

CAPÍTULO 2 - CICLOS DE AR/COMBUSTÍVEL

Um ciclo de A/C é definido aqui como um processo termodinâmico idealizado, assemelhando-se ao que ocorre em algum tipo particular de motor usando como meio de trabalho gases reais semelhantes aos utilizados no motor correspondente.

Como os ciclos de A/C envolvem combustão, um processo irreversível, o meio jamais poderá retornar a seu estado original e, desta forma, o processo não é cíclico no sentido termodinâmico. Para este tipo de processo e para o processo real nos motores, o termo ciclo é usado com referência a um componente completo de um processo repetitivo.

O trabalho executado em um ciclo de A/C pode ser medido, e a definição de eficiência pode ser tratada da mesma forma que para um motor, isto é, pela escolha de um valor térmico para o combustível consumido.

DEFINIÇÕES 1

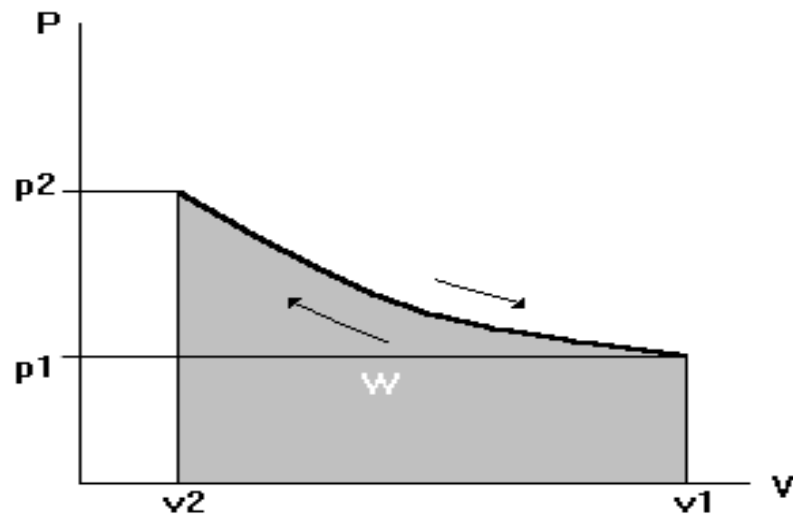
ESTADO TERMODINÂMICO. É o estado caracterizado pelas seguintes grandezas (propriedades de uma substância): temperatura, pressão, volume, entalpia e entropia.

TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS. Alterações das grandezas termodinâmicas.

SISTEMA SEM FLUXO. O fluido é confinado dentro do sistema, sofrendo todas as transformações termodinâmicas necessárias para após ser liberado ao meio externo (motores OTTO, DIESEL, WANKEL, TURBINAS A GÁS,...)

SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO. O fluido passa pelo interior do sistema, sofrendo todas as transformações termodinâmicas de forma contínua (TURBO-REATOR).

DIAGRAMA P×V, E A REPRESENTAÇÃO DO TRABALHO



CICLO TÉRMICO. Se tomarmos um fluido qualquer e forçá-lo, a custo de energia, a variar o seu estado termodinâmico, e ao fim destas transformações o tivermos reconduzido ao estado inicial, a sucessão de estados termodinâmicos pelos quais passou o fluido se constitui um CICLO TÉRMICO.

DEFINIÇÕES 2

MOTORES ALTERNATIVOS

AR FRESCO. O ar novo suprido ao cilindro para cada ciclo.

COMBUSTÍVEL FRESCO. O combustível novo suprido em cada ciclo.

MISTURA FRESCA. O ar fresco mais o combustível fresco supridos em cada ciclo de um motor carburado, ou o ar fresco no caso de um motor Diesel e outros motores de injeção.

RAZÃO A/C,(F). A razão entre as massas de combustível fresco e ar fresco.

RAZÃO A/C RELATIVA, (Fr). A razão A/C dividida pela razão estequiométrica.

RAZÃO DE AR RESIDUAL, (f). A razão entre a massa dos gases deixados no cilindro pelo ciclo anterior, após fechada todas as válvulas, e a massa de carga.

CARGA. O conteúdo total do cilindro em qualquer ponto especificado no ciclo.

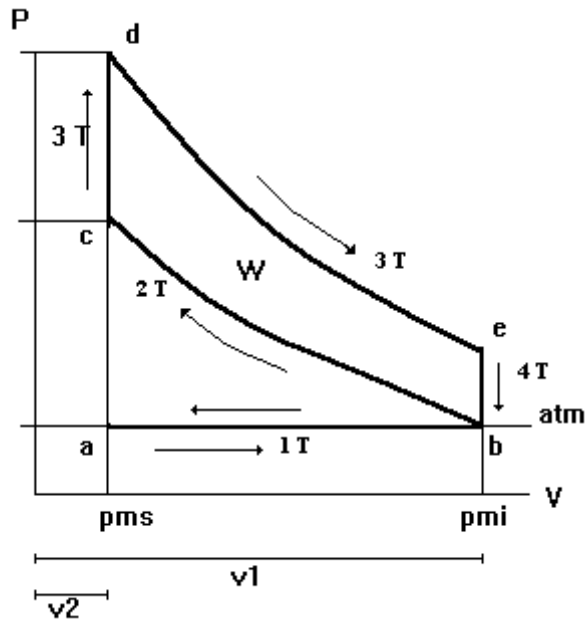
PREMISSAS (ciclos teóricos)

As premissas usadas comumente para todos os ciclos de A/C são as seguintes:

1. Não há mudança química no combustível ou no ar, antes da combustão.
2. Após a combustão, a carga está sempre em equilíbrio químico.
3. Todos os processos são adiabáticos, isto é, não há fluxo de calor através das paredes do recipiente.
4. Nos motores alternativos as velocidades são desprezíveis.

**CICLO DE A/C A VOLUME CONSTANTE, USANDO MISTURA COM CARBURAÇÃO
 (CICLO OTTO)**

Este ciclo é tomado como representativo do processo ideal para os motores carburados e ignição por centelha. Consiste nos seguintes processos.



TEMPO	VÁLVULAS		VARIACIONES DE PRESSÃO	PROCESSO
	A	D		
ADMISSÃO	A	F	Pressão cte. igual a pressão atmosférica	a - b
COMPRESSÃO	F	F	A pressão aumenta de forma progressiva até o PMS, adiabaticamente	b - c
EXPLOSÃO	F	F	Explosão a volume constante (supostamente instantânea)	c - d
EXPANSÃO	F	F	A pressão diminui de forma progressiva até o PMI, adiabaticamente	d - e
DESCARGA	F	A	A pressão diminui de forma brusca a volume constante (supostamente instantânea)	e - b
	F	A	A pressão se iguala a patm.	b - a

RENDIMENTO. O rendimento pode ser calculado considerando-se a quantidade de calor introduzido (Q1) e a quantidade de calor retirado (Q2) do sistema.

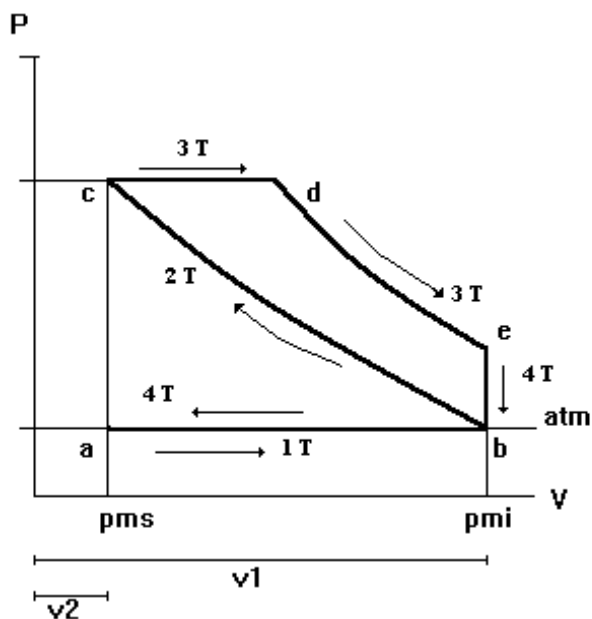
$$\eta = \frac{Q1 - Q2}{Q1}$$

CARACTERÍSTICAS DOS CICLOS A/C A VOLUME CONSTANTE

1. A eficiência é pouco afetada pelas variáveis que não a razão de compressão e a razão A/C;
2. Quando a razão A/C é a variável, a eficiência decresce com o aumento da razão A/C. Essa relação é facilmente explicada uma vez que o aumento da razão A/C eleva as temperaturas após a combustão.

CICLO DE A/C DE PRESSÃO LIMITADA MOTORES DIESEL

Os ciclos com um limite arbitrário no pico de pressão são de interesse, principalmente em conexão com os motores Diesel, nos quais as características e controle da injeção são arranjadas de forma a limitar a pressão máxima em um valor arbitrário.



TEMPO	VÁLVULAS		VARIÁÇÕES DE PRESSÃO	PROCESSO
	A	D		
ADMISSÃO	A	F	Pressão cte. igual a pressão atmosférica	a - b
COMPRESSÃO	F	F	A pressão aumenta de forma progressiva até o PMS, adiabaticamente	b - c
INJEÇÃO	F	F	Injeção a pressão constante (supostamente instantânea)	c - d
EXPLOÇÃO e EXPANSÃO	F	F	A pressão diminui de forma progressiva até o PMI, adiabaticamente	d - e
DESCARGA	F	A	A pressão diminui de forma brusca a volume constante (supostamente instantânea)	e - b
	F	A	A pressão se iguala a patm.	b - a

CARACTERÍSTICAS DOS CICLOS DE A/C DE PRESSÃO LIMITADA

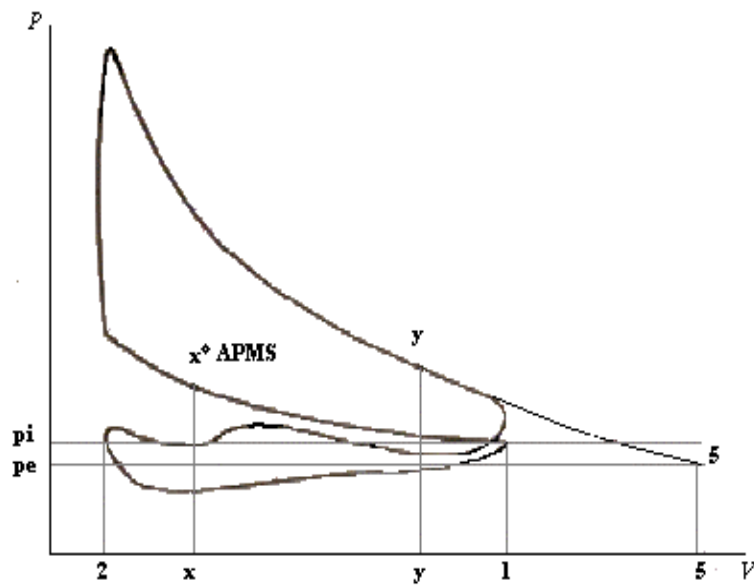
A seguinte relação é de interesse geral;

1. Melhora na eficiência com aumento na relação de pressão p_c/p_a . Quanto maior for esta relação, maior é a fração de combustível queimado na câmara de combustão.

CICLOS EQUIVALENTES DE A/C

Um ciclo de A/C, com a mesma composição e densidade de carga que um ciclo atual, é chamado de ciclo equivalente de A/C. Tais ciclos são de especial interesse, porque tornam mínimas as diferenças resultantes do fato de que os processos de admissão e descarga de um motor real não são os mesmos que os propostos para processos ideais de admissão e descarga.

CICLO EQUIVALENTE A/C PARA MOTORES OTTO



Pela análise comparativa entre o ciclo de A/C a volume constante (ciclo teórico) e o ciclo equivalente de A/C (ciclo indicado) é possível constatar algumas diferenças fundamentais que são motivadas pelas seguintes razões:

1. Trocas térmicas com o meio externo.
2. A combustão não se dá de maneira instantânea.
3. O trabalho de descarga não se dá de forma instantânea.
4. O trabalho de bombeamento, isto é, o trabalho gasto para admitir e descarregar os fluidos no motor.

TERMODINÂMICA DA COMBUSTÃO

O conhecimento sobre os processos químicos que ocorrem durante a combustão é bastante limitado. Atribui-se a isso o fato de que tais processos normalmente ocorrem com grande rapidez e a temperaturas bastante elevadas.

No tratamento termodinâmico do processo de combustão, apenas os estados finais são considerados. Para estabelecer o estado final, partindo de um estado inicial, usamos as leis da conservação de energia e massa, mais a premissa de equilíbrio completo após a combustão.

CALOR DA COMBUSTÃO. Esta quantidade é obtida através de experiências calorimétricas.

De forma rápida, o calor da combustão é medido pela queima de uma massa conhecida com excesso de oxigênio, em um recipiente a volume constante, chamado bomba calorimétrica.

Para determinar o calor da combustão, a seguinte quantidade é calculada:

$$Q_{ch} = 1/M_f \{ Q_e + V/J (p_2 - p_1) \}$$

Onde: Q_{ch} = maior calor da combustão
 M_f = massa de combustível usada
 Q_e = energia interna da mistura combustível/oxigênio
 V = volume do recipiente
 J = coeficiente da lei de Joule (426,9 kgf.m/kcal)
 p_2 = pressão após a combustão
 p_1 = pressão antes da combustão

Outra quantidade, conhecida como o menor calor da combustão do combustível, é calculada da seguinte forma:

$$Q_c = Q_{ch} + M_v H_v / M_f$$

Onde: Q_c = menor calor da combustão
 M_v = massa de vapor de água
 H_v = entalpia da unidade de massa de água

Usualmente, Q_c é usado como base para o cálculo da eficiência térmica dos motores.

ENERGIA DA COMBUSTÃO. Pode-se defini-la como a energia interna do combustível gasoso não queimado a 311°K. Entretanto, de maneira experimental, é difícil de executar tal prova, porque muitos combustíveis, e também a água, normalmente são líquidos a 311°K. Porém, E_c pode ser calculada pela experiência da bomba calorimétrica, usando-se a seguinte relação:

$$E_c = 1/M_f (Q_c + M_v E_v) - E_{lg}$$

Onde: M_f = massa de combustível
 M_v = massa de água nos produtos
 E_v = energia interna da unidade de massa de água líquida acima da referência para o vapor de água na temperatura da experiência
 E_{lg} = energia interna da unidade de massa do combustível líquido, acima da referência para o combustível gasoso na temperatura da experiência. Se o combustível for gasoso, essa quantidade é tomada como zero.

REGULADORES

MOTORES OTTO A CARGA PLENA E CARGA PARCIAL

	CARGA PLENA	CARGA PARCIAL
DEPRESSÃO NA ADMISSÃO	MAIOR	MENOR
PESO DE FLUIDO	MAIOR	MENOR
PRESSÃO NA COMBUSTÃO	MAIOR	MAIOR
POTÊNCIA DESENVOLVIDA	MAIOR	MENOR

DEPRESSÃO. O ar é aspirado para uma passagem que se estreita, formada por dois troncos de cone e designada por difusor, cone de ar, ou de Venturi, ou apenas venturi, a qual aumenta a velocidade do ar e lhe diminui a pressão (efeito venturi). A depressão, é uma espécie de vácuo parcial provocado pelo fluxo ou corrente de ar no difusor.

x° APMS (x° Adiantado do Ponto Morto Superior). Este adianto é necessário porque quando o pistão o PMS no final do tempo de compressão, a inflamação já deve estar completa, para que o rendimento seja máximo.

AVANÇO E ATRASO DO PONTO DE IGNIÇÃO.

ADIANTADO. Aumento de pressão antes do momento adequado, logo maior consumo de trabalho na compressão, e menor potência desenvolvida.

ATRASADO. Máximo da combustão com o pistão afastado demais do PMS, logo menor pressão, menor potência desenvolvida.

MOTORES DIESEL LENTOS E RÁPIDOS

	RÁPIDOS	LENTOS
AVANÇO DA INJEÇÃO	MAIOR ENCHIMENTO	MENOR
PRESSÃO	MAIOR	MENOR
TIPO DE CÂMARA DE COMBUSTÃO	COMPLEXAS	SIMPLES
CONSUMO	MAIOR	MENOR

TEMPO DE ABERTURA E FECHAMENTO DE VÁLVULAS

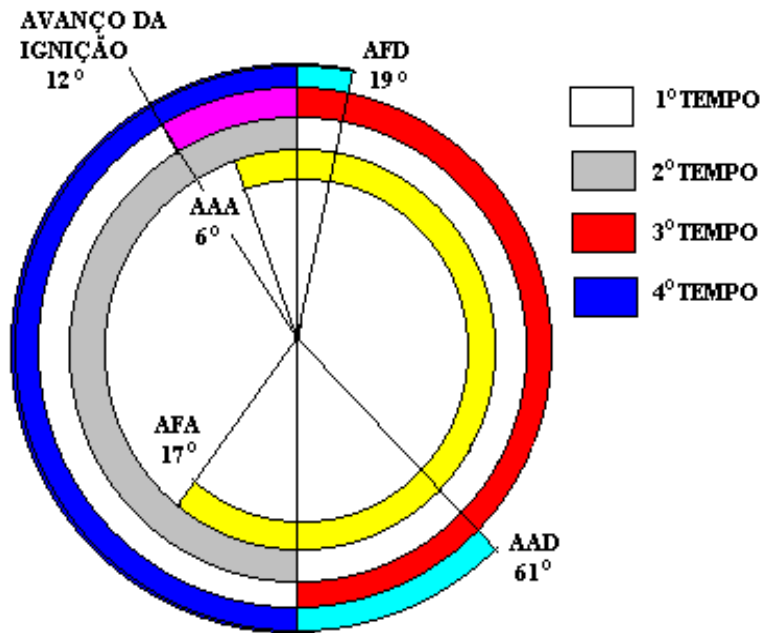
CRUZAMENTO DE VÁLVULAS. É o espaço de tempo medido em graus do virabrequim, que tanto a válvula de admissão como a válvula de descarga estão abertas simultaneamente.

ATRASO NO FECHAMENTO DA VÁLVULA DE DESCARGA, AVANÇO NA ABERTURA DA VÁLVULA DE ADMISSÃO. O fluido admitido força os gases de descarga a saírem, acarretando maior eliminação dos gases queimados. Maior enchimento, maior potência. Melhora a refrigeração da válvula de descarga.

ATRASO NO FECHAMENTO DA ADMISSÃO. Maior quantidade de fluido é admitido devido a inércia. Conseqüentemente maior potência desenvolvida.

ÂNGULO DE PERMANÊNCIA. Tempo medido em graus do virabrequim que uma válvula permanece aberta durante todo o ciclo.

DIAGRAMA CIRCULAR. Relaciona os tempos de abertura e fechamento de válvulas.



CRUZAMENTO DE VÁLVULAS = 25°
ÂNGULO DE PERMANÊNCIA DA ADMISSÃO = 203°
ÂNGULO DE PERMANÊNCIA DA DESCARGA = 258°