construção do Motor Stirling, é de fácil acesso e custo reduzido. O único material de difícil acesso foi a cola de silicone para alta temperatura, já que nem todas as pessoas conhecem esse tipo de cola e acabavam não sabendo informar onde poderia ser encontrada. No entanto, essa cola é facilmente encontrada em lojas de auto-peças e não possui também um custo elevado.

A lista dos materiais utilizados encontra-se no Anexo 1.

Após a obtenção dos materiais necessários, deu-se início a construção e montagem do Motor, começando pela base que sustentará o Motor. Esta base foi feita a partir de uma lata de refrigerante, onde se cortou o fundo e deixou-se 3 apoios. Estes apoios receberam um reforço de metal colado com cola Epóxy, pois o alumínio é um material de fácil deformação, fazendo com que estes talvez não suportassem o peso do Motor, conforme mostrado a seguir:



Figura 2 – Base de sustentação do Motor Stirling

Em seguida foi feita a base e o topo do recipiente de pressão, e também a base e o topo do displacer (pistão ou deslocador). A base e o topo também foram feitas com latas de refrigerantes. Na base foi feito um furo de $\frac{1}{4}$ " por onde entrará o ar que resfriará o Motor. Já no topo do recipiente de pressão foi feito um furo localizado bem no centro do fundo da lata, por onde passará o pino preso ao deslocador.



Figura 3 – Topo do recipiente com a porca e o pedaço de aço e Base do recipiente

O deslocador pode ser construído de duas formas:

1-Pegue uma lata que tenha um raio cerca de 2 milímetros menor que a lata utilizada na base. O movimento do deslocador dentro da base deve ser suave em sem muito atrito.

2-Pegue uma lata de refrigerante e corte o fundo e o topo. Em seguida, faça um corte vertical no cilindro resultante, e cole com a cola de silicone para altas temperaturas, de modo a obter um novo cilindro com cerca de 95% do tamanho original.

O topo do deslocador pode ser construído a partir do fundo da lata recortada de modo que se ajuste perfeitamente ao novo tamanho do cilindro feito. Faça um furo pequeno o suficiente para que a agulha ou pino utilizado possa deslizar suavemente sem movimentar-se para os lados (verifique bem isso) e que este esteja exatamente na posição vertical. Segue abaixo a foto do deslocador montagem de acordo com a primeira forma:



Figura 4 – Displacer ou Deslocador

Em seguida foram feitas as hastes que serão coladas ao lado da base e que sustentaram o eixo (virabrequim) que interligará o deslocador ao cilindro responsável pelo resfriamento. As hastes são também de fácil construção podendo ser utilizado as laterais de latas de refrigerante ou mesmo algum outro tipo de material que seja de fácil manuseio. Faz-se um furo em cada haste, por onde passará o virabrequim, e uma das hastes faz-se um outro furo, na parte de baixo, por onde entrará o ar que resfriará o Motor. Com o auxílio da cola de silicone, cola-se a haste junto à base.



Figura 5 – Hastes de suporte do virabrequim

O virabrequim foi feito utilizando um pedaço de fio. O ideal é que este fio seja de fácil manuseio e que não deforme muito fácil, pois isso poderia prejudicar o funcionamento do Motor. O modelo utilizado foi o seguinte:



Figura 6 – Modelo do virabrequim

É importante ressaltar que no local indicado pela seta deva ter um ângulo de 90° formado em relação ao deslocador e ao cilindro de resfriamento.

Para o cilindro de resfriamento foi utilizado um pedaço de cano de PVC. Nele foi feito um furo de aproximadamente $\frac{1}{4}$ ", por onde passa um tubo de metal, obtido a partir de uma caneta. Este tubo foi colocado ao lado da base do recipiente de pressão e colado com a cola de silicone para alta temperatura. No topo desse cilindro foi colocada uma bexiga que atuará como diafragma. A bexiga será conectada junto ao virabrequim da seguinte forma:



Figura 7 – Modo de como prender a bexiga ao virabrequim

A seguir segue a foto do resfriador montado, juntamente com o pedaço de fio preso a bexiga:



Figura 8 – Resfriador

Para que o CD utilizado na montagem pudesse girar juntamente com o virabrequim, colou-se um pedaço de borracha dura no furo central e nela fez-se um pequeno furo por onde passa o fio do virabrequim, conforme mostrado abaixo:



Figura 9 – CD utilizado com o pequeno orifício por onde passará o virabrequim

Com a construção das partes separadas do Motor, iniciou-se o processo de montagem do Motor Stirling.

O deslocador foi colocado dentro da base do recipiente de pressão e em seguida tampou-se com o topo do recipiente, de modo que o pino preso ao deslocador passasse suavemente pelo buraco feito no topo do recipiente. Após isso, pegou-se a porca de $\frac{1}{4}$ " de diâmetro interno e um pedaço de metal (com um furo no centro) e com o auxílio da cola de silicone para alta temperatura colou-se a porca em cima do topo, e o pedaço de metal em cima da porca. Sempre verificando se o pino do deslocador desliza suavemente por entre os dois.

A seguir, após colar o cilindro de resfriamento ao lado da base do recipiente de pressão e conectá-lo ao virabrequim conforme mostrado na figura 7, faz-se o mesmo para o deslocador, da seguinte forma:

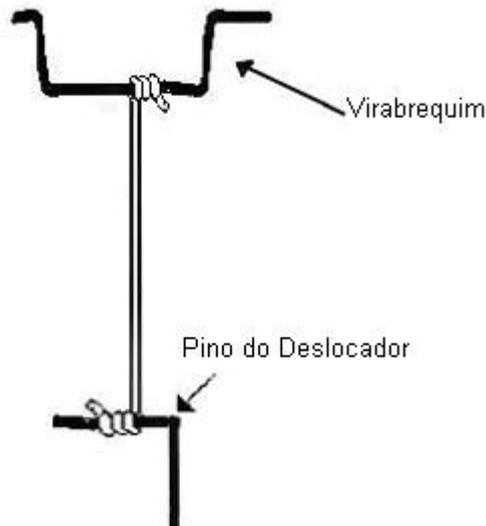


Figura 10 – Modo de como prender o pino do deslocador ao virabrequim

A construção dessa parte do projeto requer um cuidado extra, pois a amplitude do U formado no virabrequim não pode ser maior que a amplitude de altura do pino do deslocador. Pois caso isso aconteça o virabrequim não dará uma volta completa e o motor não funcionará.

Teoria

Os motores Stirling são conhecidos também como motores de combustão externa. Estes dispositivos funcionam de acordo com o ciclo Stirling, utilizando geralmente como fluidos de trabalho o hélio, hidrogênio ou nitrogênio. A figura a seguir representa o funcionamento do ciclo Stirling, com suas diversas fases sem considerar as perdas (ciclo ideal).

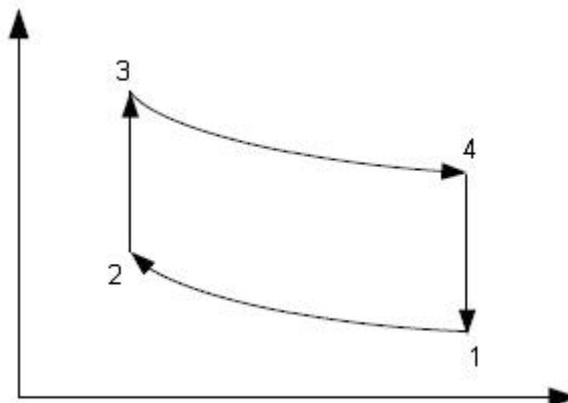


Figura 11 – Diagrama P x V do ciclo Stirling

Onde:

- 1-2 - Compressão isotérmica (na qual há também rejeição de calor).
- 2-3 - Calor é transferido ao fluido de trabalho a volume constante.
- 3-4 - Expansão isotérmica (há também transferência de calor ao fluido de trabalho).
- 4-1- Calor é rejeitado a volume constante.

Um exemplo desse processo é mostrado na figura abaixo:

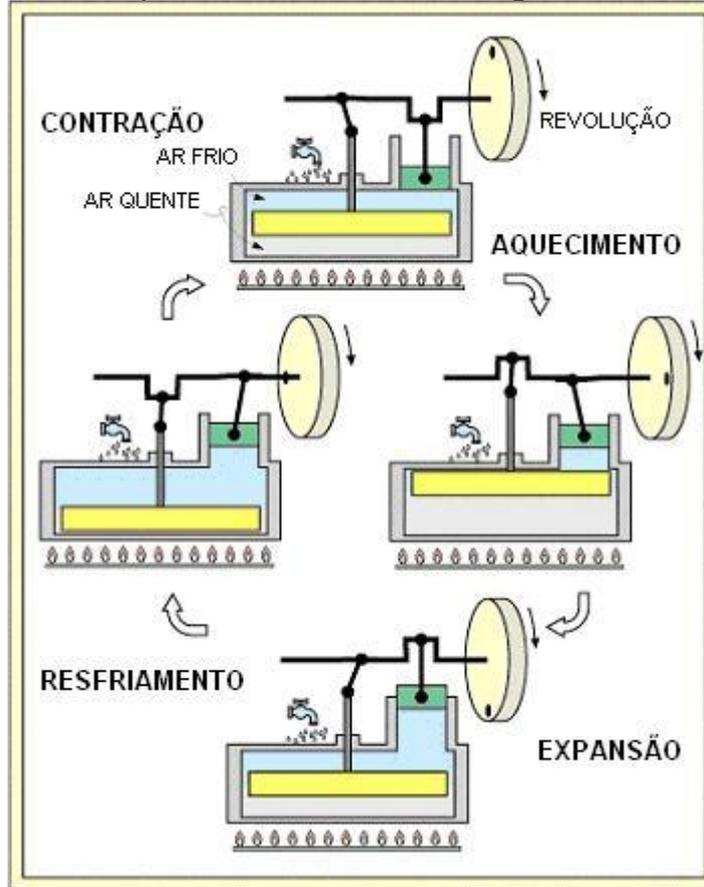


Figura 12 – Esquema do funcionamento do Motor Stirling

O ciclo termodinâmico Stirling permite a construção de motores que podem funcionar a partir de qualquer fonte de calor. As pesquisas são recentes em todas as partes do mundo, como os protótipos desenvolvidos pela Phillips.

A possibilidade de utilização de vários tipos de combustíveis, (gás natural, óleo combustível, biomassa, diesel, gasolina, álcool, solar, entre outros), é um grande atrativo para o seu desenvolvimento como fonte alternativa de energia.

Princípio de Funcionamento

O princípio do Motor Stirling é completamente diferente dos motores de combustão interna comuns.

Motor Stirling é um motor térmico, que trabalha a partir da energia proveniente da expansão e contração de um gás. De acordo com a lei dos gases ideais, que relaciona as propriedades do gás: temperatura (T), pressão (P) e volume (V) com número de moles (n).

$$PV = nRT \quad \text{Eq. 1}$$

onde R é a constante dos gases.

Ou seja, todo ciclo termodinâmico envolve transformações com a variação de uma destas três grandezas fundamentais dos gases, que podem ser relacionadas de acordo com a equação.

A configuração “alfa” do Motor Stirling é de certa forma, a mais fácil de ser entendida e por isto é a utilizada nesse projeto

No projeto proposto, o ar aquecido empurra o deslocador para cima, fazendo o virabrequim dar meia-volta. Com a defasagem no virabrequim, no momento em que está na posição inicial a bexiga está um pouco esticada. Ao subir e atingir o ponto mais alto de seu movimento, o virabrequim faz com que a bexiga seja empurrada para baixo, fazendo ar frio entrar na base do recipiente de pressão. Isto esfria o gás dentro do recipiente e com isso há a compressão isotérmica.

Para um processo a uma temperatura constante de um gás ideal:

$$Q = W = pV \ln(V_2/V_1) \quad \text{Eq. 2}$$

A eficiência térmica (E_f) do ciclo de Stirling é:

$$E_f = (Q_s - Q_r) / Q_s = [p_1 V_1 \ln(V_2/V_1) - p_3 V_3 \ln(V_3/V_4)] / p_1 V_1 \ln(V_2/V_1) \quad \text{Eq. 3}$$

$$E_f = [mRT_1 \ln(V_2/V_1) - mRT_3 \ln(V_3/V_4)] / mRT_1 \ln(V_2/V_1) \quad \text{Eq. 4}$$

Mas

$$V_2 = V_3 \text{ e } V_1 = V_4 \quad \text{Eq. 5}$$

Assim $V_2/V_1 = V_3/V_4$ e

$$E_f = (T_1 - T_3) / T_1 = (T_H - T_L) / T_H \quad \text{Eq. 6}$$

$$E_f = 1 - T_L/T_H \quad \text{Eq. 7}$$

Funcionamento do Motor Stirling

Após a junção de todas as partes descritas acima, o Motor Stirling foi construído e ficou da seguinte forma:



Figura 13 – Motor Stirling

Note que este modelo tem algumas partes diferentes das mostradas nas fotos. Isso deve-se ao fato de algumas das partes terem se danificado durante o processo de montagem, ou ainda durante a execução de furos nas laterais, estes acabaram ficando muito grandes, o que atrapalharia o projeto. Dessa forma, eu os substituí, no entanto, mantive as proporções com o modelo apresentado nesse relatório.

Apesar de ter tomado vários cuidados durante a junção das partes, e o motor apresentado acima ter um movimento suave quando se gira o virabrequim com a mão, quando acesa a chama da vela pela qual ele deveria funcionar, o pistão não desenvolve nenhum tipo de movimento. Ainda não consegui entender o porque, verifiquei apenas se tinha algo atrapalhando o movimento do mesmo, porém isso não acontece. Para uma análise mais

detalhada seria necessário retirar o topo do recipiente de pressão, contudo isso é praticamente impossível de se fazer sem danificar o projeto, pois a cola de silicone para alta temperatura tem grande resistência e poder de vedação.

Dificuldades Encontradas

Durante a construção do Motor Stirling, aconteceram alguns imprevistos e grandes dificuldades em relação à construção do mesmo. Tais dificuldades, podem ter acarretado para o não funcionamento do motor conforme o esperado.

Uma das primeiras dificuldades encontrada foi a de construir um deslocador que pudesse deslizar suavemente dentro da base do recipiente de pressão. Foram feitas várias tentativas para solucionar o problema, desde o uso de outros tipos de latas, construção do modelo apresentado no relatório, porém mesmo tomando todo o cuidado possível, o deslocador não deslizava suavemente, causando assim um atrito entre ele e o recipiente de pressão. Pensei então, em construir um recipiente de pressão maior do que algum deslocador já pronto. Dessa forma, utilizei uma lata de energético para o deslocador e moldei com o auxílio de uma lata de refrigerante o recipiente de pressão. Porém, não fiz a junção do recipiente de pressão com a cola de silicone de silicone para alta temperatura e sim com a cola epóxy. Também não foi utilizada a cola de silicone para construir o fundo do recipiente de pressão. Isso pode ter deixado algum vazamento no mesmo, e impedindo posteriormente que o ar ficasse aprisionado e quando esquentado, aumentasse a sua pressão e durante a expansão empurrasse o deslocador. Essa é uma das hipóteses com mais indícios de ser a causa do não funcionamento do motor. Pois ao aquecer o fundo do recipiente de pressão, o ar dentro deste deveria empurrar o pistão para cima, o que não ocorreu. Isso pode ser explicado pelo vazamento de ar conforme já dito, ou ainda que o ar não tinha potência suficiente para realizar o trabalho, mesmo este sendo aquecido.

Outra dificuldade encontrada foi a ter um fio extremamente reto e sem deformações para a construção do virabrequim. Isso pode ter feito com que o dois pistões não estivessem defasados de 90 graus.

Um outro ponto importante que pode ter ajudado para o não funcionamento do motor, é o sistema de resfriamento. Este poderia não estar resfriando o ar dentro do recipiente de pressão o suficiente para que o deslocador voltasse ao ponto de partida.

Estes problemas poderiam ser evitados caso tivesse acesso a materiais mais adequados e com mais recursos do que os utilizados no experimento.

Análise do Projeto

Nesta seção discutirei algumas idéias e motivos do porque do Motor Stirling não ter funcionado.

Logo após a construção do primeiro modelo, viu-se que este não funcionara corretamente e tentei entender o motivo. Algumas idéias já foram discutidas na seção anterior, como o vazamento de ar quente por algum orifício na junção da base com o recipiente de pressão que contém o deslocador. Partiu-se então para a construção de um novo modelo. Pensei então em encontrar algum material diferente para a construção da base do recipiente de pressão e do deslocador. Este material deveria ser um pouco mais resistente do que a lata de alumínio utilizada anteriormente. Após uma longa procura em mercador, encontrei um modelo um pouco maior do que as latas convencionais de molho de tomate. Porém esta não era suficientemente grande para abrigar o deslocador, no caso, a lata de molho de tomate. E esta lata, que era de tomates inteiros sem casca, da marca Raiola, é muito maior do que uma lata de refrigerante, impossibilitando então a construção de um deslocador utilizando a mesma. Desse modo, abandonei essa idéia e fui em busca de outros materiais.

Procurando por latas velhas em casa, percebi que uma lata de “spray” de tinta utilizada para pintar metais era exatamente um pouco menor do que a lata de refrigerante. Com muito cuidado, cortei o fundo dessa lata e fiz um furo no centro por onde encaixaria o pino do deslocador. Também lixei as paredes do novo deslocador, de modo a minimizar o atrito entre ele e a lata de refrigerante. Notou-se então que este por mais rente à parede do recipiente de pressão, este ainda deixava escapar um pouco de ar quando se fazia o movimento com a mão. Pensei então em adicionar alguma graxa ou óleo para evitar tal efeito. A graxa utilizada realmente diminuía esse efeito quando aplicada, no entanto, quando o recipiente era levado a chama de fazia o motor funcionar, esta tinha suas características físicas e químicas alteradas devido ao calor, criando impurezas e fazendo com que o atrito fosse ainda maior, ao invés de diminuí-lo. Dessa forma, excluí o auxílio por meio de graxas para o funcionamento do motor.

Com isso, construí um modelo sem utilizar qualquer tipo de graxa ou óleo, modelo este que foi apresentado ao prof. Lunazzi. Durante a apresentação foi discutido entre nós algumas situações. *Poderia estar tendo vazamento em alguma parte do recipiente de pressão? O deslocador deveria ser de algum material termicamente isolante? O modelo seria pequeno demais, com isso não haveria potência suficiente para fazê-lo funcionar?*

Para a resposta a esses questionamentos, utilizarei como fonte o modelo encontrado na internet e tomado como modelo para a construção do Motor. Para verificar se havia algum vazamento, foi utilizado uma técnica semelhante à utilizada em casa quando faz-se a instalação de um botijão de gás de cozinha. Pega-se uma esponja com detergente e aplica sobre a válvula do gás, e caso haja a formação de bolhas, indica que há gás vazando e que é necessário conectá-lo melhor. Feito isso, verificou-se que não havia vazamento em nenhuma das partes do recipiente de pressão, ou seja, tanto na junção com a sua tampa, quanto pelo pino do deslocador. Em seguida, partimos da idéia de que a base do recipiente de pressão poderia dilatar mais do que o deslocador, fazendo com que o houvesse mais espaço entre o deslocador e a parede do recipiente, o que faria o ar quente subir para a parte de cima e

conseqüentemente não aumentando sua pressão e empurrando o deslocador para cima. Surgiu então a idéia de um deslocador termicamente isolante, o que impediria esta passagem de calor. Porém segundo as instruções utilizadas, não se faz em momento nenhuma menção a este fato, pois o mesmo é construído com latas de refrigerante. Ainda segundo o modelo proposto, o deslocador pode ter um espaço livre de cerca de 2 milímetros quando centralizado com a base do recipiente de pressão. O último modelo apresentado, com certeza, possuía muito menos espaço do que o informado, e mesmo assim não funcionou. E o modelo não seria pequeno demais também, pois a construção segue o modelo apresentado na Referência 1, que utiliza os mesmos materiais utilizados aqui. Há vídeos na site da referência que mostram o modelo apresentado funcionando corretamente. Porém em nenhum momento há uma descrição detalhada da construção do deslocador em relação à base do recipiente de pressão, sendo que este é a parte mais importante do sistema, já que se este não funciona, não haverá movimento do motor.

Conclusão

Após o término do experimento, a conclusão que podemos tirar é que apesar de todos os cuidados tomados durante a construção do Motor, este ainda não funcionou e o motivo pelo qual isso aconteceu ainda não foi descoberto. Imagino que possa ser algo com relação ao pistão. Pois ao acender a chama, o ar embaixo do pistão deveria aquecer e empurrar o deslocador para cima, dando assim início ao ciclo de Carnot e conseqüentemente ao seu funcionamento. Como isso não acontece, suponho que o problema esteja nessa parte.

Comentários do Orientador

O Prof. Jorge Llagostera ressalta o esforço do aluno durante a execução do projeto, embora este não tenha funcionado perfeitamente. Sobre o relatório, o Prof. Jorge considera que o texto está bem escrito e que condiz com o projeto apresentado.

Referências

1. <http://www.physics.sfasu.edu/astro/courses/egr112/StirlingEngine/stirling.html>

Site que contém o modelo apresentado na figura 1 e instruções de montagem.

2. http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling

Descrição histórica de como surgiu o motor e sobre seu funcionamento.

3. <http://carros.hsw.uol.com.br/motores-stirling2.htm>

Site educativo que traz explicações sobre como funcionam aparelhos, equipamentos, máquinas.

4. <http://www.arena.com.pt/ntec.html>

Site com algumas informações sobre o motor Stirling e alguns links para outras pesquisas.

5. <http://www.monsterguide.net/lang/pt/how-to-build-a-stirling-engine.shtml>

Site que traz informações sobre como construir um motor Stirling.

6. <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/indexe.htm>

Site japonês onde encontra-se outros modelos de motores Stirling

7. <http://www.boydhouse.com/stirling/index.html>

Site com fóruns sobre Motores Stirling e que contém fotos de modelos construídos pelos membros do fórum.

8. <http://members.aol.com/hstierhof/index.html>

Site com alguns modelos exóticos de motores Stirling

9. <http://130.94.182.150/stirling.htm>

Site com instruções sobre como construir dois outros modelos de motores Stirling

10. <http://www.pureenergysystems.com/os/StirlingEngine/photologie/>

Site com instruções e diferentes modelos possíveis de construção do motor Stirling.

11. <http://www.moteur-stirling.com/modeluk.htm>

Site com fotos e vídeos de motores Stirling de vários modelos

12. <http://www.photologie.fr/>

Versão francesa da referência 10.

 (Todos os sites foram acessados em 03/07/2008)

Anexo 1

Lista de Materiais:

Para a realização do experimento será utilizado alguns materiais de fácil acesso a grande maioria da população. Entre eles estão:

- Latas de alumínio (refrigerante)
- Cola do tipo resina Epóxy
- Cola de silicone para altas temperaturas
- Arames ou fios de cobre
- Tubos de PVC
- Bexiga
- Porcas, parafusos e arruelas.
- Suporte de metal
- Disco de CD ou DVD antigo
- Madeira para a base