



**LABORATÓRIO DIDÁTICO DO
INSTITUTO DE FÍSICA -LADIF
Roteiro da Experiência (jul/97)**

**UFRJ
IF**

Disciplina : Termodinâmica	Tema :
Código : 4a-8	Nome : Motor Stirling
Onde encontrar : Armário Termodinâmica, prateleira 1	
Palavras chaves :	

Material Utilizado : ver item 1.1 (Experiências)

Potencialidade : ver item 1.1 (Experiências)

Ref. Bibliográficas :

Roteiro da Experiência

1.1 EXPERIÊNCIAS

APARELHOS

Conversão: calor - energia mecânica - luz	Motor Stirling + Módulo Motor/Gerador
Bomba de calor ou como máquina frigorífica	Motor Stirling + Aparelho de Medida pVnT + Termopares
Potência mecânica em função da veloc. de giro	Motor Stirling + Medidor de Torque + Sensor pVn + Aparelho de Medida
Medição de temperaturas	Motor Stirling + Aparelho de Medida pVnT + Termopares
Registro do diagrama pV (pressão x volume)	Motor Stirling + Aparelho de Medida pVnT + Termopares + Sensor pVn + Osciloscópio + 2 Cabos Osciloscópios / Aparelho de Medida (esquema fig. 5).

1.2 - Finalidade e Características

Um motor Stirling (motor de ar quente) serve para a conversão de energia térmica em energia mecânica. Este motor, acionado mecanicamente, trabalha como bomba de calor ou como máquina frigorífica e, por este motivo, demonstra de forma impressionante a reversibilidade dos processos termodinâmicos. O princípio de funcionamento do motor Stirling se explica na figura 1.

Os êmbolos de trabalho e de deslocamento são montados em V formando 90°. O êmbolo de trabalho (A) é de metal e encaixado com precisão no tubo de vidro. O êmbolo de deslocamento (V) de vidro se encarga ao mesmo tempo da função de regenerador, tão importante para o funcionamento de um motor Stirling: esfria o gás quente que circula, armazena sua energia e transfere de novo ao gás frio de retorno.

Com ajuda do módulo motor/gerador se converte a energia mecânica gerada pelo motor Stirling, em energia elétrica (luz). Ao inverso, desta maneira, o motor Stirling também pode ser acionado mecanicamente.

Com ajuda do medidor de torque, pode-se aplicar um determinado momento ao motor Stirling.

Se, no entanto, se mede sua velocidade de giro, a partir destes parâmetros pode-se calcular a potência mecânica empregada.

2 - Descrição e Manejo

2.1 - Motor Stirling

O motor Stirling se coloca sobre a placa base azul e se aparafusa pela parte de baixo. Os outros dois, parafusos sobre a placa, servem para fixar o módulo motor/gerador ou a escala do medidor de torque.

O disco de acrílico do motor Stirling pode ser afrouxado com a chave de hexágono interior. Depois de colocar de novo o disco, tira-se ligeiramente para fora o eixo e deve ficar entre o disco e a caixa do motor uma distância de somente uma folha de papel, para que o eixo não apresente demasiada folga quando em funcionamento.

No cilindro de deslocamento existem dois pontos para medida das temperaturas pelos termopares de NiCr-Ni revestidos.

Para acionar o Motor Stirling coloca-se a lamparina (que funciona a base de álcool) embaixo da extremidade do cilindro de vidro até que este esteja bastante quente (cerca de 100° C), com a ajuda da mão rode o disco de acrílico para dar a partida no motor Stirling.

Para utilização do termopar retire a capa plástica protetora cinza, rosqueando-a. Dentro existe um fino fio que deve ser introduzido nos orifícios do cilindro de vidro do motor Stirling.

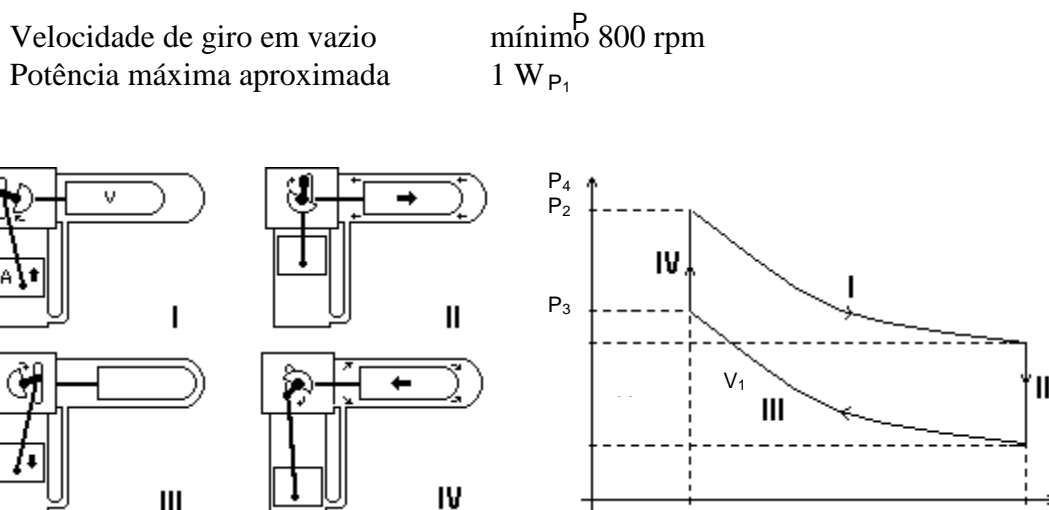


fig. 1 - Princípio de funcionamento do Motor Stirling

Princípio de funcionamento do Motor Stirling:

1) Expansão isotérmica, recebimento de calor e entrega de trabalho:

$$V_1 \rightarrow V_2, P_1 \rightarrow P_2 \text{ e } T_1 = \text{Const.}$$

2) Entrega isocórica de calor, não se desenvolve trabalho:

$$T_1 \rightarrow T_2, P_2 \rightarrow P_3 \text{ e } V_2 = \text{Const.}$$

3) Compressão isotérmica, entrega de calor, recebimento de trabalho:

$$V_2 \rightarrow V_1, P_3 \rightarrow P_4 \text{ e } T_2 = \text{Const.}$$

4) Recebimento isocórico de calor, não se desenvolve trabalho;

$$T_2 \rightarrow T_1, P_4 \rightarrow P_1 \text{ e } V_1 = \text{Const.}$$

2.2 - Módulo Motor/gerador

Possui duas polias de diferentes tamanhos para demonstrar sua influência na potência e velocidade de giro do motor Stirling. Para a união ao disco se aplica uma correia.

Com o interruptor pode-se escolher entre o funcionamento como motor ou como gerador.

No modo gerador a lâmpada se acenderá. Em paralelo ao porta lâmpada, existem dois conectores fêmea de saída aos quais pode-se conectar uma resistência variável.

Na posição "0", o gerador não tem acoplado nenhuma carga.

Para funcionamento como motor se aplica uma tensão contínua (12 V) aos conectores fêmea de entrada.

Tensão do motor	máx. 12 V
Lâmpada incandescente	4 V / 40 mA
Sensor pVn	

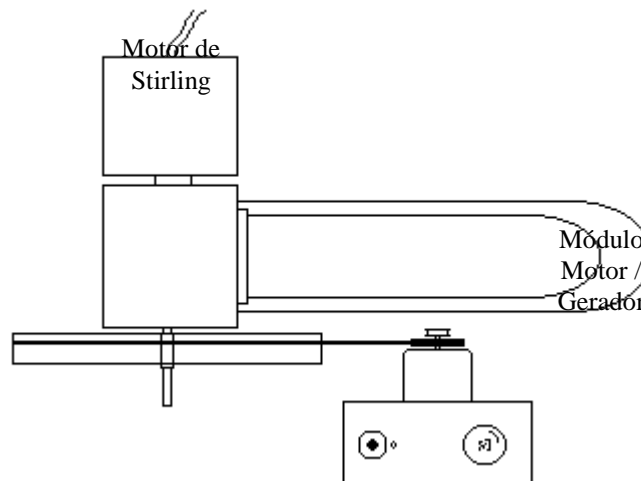


fig. 2 - Esquema do Motor Stirling acoplado com o Módulo Motor/Gerador

2.3 - Medidor de Torque

A peça metálica no interior da agulha (um freio de Prony com peso de inclinação) se coloca com ajuda da chave de hexágono diante do disco grande firmemente sobre o eixo do motor Stirling. O atrito entre a peça metálica e a agulha pode se modificar com o parafuso de regulagem da agulha.

Quando o motor Stirling esta em marcha, a agulha se desloca com precaução em direção a superfície do eixo. O roçamento deve se incrementar continuamente **de forma lenta**; não deve alcançar um valor tal que o motor fique em repouso. O torque ajustado se indica na escala.

Margem de medidas	$25 \times 10^{-3} \text{ Nm}$
-------------------	--------------------------------

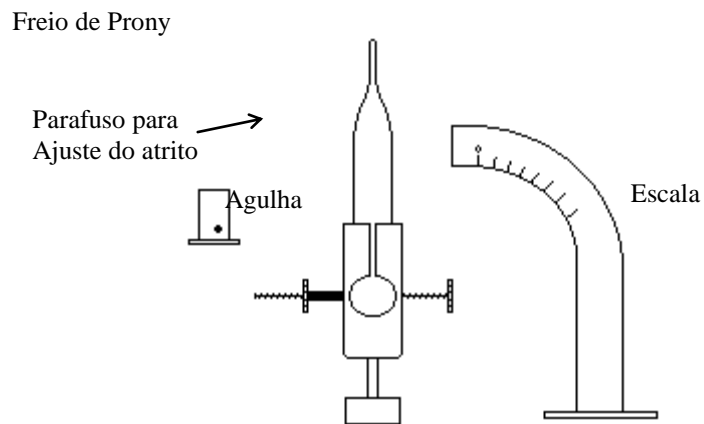


fig. 3 - Peças componentes do Medidor de Torque

2.4 - Montagem do Sensor pVn ao motor Stirling

Para medição de pressão, volume e velocidade de giro do motor Stirling, o sensor pVn e o motor Stirling devem estar firmemente unidos entre si. Ao eixo do codificador incremental vai um elemento atrelado (1). Este elemento pode aflorar-se e fixar-se firmemente com a ajuda da chave de hexágono. Este elemento atrelado deve aproximar-se totalmente da torre do medidor. O motor Stirling se solta da placa base azul. Desmonta-se a placa de montagem por sua parte inferior com a ajuda de uma chave de fenda. Depois, junta-se o motor Stirling a placa de montagem do sensor pVn (2).

O elemento de atrelamento do codificador se desloca até o motor Stirling, se acopla ao volante em forma de seta e se prende firmemente ao eixo. Por último, o motor Stirling volta a se parafusar com a torre do sensor sobre a placa base azul.

Para medição de pressões, o sensor de pressão deve ser unido ao bocal tubular através de um pedaço de mangueira de parede grossa da placa de montagem (3).

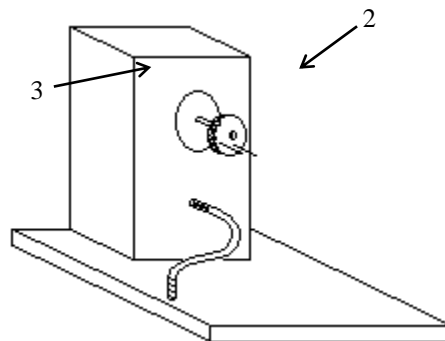


fig. 4 - Esquema do Sensor pVn

2.5 - Aparelho de medida para pVnT (termômetro).

(1) Conector para módulo sensor pVn.

(2) Entradas para termopares de NiCr-Ni.

(3) Saídas analógicas para pressão ou volume para representação do diagrama pV, por

exemplo, com um osciloscópio ou interface de computador.

(4) Indicador digital para a velocidade de giro.

(5) Indicadores digitais para temperaturas (5a). No display central pode indicar a temperatura $T_1 - T_2$. Para a escolha da indicação se emprega o pulsador “Display” (5b). Dois diodos electroluminiscentes (5c) indicam qual das duas magnitudes se representa.

(6) Pulsador para compensação de ambas sondas de temperatura .

(7) Pulsador para confirmação da posição do émbolo de trabalho para o cálculo do volume.

Obs: Botão liga/desliga na parte de trás do aparelho

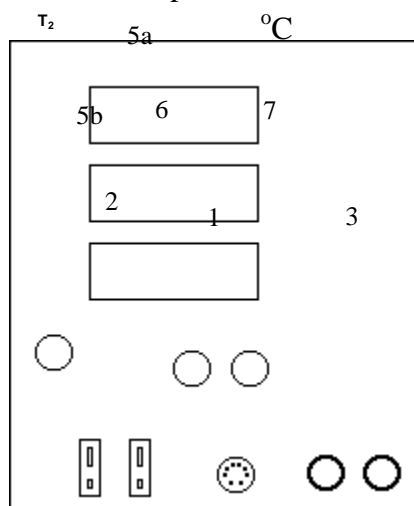


fig 5 - Esquema do Aparelho de Medida para pVnT

3 - Notas Especiais

O émbolo de trabalho não deve ser lubrificado, já que se encaixa exatamente no cilindro de vidro. O óleo provocaria um maior roçamento e reduziria a potência do motor. O cilindro de deslocamento é montado de maneira a existir um espaço uniforme entre este cilindro e o émbolo de deslocamento, otimizando a potência do motor. Por este motivo não pode variar o aperto dos parafusos de fixação.

O émbolo de deslocamento é lubrificado com uma gota de óleo de máquina quando este estiver perdendo potência, com a ajuda de uma seringa. Cuidado para não sujar o émbolo de trabalho!!

4 - Calibração

4.1- Calibração da Temperatura e do Volume ao Conectar o kit

Para as medidas relativas, os termopares possuem uma boa precisão (0,1 K), se bem que os valores absolutos dos dois sensores podem apresentar um desvio entre si de até 6° C. Por isto, para medida diferencial $T_1 - T_2$ foi previsto um procedimento de calibração.

Também, para a medição do volume se requer a calibração. O volume instantâneo de ar no motor Stirling se calcula da posição do émbolo de trabalho com a ajuda do codificador incremental. Para isto deve-se especificar um valor inicial.

Temperatura

Diretamente depois da conexão, o aparato sempre executa um breve teste de todos os componentes. Depois de terminado corretamente o teste, no indicador central aparecerá a palavra “CAL”.

- As sondas de temperatura conectadas devem levar agora a idêntica temperatura (por exemplo, banho de água) e, continuando, se vai precionar a tecla (6) “Calcular ΔT ”.

- O aparato capta os dois valores de medida e armazena sua diferença até a desconexão do aparato.

Esta calibração não tem nenhuma repercussão na indicação dos valores absolutos.

Se se utiliza somente uma sonda de temperatura ou se não interessa a diferença pode precionar-se a tecla com qualquer temperatura das sondas.

Volume

Depois da calibração da temperatura aparece no display superior a indicação “ot” (ponto morto superior).

- O codificador incremental do módulo do sensor agora deve estar ligado firmemente ao motor Stirling e o sensor deve estar conectado ao conector fêmea de 8 terminais do aparato de medida!

- Continuando, o êmbolo de trabalho se coloca na posição em que no motor Stirling esta disponível o volume mínimo. O êmbolo de trabalho se encontra em seu ponto mais profundo. Nesta posição, preciona-se (7) “Calibrar V”.

- Uma calibração incorreta conduz a um deslocamento do cálculo do volume e, conseqüentemente, à uma deformação do diagrama pV !

As teclas para os procedimentos de calibração já não têm mais nenhuma função durante o resto do funcionamento. Uma nova operação de calibração só pode fazer após desconectar e reconectar os cabos ao aparato.

4.2 - Calibração da Tensão de Saída para Pressão

O sensor de pressão mede a diferença de pressão com respeito a pressão de ar p_0 . Sua tensão de saída é amplificada pelo aparato de medida e com a pressão de ar p_0 se obtém uma tensão de deslocamento (offset). Para que o aparato de medida do motor Stirling seja independente de um determinado módulo do sensor, se ajusta a utilidade e o deslocamento do aparato de medida com as características do sensor de pressão.

Para a evolução do diagrama pV, por este motivo, deve-se calibrar a tensão de saída de pressão do aparato de medida para a combinação sensor-aparato de medida disponível. Esta calibração pode realizar-se de maneira fácil, por exemplo com ajuda de uma seringa para gás:

Para isto, o pedaço de tubo se afrouxa do bocal tubular existente na placa de montagem e primeiro se determina a tensão para a pressão do ar p_0 .

Por exemplo, o êmbolo de uma seringa para gás de fecho fixo se extrai a posição 20 ml e, se une ao sensor com o pedaço de tubo. Introduzindo o êmbolo em incrementos de ml (por exemplo, até a marca de 15 ml) pode incrementar-se facilmente a pressão. O processo se desenvolve de forma isotérmica. A zona de vazio se mede de acordo pela expansão, por exemplo, variando passo a passo de 15 ml a 20 ml. O volume do pedaço de tubo de aproximadamente 0,07 ml pode ser desprezado. A figura mostra um exemplo de medição.

Motor de Stirling →

← Lamparina

← Módulo Motor /Gerador

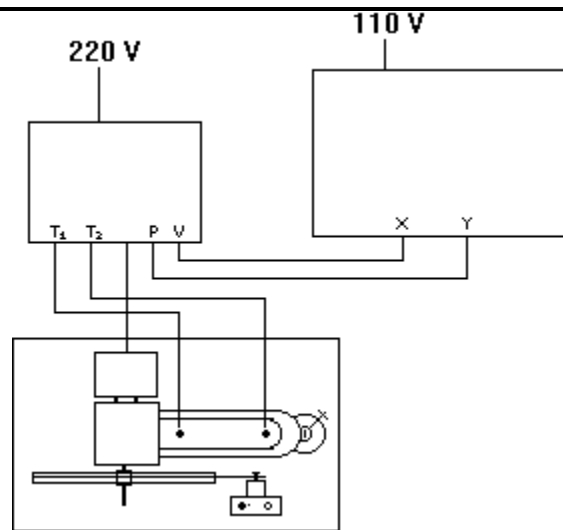


fig. 6 - Esquema de Montagem para obtenção do Gráfico P x V no Osciloscópio

Obs : O gráfico esperado no Osciloscópio será uma parábola com eixo inclinado, onde na horizontal se lê os volumes e na vertical as pressões.

