

USO DE ENERGIA SOLAR COMO FONTE DE CALOR PARA ACIONAMENTO DE MOTOR STIRLING DE BAIXA TEMPERATURA DIFERENCIAL NA CONFIGURAÇÃO TIPO GAMA EM ÁREAS RURAIS E REMOTAS.

Lucas Ambrósio paz e silva¹, Jakson Gomes de Oliveira Junior², Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho³

Resumo: Este artigo fornece uma revisão de literatura sobre motores Stirling movidos a energia solar com a tecnologia de baixa temperatura diferencial. Uma série de trabalhos de pesquisa sobre o desenvolvimento desses motores são discutidos. O objetivo desta revisão é encontrar uma solução viável que possa levar a um projeto conceitual de um motor Stirling com diferencial de baixa temperatura acionado por energia solar. Os resultados do estudo indicam que os motores Stirling trabalhando com ar de temperatura relativamente baixa são motores potencialmente atraentes, especialmente os motores Stirling com diferencial de baixa temperatura movidos a energia solar, em configuração gama.

Palavras-chave: Motor Stirling; Motor a gás quente; energia solar.

1. INTRODUÇÃO

Motor Stirling é uma máquina térmica de combustão externa, que opera com um conjunto pistão biela, podendo ser em diversas configurações, funcionando em um regime termodinâmico de ciclo fechado, e que também é conhecido como motor a gás quente [1], por utilizar gases como fluido de trabalho. Sua energia vem de uma fonte de calor externa, ao contrário aos tradicionais motores a combustão interna que em comparação o motor Stirling tem um maior rendimento [2], outra vantagem dele é que seu combustível vem de uma fonte de calor, podendo ser desde da luz do sol a queima dos tradicionais combustíveis fósseis que já conhecemos, isso faz dele uma máquina muito versátil podendo ter diversas aplicações desde da indústria aeroespacial, a geradores.

O cenário em que esse motor foi idealizado, em 1816, era composto por apenas motores a vapor que operavam em um regime de alta pressão e com a falta de desenvolvimento dos materiais, esses que não tivessem suas propriedades alteradas com as variações térmicas que o motor operava e tivessem uma boa condutividade térmica, coisa que hoje já temos técnicas de manipular os aços inoxidáveis e suas variações. O número de acidentes com esse tipo de mecanismo era alto. Então, o reverendo escocês Robert Stirling[3], seu inventor, vendo seus fiéis morrendo em decorrência de acidentes com motores a vapor, teve o intuito de desenvolver uma máquina que gerasse a mesma ou mais potência, que as máquinas da época, operando em faixas de pressões mais baixas assim tornando o mecanismo mais seguro. Porém seus conceitos esbaram em algumas limitações da engenharia da época, primeiro que não havia materiais com a resistência térmica suficiente operar na faixa de trabalho ideal do mecanismo, e logo depois com a chegada dos motores a combustão interna, todas as outras tecnologias foram deixadas de lado.

Com o passar dos anos as máquinas foram ficando cada vez mais com um melhor rendimento, em contrapartida os recursos energéticos cada vez mais escassos, invalidando tecnologias já consagradas, fazendo surgir novas e rever algumas antigas que foram deixadas de lado, o motor Stirling pode ser considerada um que foi deixada de lado, sendo assim interessante revê-lo em um novo cenário, com novos materiais, diferentes gases de trabalho, diversas fontes de combustível e em uma configuração específica gama, sendo a configuração mais simples e confiável, já que ele pode ter basicamente três configurações alfa, gama e beta, o que determina a classificação de um determinado motor pertencer a seu respectivo grupo, é basicamente a posição dos cilindros e dos pistões da parte quente e fria.

Nesse artigo vamos identificar, descrever e analisar artigos sobre motores Stirling gama, quanto a suas características, princípios mecânicos de funcionamento, gases que possam apresentar melhores rendimentos de potência, fonte de calor com bom custo benefício, até em que situações ele pode ser melhor aplicado, assim esse artigo se trata de um estudo de revisão bibliográfica com foco nos pontos de interesses já citados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os motores Stirling são dispositivos mecânicos que trabalham teoricamente no ciclo de Stirling, nas quais fluidos compressíveis, como ar, hidrogênio, hélio ou até mesmo vapores, são usados como fluidos de trabalho. O motor

Stirling oferece a possibilidade de ter um motor de alta eficiência com menos emissões de escape em comparação com o motor de combustão interna. Já os primeiros motores de Stirling eram enormes e ineficientes. No entanto, ao longo de um período de tempo, vários novos modelos de motores Stirling foram desenvolvidos melhorando as deficiências e os tornando cada vez mais eficientes.

Os modernos motores Stirling são mais eficientes que os primeiros motores e pode usar qualquer fonte de calor de alta temperatura. O motor Stirling é um motor de combustão externa. Portanto, a maioria das fontes de calor pode alimentá-lo, incluindo a combustão de qualquer material combustível, resíduos de campo, casca de arroz ou similar, biomassa de metano e energia solar. A princípio, o motor Stirling tem projeto e construção simples e pode ser operado facilmente.

Os motores Stirling movidos a energia solar direta podem ser de grande interesse em regiões onde a energia solar está disponível em quantidade ilimitada. Para usar energia solar direta, um concentrador solar e um absorvedor devem ser integrados ao sistema do motor.

O motor Stirling pode ser usado em muitas aplicações e acaba se tornando mais viável quando temos:

1. diversas fontes de combustível a disposição;
2. uma boa fonte de refrigeração disponível;
3. necessidade de operação silenciosa;
4. operação com velocidade relativamente baixa é permitida;
5. necessidade de operação de saída de energia constante;
6. necessidade de uma lenta mudança de potência do motor;
7. ter um longo período de aquecimento.

2.1. Configurações do Motor Stirling

Com o passar dos anos, e depois de crises energéticas recorrente na história, o uso de energia alternativa vem sendo o foco tanto no campo acadêmico, como na indústria, e junto com essas novas fontes de energia, o motor Stirling vem despertando interesse por conta da sua versatilidade de funcionamento com uma gama de combustíveis dos fosseis até os renováveis. Isso por conta que em um motor de combustão externa, a queima de combustível ocorre fora da câmara do gás, assim o motor precisa apenas de uma fonte de calor, sendo inclusive a energia solar uma fonte de energia [4]. Assim, como qual quer outro motor de combustão interna, o motor Stirling tem suas variáveis, onde ele vai ser classificado basicamente, de acordo com seus respectivos conjuntos cilindros pistão, que em geral são divididos em três grupos: alfa, beta e gama.

O motor Stirling tipo Alfa apresenta configuração bi cilíndrica, sendo um cilindro de expansão e outro de compressão, também conhecido como cilindro quente e frio respectivamente, onde esses cilindros podem ter cilindradas diferentes ou não seguindo o projeto. Mas o que caracteriza o motor Stirling tipo alfa são seus cilindros defasados de 90°, onde um cilindro sofre resfriamento e um aquecimento, unidos entre si. Os dois pistões trabalham de forma que faz o gás fluir entre as duas câmaras, com esse movimento alternativos conseguimos potência de ambos os pistões.

Na configuração alfa, como mostra a Figura 1, o motor bi cilíndrico posto em serie pelo trocador de calor da fonte quente, um regenerador e a fonte fria, enquanto o fluido é aquecido, o pistão da fonte quente entra em movimento, na volta do pistão da fonte quente, expulsa o fluido da câmara quente e passa pelo regenerador que pode ser um simples duto intercalado com um material de boa condutividade dentro do duto que está entre as câmaras[5].

Embora possa ser mais simples, a configuração alfa apresenta a desvantagem de precisar de uma dupla vedação nos respectivos pistões, por conter gás de trabalho. Esses motores podem apresentar configurações mais compactas e multi cilíndrico resultando em elevadas potencias de saída para seu tamanho compacto, sendo uma das características de um motor para aplicação automotiva.

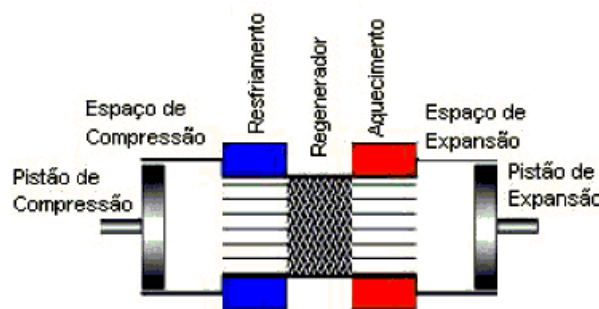


Figura 1. Motor Stirling na configuração Alfa[5].

Já o motor nas configurações beta e gama, ou motores de deslocamento com também são conhecidos, a principal característica é que o gás de trabalho é movimentado entre espaços de alta e baixa temperatura por pistão de deslocamento que fica alinhado a um pistão de trabalho de mesmo diâmetro, que fica responsável por transformar a expansão e compressão em trabalho.

Na configuração beta, os pistões de trabalho e deslocamento estão alinhados com mesmo diâmetro e em um único cilindro. Isso gera uma superposição dos pistões em cada ciclo, assim uma maior taxa de compressão é obtida, resultando em um maior torque e potência. Entretanto, o motor tipo gama requer componentes de maior resistência, já que opera em um regime de maior pressão comparado o tipo alfa. Além disso, as hastes do pistão de deslocamento e de trabalho precisam estar alinhadas, o que dá uma maior complexidade ao mecanismo [6].

A configuração é considerada a mais clássica, patenteada em 1816 por Robert Stirling. Como está esquematizado na Figura 2.

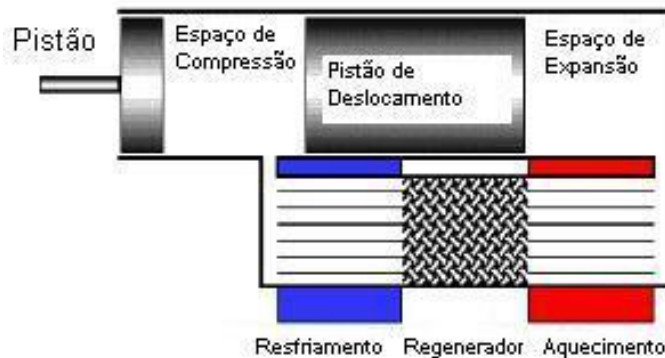


Figura 2. Motor na configuração Beta[6].

Já a configuração gama, que vai ser analisada e discutida no presente artigo, também tem um pistão de deslocamento assim como o beta, só que montado em um cilindro exclusivo, como mostra a Figura 3. Nessa configuração, a fonte quente do trocador de calor fica separada do espaço de compressão e expansão do pistão de trabalho, estando exclusivamente associada ao pistão de deslocamento [5].

Essa configuração traz algumas vantagens comparada a beta, o mecanismo é mais simples, e ajustes na taxa de compressão e incrementos de uma área separada para o trocador de calor acaba sendo relativamente fácil de se obter em comparação ao beta [6]. Entretanto, apresenta maiores volumes mortos, além do fato de do processo de expansão ocorrer no mesmo espaço da compressão, causando redução na potência de saída [5].

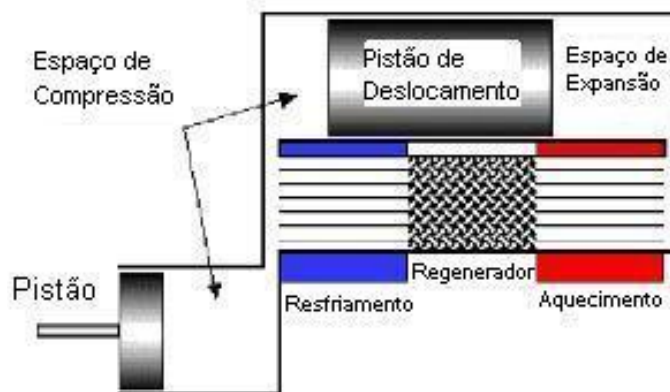


Figura 3. Motor na configuração Gama[5].

2.2. Princípio de funcionamento

O motor Stirling tem um modo de operação totalmente diferente dos motores combustão interna, que operam num ciclo de Otto, diesel, Brayton, cada ciclo operando de acordo com um combustível específico. Um motor Stirling utiliza qualquer combustível, para abastecer a fonte de calor na qual pode ser oriunda de diversos combustíveis como resíduos de plantações, biomassa, e um gás pressurizado para o trabalho de expansão e compressão dentro do cilindro, que o gás leva o nome de gás de trabalho, podendo ser ele (ar, hélio ou hidrogênio). Outra diferença que a potência é extraída pelo aquecimento e resfriamento do gás de trabalho pelo lado de fora do cilindro, não pela queima explosiva do combustível no cilindro, como acontece nos motores a combustão interna de

2 e 4 tempos por exemplo, o que faz com que o motor Stirling seja bem mais silencioso comparado aos de combustão. No motor Stirling o cilindro é preenchido com um gás de trabalho pressurizado. A função do pistão de deslocamento é transferir o gás da câmara quente para a câmara fria para a quente, acionando um ciclo de compressão e expansão, com o objetivo de aumentar ou diminuir a temperatura do gás de trabalho. Com a mudança de na temperatura do gás de trabalho causando uma mudança na pressão interna do cilindro, que gera uma força para a movimentação do pistão. Transformando um movimento linear em angular, que resulta na potência de saída no eixo do motor[7].

O motor Stirling funciona por meio de um ciclo fechado, onde o calor é adicionado nas paredes do cilindro sendo assim transferido para o gás de trabalho na parte quente da câmara, e o calor é removido na parte fria da câmara, assim na hora de projetar um motor Stirling temos que escolher um material com boa condutividade térmica para uma maior eficiência.

Para exemplificar as etapas do ciclo de um motor Stirling tipo gama, que serra apresentadas na Figura 4.

1 - 2 → O pistão de trabalho é movimentado para a esquerda e o gás é comprimido. O gás é resfriado pelo exterior através do circuito de água de resfriamento, com o objetivo de obter compressão a temperatura constante;

2 - 3 → O pistão de deslocamento é movimentado para a direita, forçando o gás passar através do canal de conexão para o volume quente, onde o gás é aquecido por uma fonte de calor. Fazendo o gás se expandir e aumentando a pressão na câmara. Porém é importante notar que o volume nesse processo é constante;

3 - 4 → Ambos pistões se movimentam para a direita, devido à expansão do gás. O gás é aquecido pelo exterior por um queimador com o objetivo de se obter uma expansão a temperatura constante;

4 - 1 → O pistão de deslocamento é movimentado para a esquerda, forçando o gás a passar pelo canal de conexão para o volume frio, onde o gás é resfriado pela água de resfriamento. Quando o gás é resfriado, sua pressão reduz até a pressão inicial. É importante notar que o volume neste processo é constante.

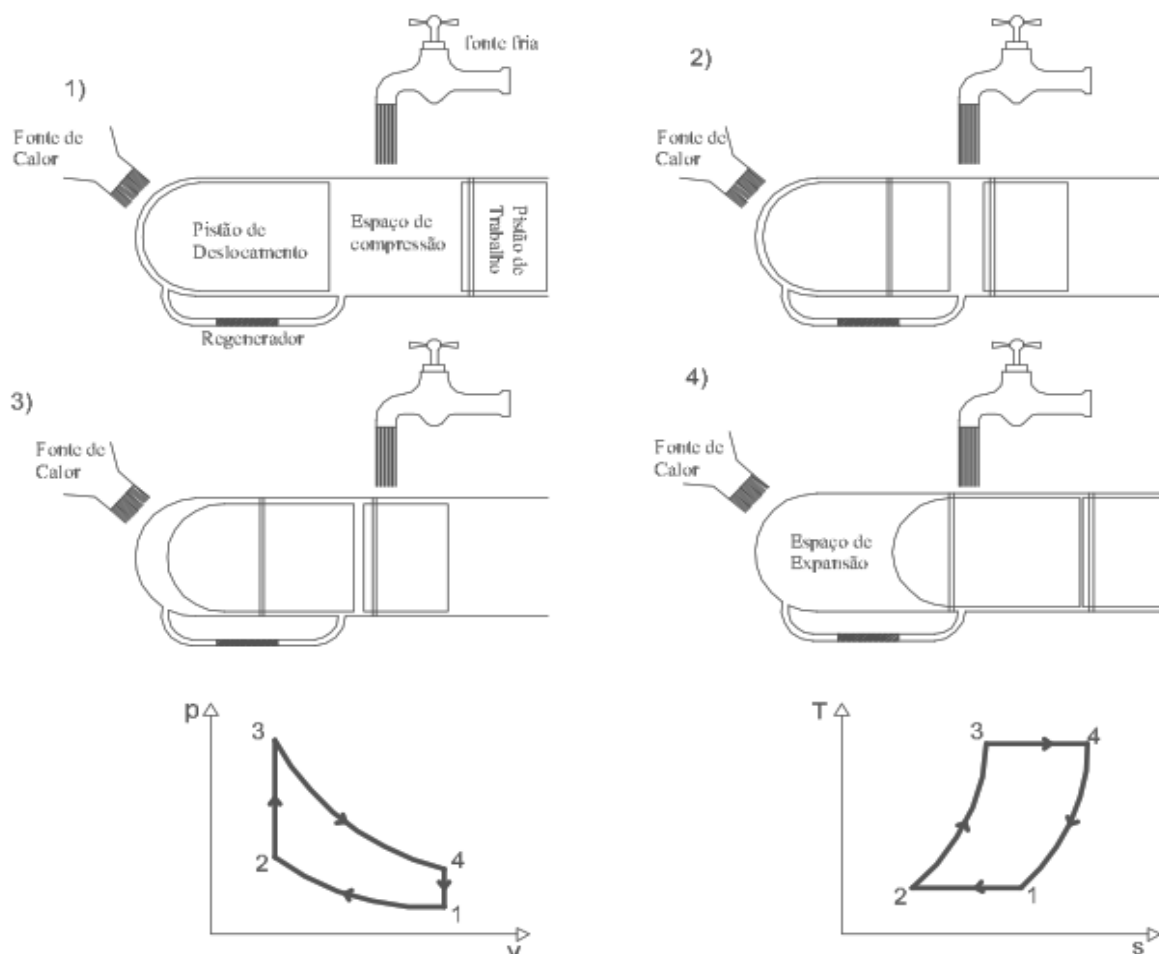


Figura 4. Princípio de funcionamento e ciclo termodinâmico do motor Stirling tipo gama[5].

Um regenerador pode ser colocado no canal entre os cilindros frio e quente, o calor pode ser armazenado, quando o gás flui do cilindro quente para o frio e usado para reaquecer o gás, quando este flui de volta para o volume quente. O ciclo de Stirling, tendo um regenerador ideal (eficiência de 100%), terá todo o calor fornecido ao fluido de trabalho de fontes externas no processo isotérmico 3-4 e todo o calor rejeitado para as vizinhanças no processo isotérmico 1-2. Portanto, a eficiência térmica do ciclo Stirling, neste caso será dada pela mesma expressão do ciclo de Carnot [25].

O motor Stirling poderia, teoricamente, ser um motor eficiente na transformação de energia térmica em trabalho mecânico baseado no ciclo de Carnot. O limite térmico da operação do motor Stirling depende do material usado na construção, fluido a ser adotado, lubrificação para amenizar as perdas por atrito e boa condutividade térmica do material empregado em sua construção. A eficiência do motor varia de 30 a 40%, resultando de uma faixa de temperatura típica de 923–1073 K e uma faixa normal de velocidade de operação de 2000 a 4000 rpm [26].

2.3. Primeira era dos motores Stirling

O motor Stirling foi o primeiro motor regenerativo de ciclo térmico. Robert Stirling Patentou o motor Stirling em 1816 (patente nº 4081). Motores baseados em sua invenção foram construídos em muitas formas e tamanhos até a virada do século. Porque os motores Stirling eram simples e seguros de operar, corriam quase silenciosamente em qualquer combustível, e eram limpos e eficientes comparados aos motores a vapor, eram bastante populares [9]. Motores de Stirling eram pequenos, porém, potência produzida pelo motor era baixa (100W a 4 KW).

Em 1853, John Ericsson construiu um grande motor marinho Stirling com quatro pistões de 4,2 m de diâmetro com um curso de 1,5 m, produzindo uma potência de freio de 220 kW a 9 rpm [12], isso mostrou que os motores Stirling podem operar em qualquer faixa de rotação. A primeira era do motor Stirling foi encerrada pelo rápido desenvolvimento da combustão interna e do motor elétrico.

2.4. Segunda era dos motores Stirling

A segunda era do motor Stirling começou por volta de 1937 [9]. Quando o motor Stirling foi levado a um alto nível de desenvolvimento tecnológico pelo laboratório de pesquisa da Philips em Eindhoven, Holanda, e progrediu continuamente desde então. O trabalho inicial foi focado no desenvolvimento de pequenos geradores elétricos de energia térmica para rádios e equipamentos similares usados em áreas remotas na época [3,4].

Novos materiais foram uma das chaves para o sucesso do motor em Sterling. A equipe de pesquisa da Philips usou novos materiais, como o inox [9]. Outra chave para o sucesso foi um melhor conhecimento da física térmica e mecânica dos fluidos, o que não tinha na primeira era. O poder específico do pequeno motor '102C' de 1952 era 30 vezes maior que o dos antigos motores Stirling [13].

O progresso no desenvolvimento feito pela Philips e muitos outros laboratórios industriais, juntamente com a necessidade de mais recursos energéticos, sustentou a segunda era do desenvolvimento do motor de Stirling até hoje [9].

2.5. Motores Stirling para indústria

Pesquisa intensiva da Phillips e laboratórios industriais levou ao desenvolvimento de motores Stirling com alta eficiência de 30%. Em 1954, a Philips desenvolveu um motor usando hidrogênio como fluido de trabalho. Este motor produziu 30 kW para uma temperatura máxima de ciclo de 977 K a 36% de eficiência térmica. A eficiência do mesmo motor foi posteriormente melhorada para 38%. Os estudos experimentais de motores de vários tamanhos até 336kW foram estudados [10].

Outras tentativas de desenvolver motores Stirling sob licença da Philips, foram realizadas pela General Motors de 1958 a 1970 [12]. Outras licenças foram concedidas pela Philips à United Stirling AB de Malmo, Suécia em 1968 e ao consórcio alemão do Oeste da MAN e MWM em 1967 [12]. Em 1973, o motor experimental Stirling Philips / Ford 4-125 ac chegou a ter uma potência especial de 300 vezes mais do que os motores Stirling anteriores [9].

Thayer e Eibling [14] realizaram um estudo de projeto para determinar a viabilidade técnica de desenvolver um gerador portátil de energia solar de 50W para uso em áreas remotas. Os resultados do seu estudo indicam que é possível construir um motor portátil Stirling a um bom custo benefício.

Gupta [15] desenvolveram motores recíprocos de energia solar de 1 e 1,9 kW para aplicações rurais. As eficiências do motor foram encontradas entre 5,5 e 5,7% e a eficiência global foi de 2,02% [16]. Pearch [18] se propôs a analisaram um sistema combinado de calor e energia doméstico de 1 kW. Os resultados mostram que 30% da demanda elétrica da casa pode ser gerada e o custo da eletricidade pode ser reduzido em cerca de 25%.

Podesser [17] projetou, construiu e operou um motor Stirling, aquecido pelo gás de escape da queima de biomassa, para a produção de eletricidade em vilas rurais. Com uma pressão de trabalho de 33 bar a 600 rpm e uma potência de 30 kW.

Dixit e Ghodke [18] projetaram sistemas de geração de energia compactos capazes de usar a combinação de ampla variedade de combustíveis sólidos como uma fonte de energia local. O sistema era um motor de Stirling movido a energia de biomassa baseado em tubulação de calor. O design térmico macroscópico do motor, juntamente com o cálculo de várias perdas de energia foi relatado.

4. MÉTODO

Este artigo constitui uma revisão bibliográfica de caráter de comparação e análise sobre a tecnologia de motores Stirling movidos a energia solar e motores Stirling de baixa diferença de temperatura. A coleta de dados foi realizada entre 22 de janeiro de 2019 a 10 de março de 2019, e utilizou-se como base de dados artigos e literatura, sem restrição de data de publicação, desde que tratasse de assuntos de interesse, abordando história dos motores Stirling, surgimento, princípio básico de funcionamento, configurações, combustíveis e matérias utilizados, trabalhos experimentais, que trazem dados práticos de aplicações de motores Stirling com baixa diferença de temperatura, utilizando os raios solares como fonte de calor, para isso utilizou-se ferramentas de busca como Sholar.google.com.br, assim abrangendo busca de literaturas tanto nacionais como internacionais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Otimização dos motores Stirling

Com o passar dos anos e com as pesquisas, a população acadêmica foi conhecendo os pontos fortes do motor Stirling até hoje pouco utilizado em larga escala, em relação a outros motores como o elétrico e de combustão interna, e uma das aplicações desse motor é transformar energia térmica de qualquer fonte de calor em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica por meio de um gerador acoplado em seu eixo de rotação.

Usualmente os pontos a serem levado em consideração num projeto de um motor de Stirling, é conseguir aliar eficiência máxima com o máximo de potência. Markman[19] conduziram um experimento usando a configuração beta do motor Stirling para determinar os parâmetros de um motor Stirling de 200 W, medindo o fluxo térmico e as perdas de energia mecânica. O objetivo do projeto era otimizar e aumentar a eficiência do motor.

Orunov[20] apresentou um método para calcular os parâmetros otimizados de um motor Stirling de cilindro único. Ele chegou a conclusão, que as características de massa e tamanho do motor poderiam ser melhoradas usando a escolha correta dos parâmetros otimizados, o que resultaria em maior eficiência.

Abdalla e Yacoub[21] estudaram a viabilidade do uso de calor residual de um incinerador de lixo com um motor Stirling. O calor da incineração foi usado para alimentar uma usina de dessalinização e o motor Stirling. Usando água salgada como água de resfriamento e assumindo 50% de eficiência de recuperação de calor, eles alegaram que a eficiência do motor poderia ser melhorada e uma eficiência térmica de 27% era obtida.

Nakajima[24] desenvolveram um motor micro Stirling de 10 g com um volume de varredura de pistão de aproximadamente 0,05 cm³. Uma saída do motor potência de 10 mW a 10 Hz foi relatada. Os problemas de redução foram discutidos.

Quando um sistema coletor solar é usado como uma fonte de entrada de calor para geração de energia, o coletor solar e as condições de trabalho que fornecem os valores ideais do custo do sistema e da potência ótima devem ser considerados. Alguns trabalhos teóricos para otimizar o projeto de motores Stirling movidos a energia solar foram realizados por Umarov [27,28], no entanto, as aplicações no motor não foram mostradas nos documentos de pesquisa.

Howell e Bannerot [29] determinaram o valor ótimo da temperatura de saída do coletor solar para maximizar a produção de trabalho dos motores de ciclo Carnot, Stirling, Ericsson e Brayton alimentados por um coletor solar. Eldighidy et al.[30] otimizaram as condições para a energia solar máxima absorvida por um coletor de placa plana usado com um refletor de avião. Um simples coletor de chapa plana / refletor de chapa plana foi analisado completamente. Mais tarde, Eldighily [31] investigou teoricamente as melhores temperaturas de saída do coletor solar para a produção máxima de trabalho para um ciclo padrão de ar de Otto com regeneração ideal. Este trabalho pode ser aplicado a um ciclo Stirling com padrão de ar.

Gordon [32] examinou a precisão da otimização energética de motores térmicos movidos a energia solar. Os resultados foram obtidos para os dois casos limites de máxima eficiência e potência máxima. Altfeld et al. [33] minimizaram a soma de perdas de energia, incluindo perdas de energia por absorção de radiação no nível de temperatura do absorvedor, maximizando o fluxo de energia líquido. Os projetos otimizados de absorvedores e dutos de fluxo foram apresentados. Costea et al. [34] estudaram o efeito das perdas de pressão e transferência de calor real no desempenho do ciclo do motor solar Stirling. Os resultados indicaram que quando o motor era operado na temperatura ideal, a eficiência do ciclo real era aproximadamente metade da eficiência do ciclo ideal.

5.2. Desenvolvimento de motores Stirling que operam em baixa faixa de diferença de temperatura

Haneman [22] estudou a possibilidade de usar ar com fontes de baixa temperatura, de um motor comum, em que o calor do escape ainda estava suficientemente quente para ser útil para outros fins. Na prática, tal motor

produziria apenas pouco trabalho útil em relação ao tamanho do sistema coletor, e daria pouco ganho em comparação com a manutenção adicional requerida [23].

Um motor térmico de aquecimento a baixa temperatura, construído de forma simples e modelado nas configurações do motor Stirling, foi patenteado em 1983 pela White [24]. White sugeriu melhorar o desempenho pressurizando a câmara do deslocador. As eficiências foram reivindicadas a ser em torno de 30%, mas isso pode ser considerado muito alto para o motor de baixa temperatura. Em 1984, O'Hare [35] partiu um dispositivo que passava por correntes de ar resfriadas e aquecidas através de um excitador de calor para mudar a pressão do ar dentro do fole.

Kolin [11] experimentou vários motores Stirling de baixa faixa de temperatura diferencial durante um período de muitos anos. Em 1983, ele apresentou um modelo que trabalhava com uma diferença de temperatura entre as extremidades quente e fria do cilindro da boia de até 15 ° C. Senft [8] fez um estudo em profundidade do motor Ringbom e seus derivados, incluindo o motor, que tinha uma diferença de temperatura ultrabaixa de 0,5 ° C. Senft [9] descreveu o projeto e o teste do pequeno motor de anel Stirling acionado por um refletor cônico de ângulo de 60 °. Ele relatou que o refletor cônico de teste de 60 ° produzindo uma temperatura final de 93 ° C em condições de operação funcionou muito bem.

6. CONCLUSÕES

Este artigo descreve uma série de trabalhos de pesquisa sobre a tecnologia de motores Stirling movidos a energia solar e motores Stirling de baixa diferença de temperatura. A chave para o sucesso dos motores Stirling são novos materiais e boa transferência de calor para o fluido de trabalho. Boa fluidez de transferência de calor é necessária, seguida, utilizando de um fluido de baixa viscosidade para reduzir as perdas de bombeamento, e uma alta pressão para reduzir o fluxo necessário da combinação de ambos.

Os atuais esforços de pesquisa e desenvolvimento em motores de Stirling baixa faixa de diferença de temperatura, proveniente de uma fonte de calor vinda da energia solar são uma grande promessa para futuras aplicações. A eficiência do motor Stirling pode ser baixa, mas a confiabilidade é alta e os custos são baixos. Simplicidade e confiabilidade são a chave para um gerador solar Stirling econômico.

O objetivo deste estudo é encontrar uma solução viável que possa levar a um projeto conceitual preliminar de um Sterling confinável movido a energia solar. Como esse motor é danificado para uso em áreas rurais, o projeto do motor deve ser o mais simples possível. O tipo mais apropriado de motor Stirling movido a energia solar seria o motor Sterling baixa faixa de temperatura, aliada a um motor Stirling de configuração tipo gama de baixa faixa de diferença de temperatura, dupla ação e vertical.

Já que, durante dois terços do dia, a energia solar não está disponível, assim combustíveis serão necessários. Quando o motor deve ser alimentado por energia solar e calor de qualquer material combustível. É necessária uma estrutura de suporte, que permita o posicionamento do motor para ser alimentado tanto por energia solar quanto por calor de combustão.

Para opera com solar, o refletor foca a energia solar diretamente em uma superfície quente e externa do deslocador para posterior transferência por condução para o ar dentro do cilindro do deslocador. Como esta placa de cobertura atua como o absorvedor solar e também a cabeça do cilindro do deslocador, ela deve ser capaz de resistir os efeitos de altas pressões e temperaturas internas máximas.

A radiação solar concentra-se no absorvedor, onde o calor gerado passa para extremidade da cabeça do cilindro quente. À medida que o absorvedor recebe energia solar, ele aquece e passa o calor para o fluido do cilindro do deslocador. O ar ou fluido de trabalho se expande sob a pressão gerada pelo calor e move o pistão de potência. O pistão gira o virabrequim desenvolvendo energia mecânica útil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ADVANCES IN CRYOGENIC ENGINEERING. Proceeding of the 1970 Cryogenic Engineering Conference The University of Colorado Boulder, Colorado June 17–19, 1970. Autor: K. D. Timmerhaus. Springer Science & Business Media, 2013, pág. 185.
- [2] THE CRC HANDBOOK OF MECHANICAL ENGINEERING, Second Edition. Autor: D. Yogi Goswami. CRC Press, 2004, pág. 8-72.
- [3] SIGNIFICANT SCOTS, ROBERTE STIRLING. Disponível em: <https://www.electricscotland.com/history/men/stirling_robert.htm> acesso em: 13 fevereiro de 19.
- [4] R. W. BARROS, “Avaliação teórica e experimental do motor Stirling Solo 161 operando com diferentes combustíveis”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2005
- [5] MELLO, M. G. Biomassa Energia dos Trópicos em Minas Gerais. LabMídia/FAFICH, Belo Horizonte, 2001;
- [6] HIRATA, K. Stirling Engine home page. 1995. (<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata>) acesso em: 20 de fevereiro de 2019.
- [7] NAKAJIMA, N., Ogawa, K., Fujimassa, I. Study on microengines: miniaturizing Stirling engines for actuators. Sensors and Actuators, 20, pp. 75 - 82, 1989;

-
- [8] VAN ARSDELL BH. Stirling engines. In: Zumerchik J, editor. Macmillan encyclopedia of energy, vol.3. Macmillan Reference USA; 2001. p. 1090–95.
- [9] SENFT JR. Ringbom Stirling engines. New York: Oxford University Press, 1993.
- [10] WALPITA SH. Development of the solar receiver for a small Stirling engine. In: Special study project report no. ET-83-1. Bangkok: Asian Institute of Technology; 1983.
- [11] RIZZO JG. The Stirling engine manual. Somerset: Camden miniature steam services, 1997.
- [12] WALKER G. Stirling engines. Oxford: Clarendon Press, 1980.
- [13] WEST CD. A historical perspective on Stirling engine performance. In: Proceedings of the 23rd Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Paper 889004. Denver: American Society of Mechanical Engineers; 1988.
- [14] TRAYSER DA, EIBLING JA. A 50-Watts portable generator employing a solar-powered Stirling engine. Sol Energy 1967;11:153–9.
- [15] GUPTA RK, DESHPANDE AM, BRAVE KM. Development of 1 kW solar powered reciprocating engine for rural applications. In: International Solar Energy Congress, New Delhi. 1978. p. 2016–20.
- [16] SPENCER LC. A comprehensive review of small solar-powered heat engines: Part I.I. Research since 1950—“Conventional” engines up to 100 kW. Sol Energy 1989;43:197–210.
- [17] PRODESSER E. Electricity production in rural villages with biomass Stirling engine. Renew Energ 1999;16:1049–52.
- [18] DIXIT DK, GHODKE SV. Renewable energy powered Stirling engines—a viable energy alternative. In: Sayigh AAM, editor. Renewable energy technology and the environment. Proceedings of the Second World Renewable Energy Congress, vol. 2. 1992. p. 934–8.
- [19] MARKMAN MA, SHMATOK YI, KRASOVKII VG. Experimental investigation of a low-power Stirling engine. Geliotekhnika 1983;19:19–24.
- [20] ORUNOV B, TRUKHOV VS, TURSUNBAEV IA. Calculation of the parameters of a symmetrical rhombic drive for a single-cylinder Stirling engine. Geliotekhnika 1983;19:29–33.
- [22] HANEMAN D. Theory and principles of low-temperature hot air engines fuelled by solar energy. Report Prepared for U.S. Atomic Energy Comm. Contract W-7405-Eng-48; 1975.
- [23] SPENCER LC. A comprehensive review of small solar-powered heat engines: Part III. Research since 1950—“unconventional” engines up to 100 kW. Sol Energy 1989;43:211–25.
- [24] WHITE EW. Solar heat engines, U.S. Patent; 1983. p. 4, 414, 814.
- [25] MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons 4th ed., 2000;
- [26] STINE WB. Stirling engines. In: Kreith F, editor. The CRC handbook of mechanical engineers. Boca Raton: CRC Press; 1998. p. 8-7–8-6.
- [27] Umarov GY, Orunov BB, Klyuchevskii YE, Tursunbaev IA, Trukhov VS. Thermodynamic analysis and choice of optimal parameters of dynamic converter for solar energy plant. Geliotekhnika 1976;12:31–4.
- [28] UMAROV GY, TRUKHOV VS, TURSUNBAEV IA, ORUNOV BB. A method for optimizing heat exchangers of a stirling engine. Geliotekhnika 1976;12(6):18–23.
- [29] HOWELL JR, BANNEROT RB. Optimum solar collector operation for maximizing cycle work output. Sol Energy 1977;19:149–53.
- [30] ELDIGHIDY SM, TAHA IS, DARWISH MA. Optimum conditions for maximum solar energy absorbed by flat plate collector augmented by plane reflector. In: Proceedings of the Energy Symposium (ISATED), Montreux, Swiss. 1979. p. 28–32.
- [31] ELDIGHIDY SM. Optimum outlet temperature of solar collector for maximum work output for an Otto air-standard cycle with ideal regeneration. Sol Energy 1993;51:175–82.
- [32] GORDON JM. On optimized solar-driven heat engines. Sol Energy 1988;40:457–61.
- [33] ALTFELD K, LEINER W, FEEBIG M. Second law optimization of flat-plate air heaters. Part I: the concept of net exergy flow and the modeling of solar air heaters. Sol Energy 1988;41:127–32.
- [34] COSTEA M, PETRESCU S, HARMAN C. The effect of irreversibilities on solar Stirling engine cycle performance. Energ Convers Manage 1999;40:1723–31.
- [35] O’HARE R. Convection powered solar engine, U.S. Patent; 1984. p. 4, 453, 382.
-



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 17:00 horas do dia vinte e um de março de dois mil e dezenove, na Sala 5 da Central de Aulas V do CCEN – Centro de Ciências Exatas e Naturais da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **LUCAS AMBRÓSIO PAZ E SILVA**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2014020075**, com o título **“USO DE ENERGIA SOLAR COMO FONTE DE CALOR PARA ACIONAMENTO DE MOTOR STIRLING DE BAIXA TEMPERATURA DIFERENCIAL NA CONFIGURAÇÃO TIPO GAMA EM AREAS RURAIS E REMOTAS”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: PROF. PRINCE AZSEMBERGH NOGUEIRA DE CARVALHO, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Eng. JAKSON GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR e Eng. LARISSA DA SILVA PONTES, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 7,0; 7,0; 7,0. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral 7,0. E para constar, eu, PRINCE AZSEMBERGH NOGUEIRA DE CARVALHO, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 21 de março de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

PROF. PRINCE AZSEMBERGH NOGUEIRA DE CARVALHO – UFERSA
Presidente e orientador

Eng. JAKSON GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR – EXTERNO
Primeiro Membro

Eng. LARISSA DA SILVA PONTES – EXTERNO
Segundo Membro