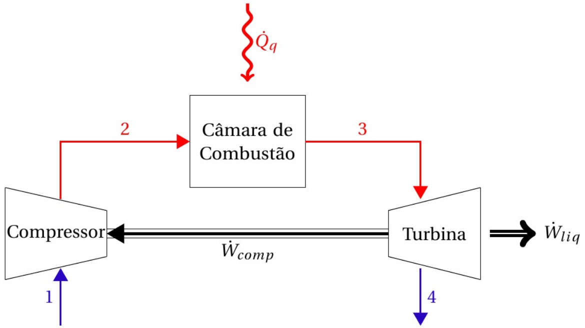
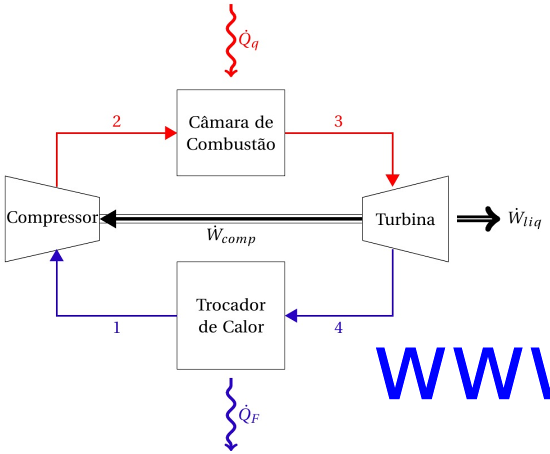
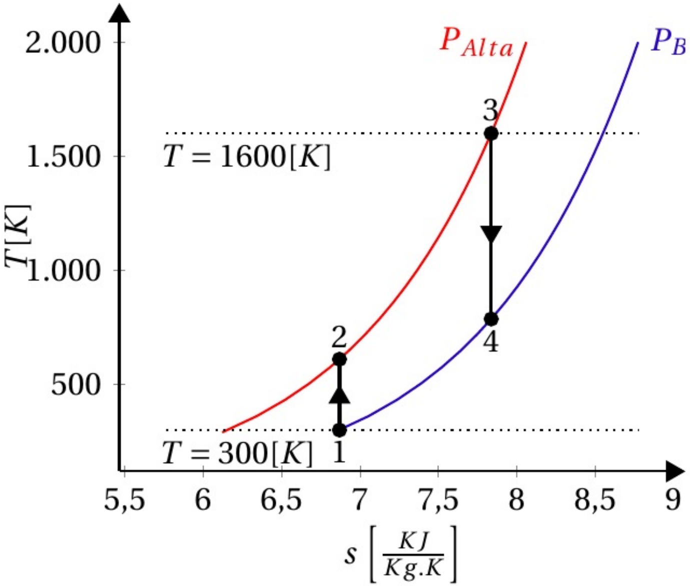
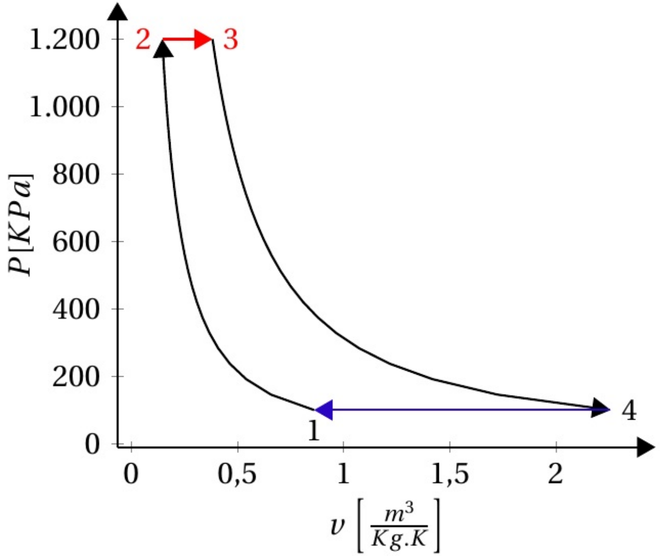
# Ciclo de Potência a gás

## Introdução




www.cienciastermicas.com

# Sistemas de Potência a gás. Introdução e Revisão das equações

## Objetivos da aula:

- Nesta aula será realizada uma revisão das equações utlizadas em ciclos a gás. Os sistemas de Potência a gás compreendem:

  Ciclo de Potência a gás Brayton

  Ciclo Otto

  Ciclo Diesel

  Turbinas para propulsão

- As equações aplicadas para todos esses sistemas são:

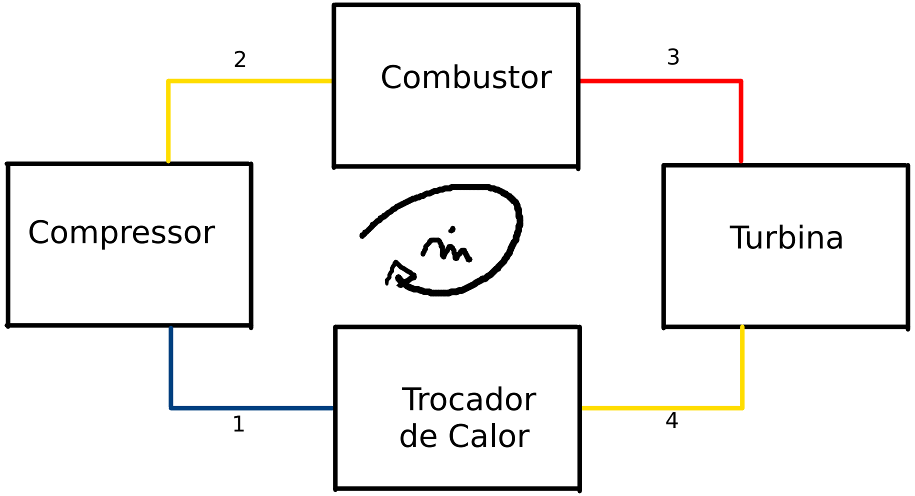
  Equação dos gases ideais

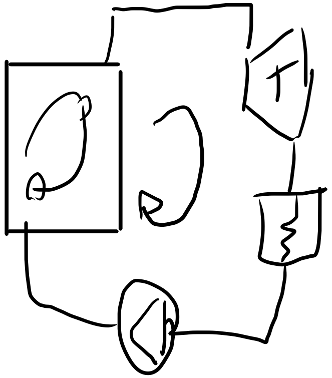
  Equações isoentrópicas

Ao final desta aula, o aluno deve ser capaz de:

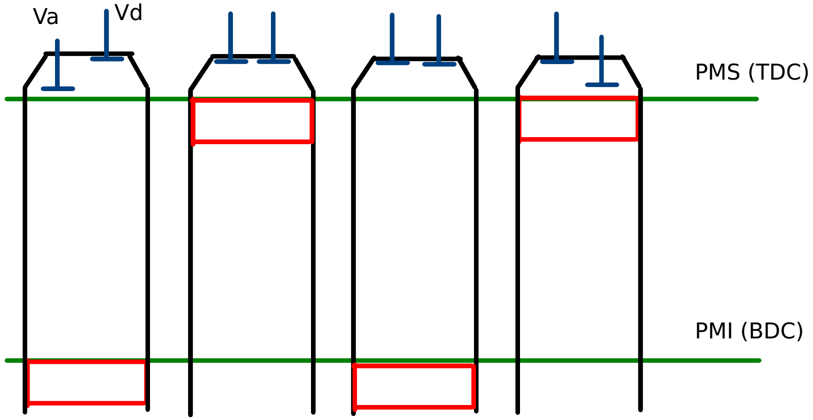
1. Compreender as diferenças e similaridades entre os ciclos a vapor e a gás
2. Identificar as equações para ciclos a gás

# Ciclo Brayton

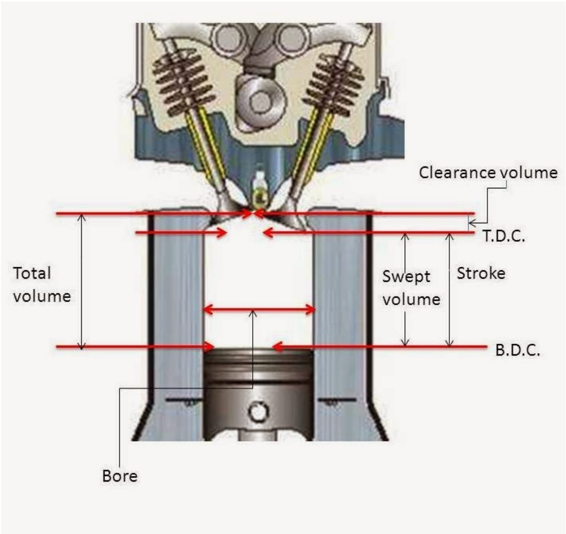


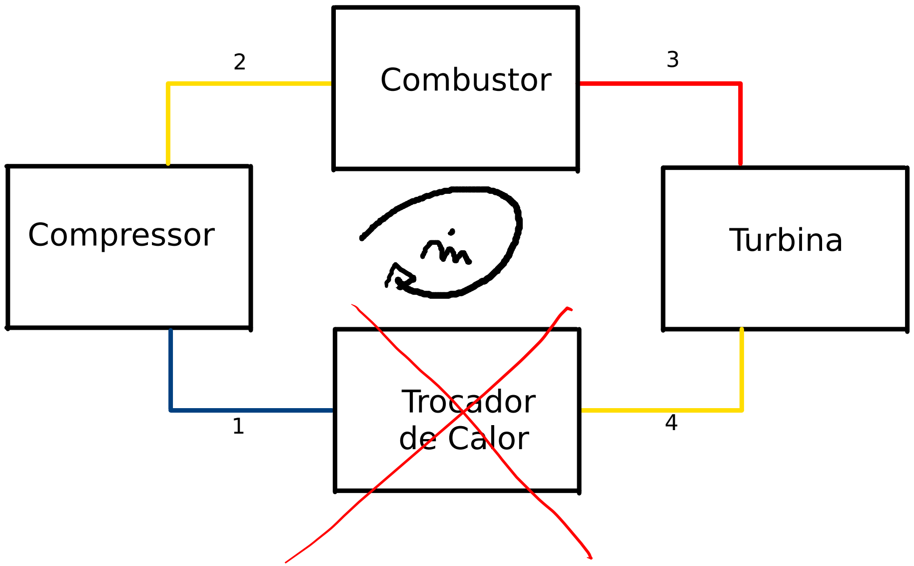



# Ciclo Otto e Diesel

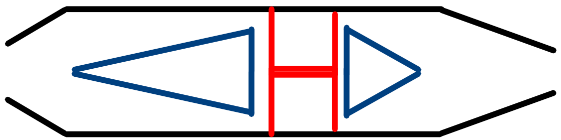



Va: válvula de admissão
Vd: válvula de descarga
PMS: Ponto morto superior
PMI: Ponto morto inferior
Razão de compressão
Volume deslocado
Volume residual
Volume total






# Turbinas e Motores a reação



As seguintes consideraçõs são utilizadas para os ciclos a gás:

1. Sempre ar

   Não é convertido em produtos de combustão

2. Sempre gás ideal $\Rightarrow P.V = mRT \; ; \; Pv = RT \; ; \; P = \rho RT \; ; \; R = \frac{\bar{R}}{M}$

3. Processo de Combustão substituído por transferência de Calor de uma fonte externa

4. Processos internamente reversíveis

No caso de ciclos Brayton, Otto e Diesel, ainda se considera:

1. Não há processos de aspiração nem exaustão.

   Subtituídos por processo de transferência de calor

2. Quantidade fixa de ar no interior do sistema

No caso da análise padrão a ar frio, considera-se os calores específicos constantes e avaliados à temperatura ambiente.

$v = \frac{1}{\rho}$

$\bar{R} = 8314 \; J/kmol\,K$

$M = \frac{m}{n}$ ← MASSA

↳ nº mols

$P.V = m \frac{\bar{R}}{M} . T$

$P.V = n \bar{R} . T$

T SEMPRE KELVIN!!!

# A equação dos gases ideais

$PV = mRT$

- temperatura EM KELVIN
- Constante do gás $\frac{J}{kg\,K}$ ou $\frac{kJ}{kg\,K}$
- MASSA [kg]
- Volume [$m^3$]
- Pressão [Pa] ou [kPa]

- $R = \frac{\bar{R}}{M}$;
- $M = \frac{m}{n}$;
- m:massa;
- n: número de mols

# Entropia e equações de Gibbs

$$ds = \oint \frac{\delta Q}{T} \qquad w = -\int P.dv$$

$$\delta q = T.ds$$

1ª LT: $de = \delta q + \delta w$

$de_{k} \simeq 0$ ; $de_{p} \simeq 0$

$de = du$

$$du = \delta q + \delta w$$

$$du = T.ds - P dv$$

$$\boxed{T ds = du + P.dv}$$

Eq. Gibbs

$$T\,ds = du + P\,dv$$

$$h = u + P\cdot v \rightsquigarrow dh = du + P\,dv + v\,dP$$

$$du = dh - P\,dv - v\,dP$$

$$T\,ds = dh - \cancel{P\,dv} - v\,dP + \cancel{P\,dv}$$

$$\boxed{T\,ds = dh - v\,dP}$$ Eq. gibbs

$$\boxed{\begin{aligned} T\,ds &= du + P\cdot dv \\ T\,ds &= dh - v\,dP \end{aligned}}$$

# Equação de Gibbs e Equações Isoentrópicas para gases ideais

$$C_v = \frac{du}{dT}\Big)_v$$

$$c_p = \frac{dh}{dT}\Big)_p$$

CALOR ESPECÍFICO

$$\delta Q = m \cdot c \cdot dT$$

$$\delta Q \propto dT$$

Volume constante

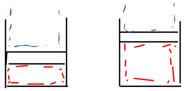

$\delta Q$

$$dU = \delta Q + \cancel{\delta W}$$

$$dU = m\,c\,dT$$

$$c_v = \frac{du}{dT}\Big)_v$$

PRESSÃO Constante



$\delta Q$

$$dU = \delta Q + \delta W$$

$$dU = \delta Q - P\,d\forall$$

$$dU + P\,d\forall = \delta Q$$

$$dU + d(P\,d\forall) = \delta Q$$

$$dH = \delta Q = m\,c\,dT$$

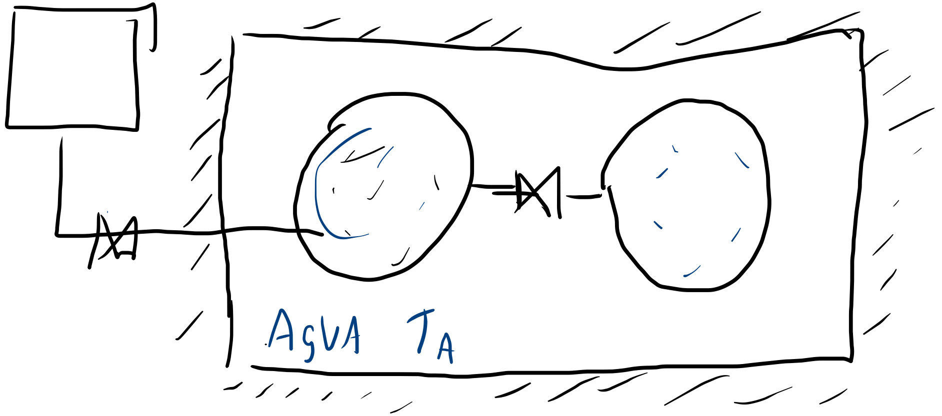
$$c_p = \frac{dh}{dT}\Big)_p$$

$$de = \delta q + \delta w$$

$$W_{C/E} = -P \cdot d\forall$$

www.cienciastermicas.com
Rodrigo Lisita Ribera

Joule $\Rightarrow$ propriedades dependem somente da temperatura




gás: $P_1$, $\forall_1$ $\Rightarrow$ $P_2 < P_1$, $\forall_2 > \forall_1$

$$dU = \cancel{\delta Q}^{\,0} + \cancel{\delta W}^{\,0}$$

$$\Delta T_A \simeq 0$$

$$dU = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta P \\ \Delta \forall \end{array} \right.$$

Logo, p/ gás ideal

$$c_v = \left.\frac{du}{dT}\right|_v \Rightarrow du = c_v \cdot dT$$

$$c_p = \left.\frac{dh}{dT}\right|_p \Rightarrow dh = c_p \cdot dT$$

$c_p \Rightarrow c_p = f(T)$

$c_v \Rightarrow c_v = f(T)$

p/ gas IDEAL

$$T\,ds = du + P\,dv$$

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P}{T}\,dv$$

$du = c_v \cdot dT$ ; $Pv = RT \Rightarrow \frac{P}{T} = \frac{R}{v}$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 c_v \cdot \frac{dT}{T} + \int_1^2 \frac{R}{v}\,dv$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

p/ $c_v$ = constante

$$\boxed{s_2 - s_1 = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)}$$

www.cienciastermicas.com
Rodrigo Lisita Ribera

p/ proceso isoentrópico

$$s_2 - s_1 = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$s_2 = s_1$

$$0 = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = -\frac{R}{c_v} \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{-\frac{R}{c_v}} \rightsquigarrow \boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1-k}}$$

$-\frac{R}{c_v}$ ; $h = u + P \cdot v$ $\Rightarrow -\frac{R}{c_v} = -\left(\frac{c_p - c_v}{c_v}\right) = -\left(\frac{c_p}{c_v} - 1\right) = -(k-1) = 1-k$

$c_p \cdot \cancel{T} = c_v \cdot \cancel{T} + R \cancel{T}$

$Pv = RT$ $\qquad R = c_p - c_v$

$$T\,ds = dh - v\,dP$$

$$dh = c_p \cdot dT \,; \quad Pv = RT \Rightarrow \frac{v}{T} = \frac{R}{P}$$

$$ds = \frac{c_p\,dT}{T} - \frac{v\,dP}{T}$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} - \int_1^2 R\,\frac{dP}{P}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

p/ $c_p$ = Constante $\Rightarrow$ $S_2 - S_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

el processo isoentrópico

$$s_2 = s_1 \qquad s_2 - s_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/c_p} \rightsquigarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\frac{R}{c_p} = \frac{c_p - c_v}{c_p} = \frac{c_p}{c_p} - \frac{c_v}{c_p} = 1 - \frac{1}{k} = \frac{k-1}{k}$$

Ec. ISOENTRÓPICAS

p/ GASES IDEALES

$$\boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1-k} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{1-k}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

www.cienciastermicas.com
Rodrigo Lisita Ribera