

Sistemas de Geração de Potência e Cogeração à Gás

A energia pode ser classificada como sendo a capacidade de realizar trabalho (uma definição física). Isso mostra a sua importância perante não só a humanidade, mas toda a fauna e flora.

Os seres humanos aprenderam a manipular a energia para a sua sobrevivência e isso fez destacar perante os outros animais.

Com a evolução e nos dias atuais, o setor de transporte e indústrias são responsáveis por cerca de 60% de toda energia utilizada em território brasileiro, é o que mostra o Balanço Energético Nacional de 2024 - BEN (o mais recente), um relatório anual produzido pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE).

Já a Agência Internacional de Energia mostra que ^{cerca} 80% de toda a energia consumida no mundo é proveniente de conversão térmica e que, em sua maioria, essa conversão utiliza-se de fontes de energia sujas, sejam elas renováveis ou não.

Isso mostra a importância de desenvolver estudos para a utilização racional da energia, pois a sua transformação vem causando severos impactos ambientais, como a poluição dos oceanos, solo e ar. Futo disso é o aquecimento global, tema central do COP 30, evento que discute medidas para minimizar impactos ambientais e que será realizado no estado

do País no Brasil e conta, inclusive, com as nações mais poderosas e influentes do planeta.

Além de tecnologias, práticas e metodologias também são objetos de estudo e o surgimento de configurações de equipamentos podem aumentar a eficiência da conversão energética, como é o caso da cogeração.

A cogeração possui algumas vantagens, como mostra a tabela 1

Vantagens	explicação
eficiência	aumenta a eficiência devido ao aproveitamento da energia que seria despendida
emissão	diminui as emissões pois com o aumento de eficiência, menos insumo é utilizado e menos quantidade é utilizado no processo.
flexibilidade	a cogeração permite o uso de variados combustíveis, como os renováveis.

Tabela 1: vantagens do processo de cogeração.

A cogeração é definida como a produção simultânea de ~~energia útil a partir~~ mais de uma forma de energia útil a partir de uma mesma fonte. Ela pode ser aplicada em vários setores da economia como na siderurgia que usa os gases excedentes do processo para a produção de energia elétrica, o setor petrolífero que faz o mesmo. A cogeração ainda é pouco usada em setores residenciais e comerciais,

mas usinas termelétricas que fornecem energia para esse setores utilizam ciclos de coeração para a produção de energia.

Assim, a necessidade de desenvolver e otimizar os processos são temas atuais, para isso é importante de conhecer os ciclos termodinâmicos a fim de utiliza-los e combiná-los para extrair a melhor eficiência de um processo.

Ciclos termodinâmicos

Ciclo de Carnot

Apesar da máquina proposta por Sadi Carnot em 1826, na França, nunca tenha sido construída, o ciclo proposto por ele tem um papel relevante nas ciências térmicas, pois é um ciclo idealizado, sem irreversibilidades (internamente ou externamente), sendo assim, o ciclo de Carnot define a eficiência teórica máxima de uma máquina térmica.

Uma máquina térmica converte energia térmica (calor) em energia cinética (trabalho) e dependendo do ciclo utilizado pode possuir maior ou menor eficiência, porém, o ciclo de Carnot estabelece, devido a ausência de irreversibilidades, a eficiência teórica de uma máquina térmica e pode ser dada como:

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{W_{\text{liq}}}{Q_e} = \frac{Q_e - Q_s}{Q_e} = 1 - \frac{Q_s}{Q_e}$$

$$= 1 - \frac{T_f (S_3 - S_4)}{T_g (S_1 - S_2)} \therefore \eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_f / T_g$$

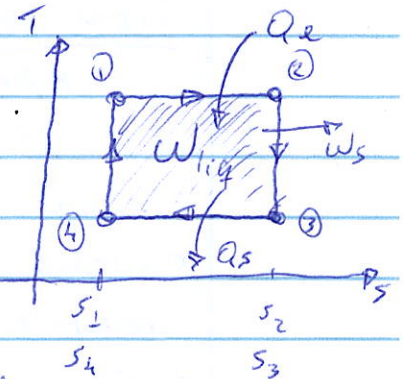
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_g}$$

O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho líquido que ela consegue converter a partir de uma fonte de energia térmica logo:

- W_{liq} é o trabalho líquido
- Q_e é o calor de entrada
- Q_s é o calor de saída
- T_f e T_q são a temperatura da fonte fria e quente
- S é a entropia
- η é o rendimento

O gráfico abaixo mostra o ciclo de carnot que opera por quatro processos:

- 1-2: fornecimento de calor isotérmico
- 2-3: expansão adiabática (isentropia)
- 3-4: saída de calor isotérmica
- 4-1: compressão adiabática (isentropia)

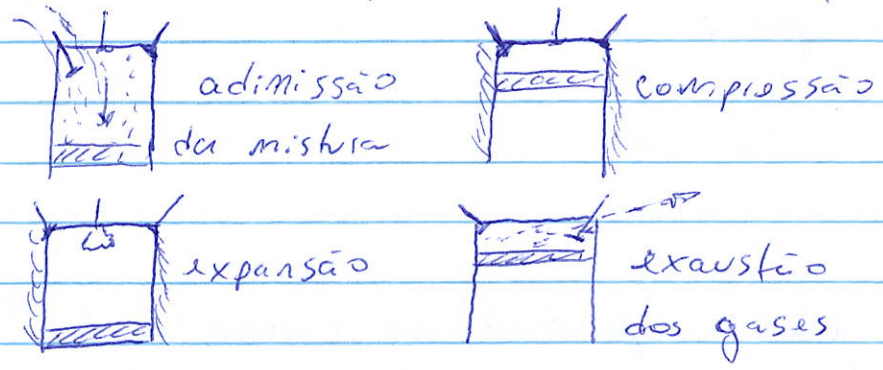


Logo o ciclo de carnot mostra que uma máquina térmica ~~que~~ possui sua eficiência máxima dependendo da diferença máxima de operação entre as fontes quente e fria.

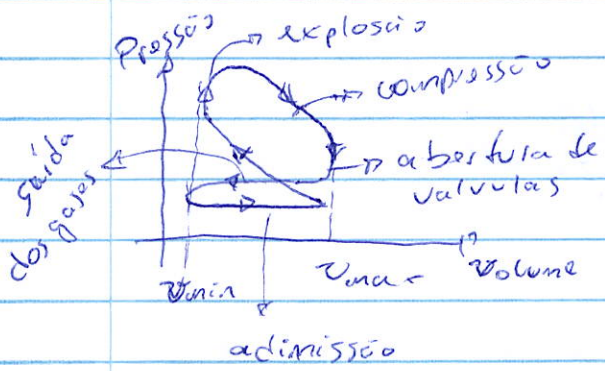
Ciclo Otto

A máquina proposta por Nikolaus Otto (em 1870) por volta de 1870 na Alemanha é um ciclo largamente utilizado hoje em dia nos carros de passeio e em pequenos aviões e motocicletas. É sem dúvida, uma das máquinas térmicas mais produzidas na história, devido ao grande número de veículos que a utiliza.

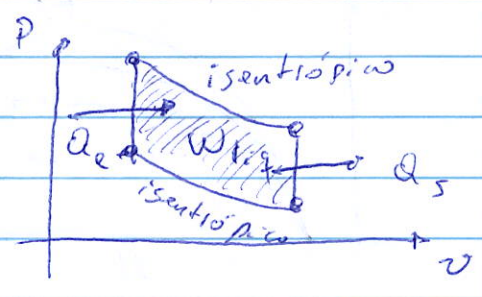
O ciclo Otto é caracterizado por possuir dois processos isentrópicos e dois processos isocóricos e funciona da seguinte maneira (Figura 1)



O motor comprime o combustível ^{com ar} num processo isentrópico, explode a mistura por meio de uma centelha por meio de um processo isovolumétrico, expande o fluido num processo isentrópico e exaure os gases de combustão num processo isovolumétrico (abertura das válvulas). O processo descrito, é um processo idealizado e difere da figura mostrada. Isso acontece, pois na idealização não considera a admissão e exaustão de gases, ao invés disso, considera-se a admissão e exaustão, um processo apenas de troca de calor, sem entrada e saída de massa, logo os graficos abaixo simbolizam processos reais e ideais com saída e entrada de massa e o ~~outro~~ outro sem entrada e saída de massa.



Processo real



Processo idealizado

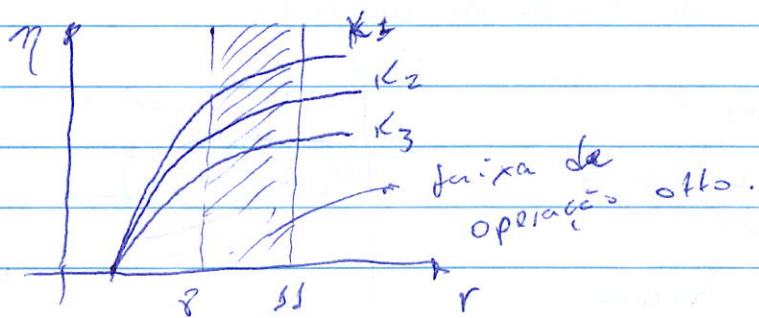
O rendimento do ciclo otto depende da razão de compressão (o quanto a ele consegue ser comprimido $v_{\text{máximo}} / v_{\text{mín}} = r$) e pode ser calculado por:

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Também ele é dependente do combustível utilizado simbolizado por k , um coeficiente politrópico que é a razão dos calores específicos do fluido (combustível) utilizado: $k = c_p / c_v$.

Os motores otto costumam utilizar de gasolina e álcool (Brasil) para seu funcionamento e trabalham numa faixa de razão de compressão de 8 a 11. Carros mais modernos costumam trabalhar com r maiores, como é o caso do carro HB20 que trabalha com $r = 14$. Normalmente esses motores possuem uma eficiência em torno de $\eta = 25 \sim 35\%$.

A eficiência costuma variar com r e k como mostra o gráfico abaixo:

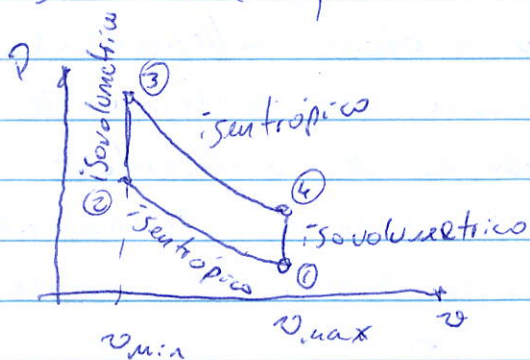


Ciclo Diesel

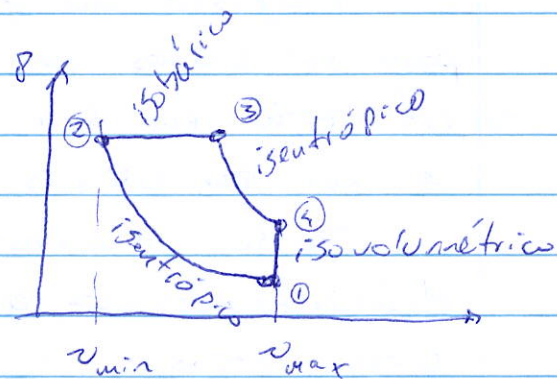
Proposto também na mesma época do ciclo Otto pelo alemão Rodolphus Diesel e largamente utilizado em motores Diesel utilizados em veículos de grande porte, navios, caminhões, trens e geradores. Possui uma diferença básica do ciclo Otto, não possui centelha. O combustível é detonado por meio da compressão. Funciona da seguinte maneira:

(~~O combustível~~) Apenas ar é admitido na câmara interna, ele é comprimido num segundo estágio e então um bico injetor insere o combustível que encontrando um ambiente favorável de pressão e temperatura é auto detonado (autoignição). Os gases expandem e ~~empurra~~ empurram o pistão (gerando trabalho) e então é exaurido.

Ele possui uma diferença básica em seus processos em relação ao Otto, possui um processo isobárico (Figura abaixo)



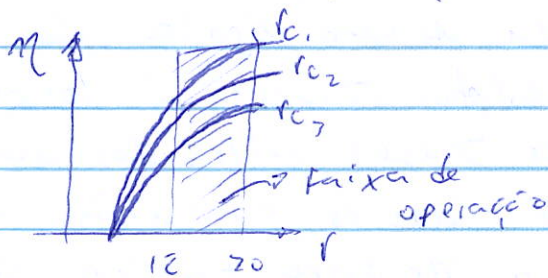
Ciclo Otto ideal



Ciclo Diesel ideal

Assim como no Otto, o Diesel pode funcionar em 4 ou 2 tempos; ~~possui uma razão~~ trabalha numa razão de compressão mais alta, por isso é um

motor com maior massa e inércia, logo trabalha em menores rotações. Normalmente usa $r = 12 \text{ a } 20$



$r_c =$ razão de ~~compressão~~ corte
 $r_c = P_3 / P_2$

Seu rendimento é dado por:

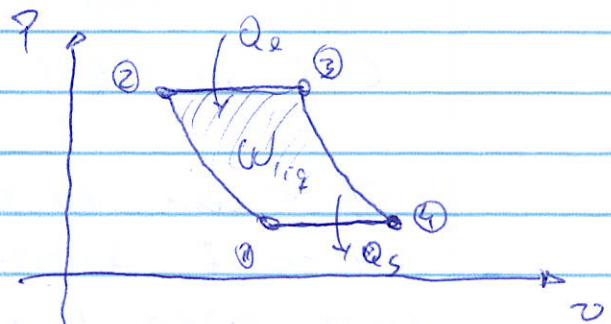
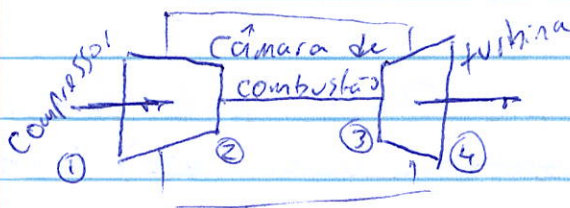
$$\eta_{\text{Diesel}} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{(r_c^k - 1)}{k(r_c - 1)} \right]$$

Para as mesmas condições de compressão e fluido de trabalho o rendimento do Otto é maior que o diesel, $\eta_{\text{Otto}} > \eta_{\text{diesel}}$, porém, o Diesel trabalha com maiores taxas de compressão.

Ciclo Brayton

Proposto no final do ~~seculo~~ século XIX para ser usados em ~~seus~~ motores alternativos, é utilizado em sua maioria em turbinas de aviação e em ~~as~~ usinas geradoras de eletricidade.

Possui câmaras de combustão interna aberta, diferente dos ~~at~~ anteriores; possui um compressor e uma turbina.



O ciclo Brayton ideal, trabalha com 4 processos, conforme mostra a figura:

- 1-2: compressão (compressor) isentrópica
- 2-3: fornecimento de calor isobárica
- 3-4: expansão (turbina) isentrópica
- 4-1: saída de calor isobárica.

Essa máquina possui ~~uma~~ versatilidade em relação ao uso de combustíveis, gasolina, álcool, diesel, gases (metais), e possui as condições metalúrgicas das paletas como limitadores. Seu rendimento é calculado como:

$$\eta_{\text{Brayton}} = 1 - \left(\frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} \right)$$

onde r_p é a razão de operação entre as pressões do ciclo (processos isobáricos) $r_p = P_{1-2} / P_{4-1}$

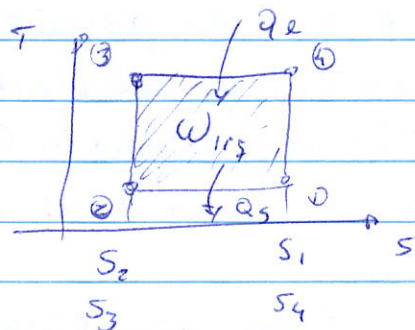
Ciclo Stirling

Os motores Stirling são motores de combustão externa, ou seja, não acontece a combustão em sua câmara interna. O fluido em seu interior recebe calor do meio para expandir e troca calor com outro meio para comprimir, operando entre duas fontes: uma fonte quente e uma fonte fria.

O que chama a atenção para esses motores é que podem utilizar qualquer fonte de energia para sua operação, tornando-se o motor mais versátil de todos juntamente com o motor Ericsson.

Esse motor possui um diagrama parecido com o do ciclo Carnot e pode ser calculado como:

$$\eta_{\text{stirling}} = 1 - \frac{T_f}{T_g}$$



A vantagem desse motor é o seu uso em processos de cogeração de ciclos a gás, os gases resultantes dos motores utilizados nos processos apresentados anteriormente normalmente são descartados na atmosfera, pois possuem baixa qualidade energética (exergia).

Uma análise da Segunda Lei, pode mostrar a destruição da exergia (ϕ)

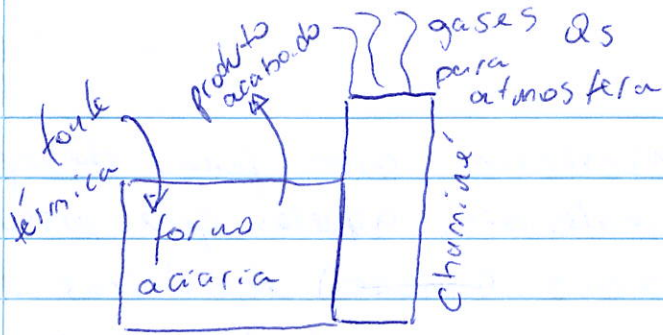
$$\phi = (U - U_0) + T_0(s - s_0) + P_0(v - v_0) + \frac{V}{2} + g \cdot z$$

(energia interna)
(calor)
(trabalho)
(energia cinética)
(energia potencial)

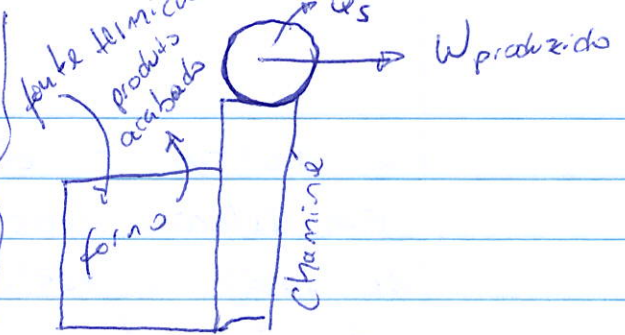
Cogeração

O motor Stirling permite associar aos outros motores e utilizar a energia dos gases de combustão aumentando assim a eficiência de um processo no procedimento de cogeração. Além disso pode utilizar o calor de usinas térmicas para "gerar" energia elétrica.

Nas usinas siderúrgicas pode se observar o processo de cogeração a partir da queima da madeira, ou nas chaminés de alto-fornos ou fornos de aço.



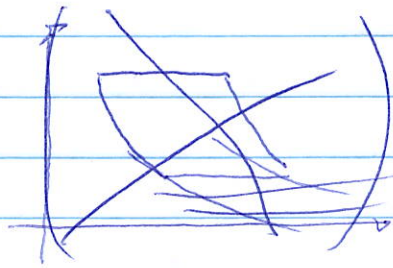
Processo sem cogeração



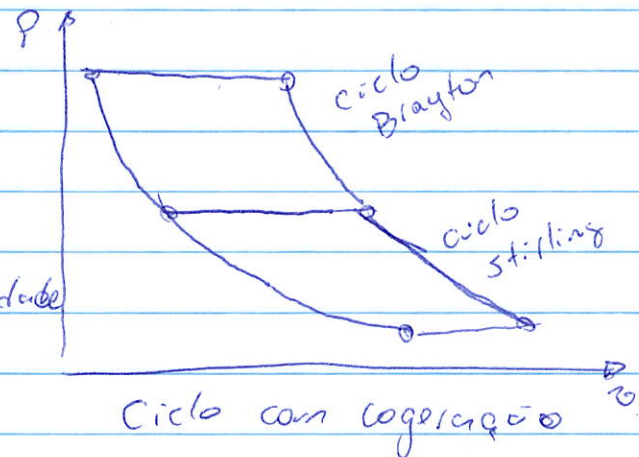
Processo com cogeração

A partir de uma mesma fonte energética é possível reaproveitar os gases oriundos do processo para a produção simultânea de mais de uma forma de energia.

Outras aplicações consistem em combinar todos os ciclos anteriores com essa finalidade, aumentando assim a área do gráfico e produzindo maiores rendimentos.



Usinas de geração de eletricidade e navios costumam combinar diversos ciclos para esse fim.



Os processos de cogeração se mostram muito eficientes e contemporâneos, principalmente na busca de reduzir emissões de gases efeito estufa. Para isso deve-se buscar o desenvolvimento de novas tecnologias de materiais e combustíveis, que hoje, são os principais desafios que essa área deve vencer. A substituição de combustíveis sujos por fontes limpas de energia como o hidrogênio verde, solar e

e eólica se demonstram como fontes desejáveis.
Em relação aos materiais, aqueles que possuem ponto de fusão e resistências ~~mecânicas~~ mecânicas maiores são desejados para a empregabilidade nos motores e assim aumentar a eficiência. Debates são necessários a fim de disponibilizar e atentar para a pesquisa em ciências técnicas. A humanidade agradece.