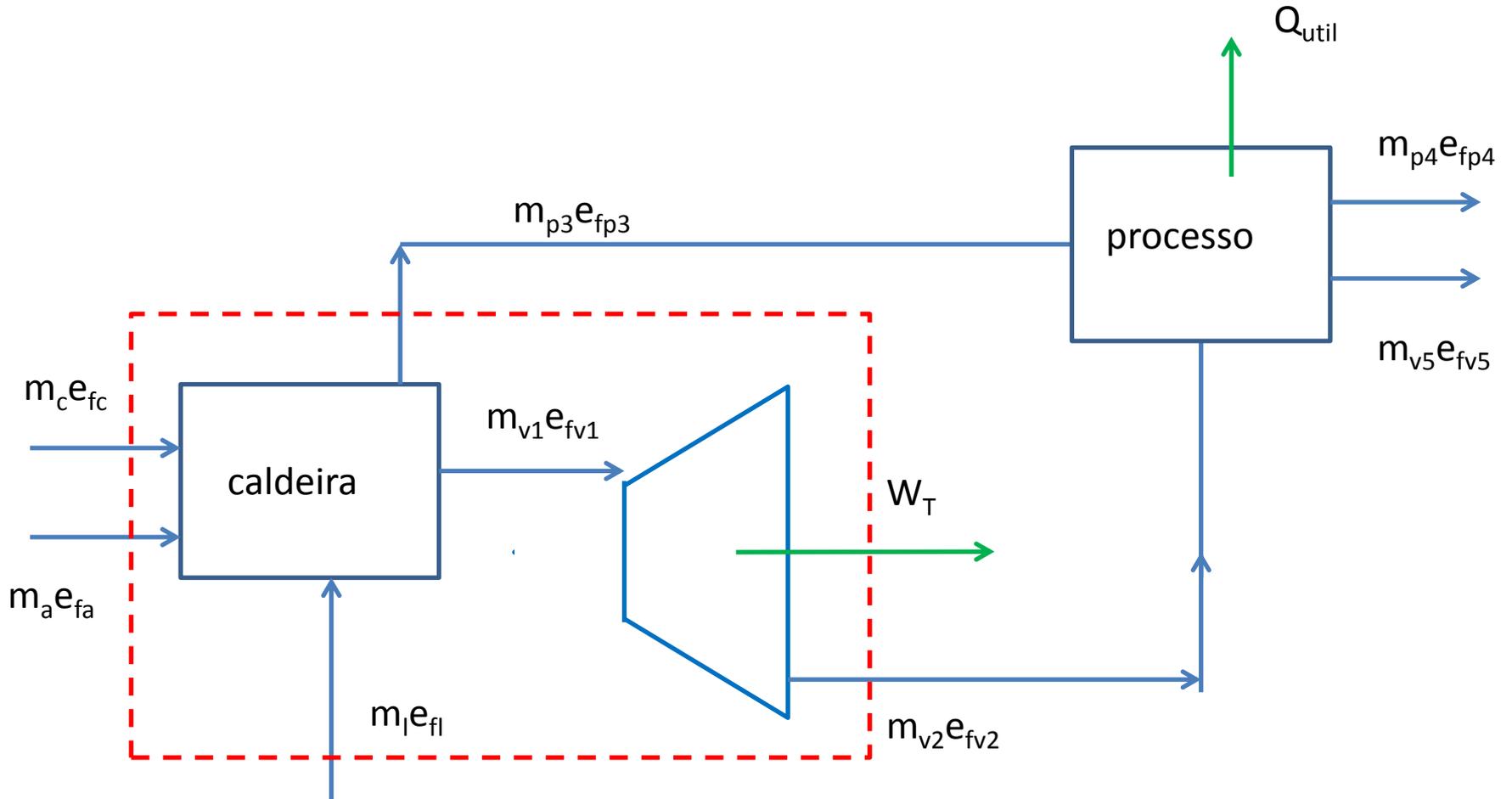


# Exergia

Exemplo: cogeração

# OBS: cogeração



# Balanço de exergia

- RP, PUF,  $\Delta KE = \Delta PE = 0$ ,  $Q \approx 0$

$$0 = -\dot{W}_T - \dot{\epsilon}_d + \dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{m}_{v2} e_{fv2} - \dot{m}_{p3} e_{fp3}$$

$$\dot{W}_T = (\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{\epsilon}_d) - (\dot{m}_{v2} e_{fv2} + \dot{m}_{p3} e_{fp3})$$

# Balanço de exergia

$$\dot{W}_T = (\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{\epsilon}_d) - (\dot{m}_{v2} e_{fv2} + \dot{m}_{p3} e_{fp3})$$

- 1° termo RHS
  - Exergias do combustível e do comburente ( $\dot{m}_c PCS$ ) + exergia presente na água líquida (pode ser alta no caso do reaproveitamento de condensados) – irreversibilidades
    - Este termo é difícil de ser melhorado, embora as maiores perdas de exergia estejam aqui
- 2° termo RHS
  - Exergias que deixam o sistema na forma de produtos da combustão e de vapor
    - Este termo poderia ser reaproveitado: cogeração

# Balanço de exergia

- A energia residual contida nestes gases não pode ser utilizada diretamente em uma TV
  - $x_2$  é baixo => erosão
  - Em 3 temos gases (não é vapor d'água)
- Entretanto, pode ser utilizada para outros fins
  - Trocadores de calor
    - Outra caldeira
    - Para envio a outra turbina
  - Refrigeração (ciclos por absorção)
  - Isto aumentaria os rendimentos térmico e exergético

# Balanço de exergia

- Para o VC considerado:

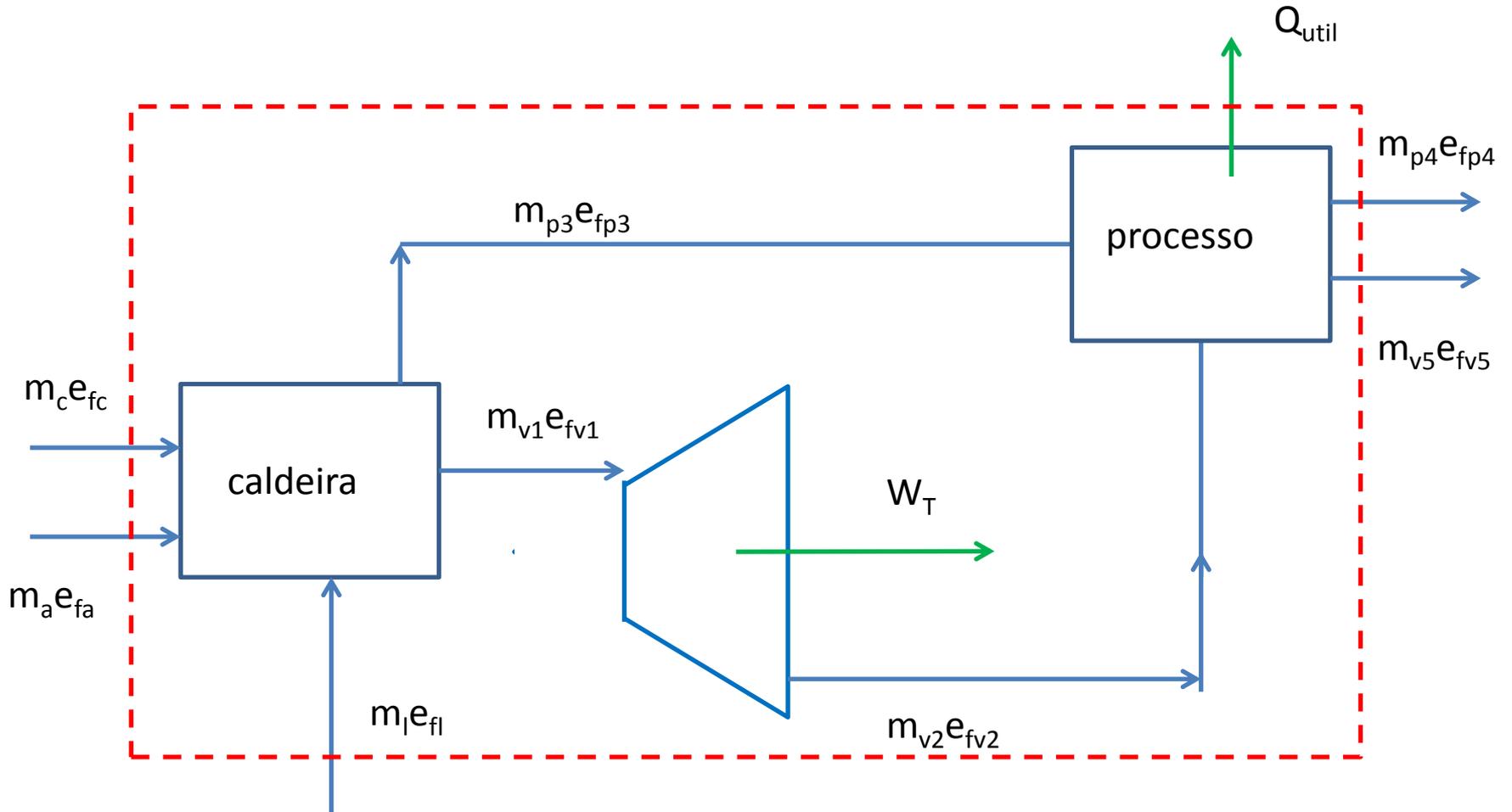
$$\varepsilon = \frac{\dot{W}_T}{\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl}}$$

- E se considerarmos que:

$$\begin{aligned}\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} &= \dot{m}_c PCS \\ \dot{m}_l e_{fl} &\ll \dot{m}_c PCS\end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{W}_T}{\dot{m}_c PCS}$$

# Princípio da cogeração



# Balanço de exergia

- RP, PUF,  $\Delta KE = \Delta PE = 0$ ,  $Q \approx 0$

$$-\left(1 - \frac{T_0}{T_{pr}}\right) \dot{Q}_{util} + \dot{W}_T = -\dot{\epsilon}_d + \dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{m}_{p4} e_{fp4} - \dot{m}_{v5} e_{fv5}$$

$$\begin{aligned} & -\left(1 - \frac{T_0}{T_{pr}}\right) \dot{Q}_{util} + \dot{W}_T \\ & = (\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{\epsilon}_d) \\ & \quad - (\dot{m}_{p4} e_{fp4} + \dot{m}_{v5} e_{fv5}) \end{aligned}$$

# Balço de exergia

$$-\left(1 - \frac{T_0}{T_{pr}}\right) \dot{Q}_{util} + \dot{W}_T \\ = (\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl} - \dot{\epsilon}_d) - (\dot{m}_{p4} e_{fp4} + \dot{m}_{v5} e_{fv5})$$

- LHS
  - Exergia útil (agora é maior)
- O aporte de exergia é o mesmo
- Fluxos de exergia para a vizinhança diminuiu
  - $(\dot{m}_{p4} e_{fp4} + \dot{m}_{v5} e_{fv5}) < (\dot{m}_{v2} e_{fv2} + \dot{m}_{p3} e_{fp3})$
- Aumento da energia disponível
  - Isto pode significar uma economia significativa no uso de recursos energéticos
  - Diminuição da emissão de poluentes

# Balanço de exergia

- Para o VC considerado:

$$\varepsilon = \frac{-\left(1 - \frac{T_0}{T_{pr}}\right) \dot{Q}_{util} + \dot{W}_T}{\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{m}_l e_{fl}}$$

- E se considerarmos que:

$$\begin{aligned}\dot{m}_a e_{fa} + \dot{m}_c e_{fc} &= \dot{m}_c PCS \\ \dot{m}_l e_{fl} &\ll \dot{m}_c PCS\end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{-\left(1 - \frac{T_0}{T_{pr}}\right) \dot{Q}_{util} + \dot{W}_T}{\dot{m}_c PCS}$$

# Princípio da cogeração

- Percebe-se que a eficiência exergética aumentou
  - Este é o ganho que se tem com a cogeração
- OBS1: a utilização da cogeração requer um maior investimento financeiro na planta
  - O uso da cogeração deve considerar:
    - Ganho exergético (energético)
    - Custos financeiros suplementares
    - Critérios ambientais e legislação
- OBS2: esta análise poderia ter sido feita em termos de energia. Entretanto como a exergia é uma medida do valor da energia, ela foi utilizada aqui.

# Classificação dos sistemas de cogeração

- Sequência na utilização da energia
  - Feita em função da sequência de utilização da energia no sistema de cogeração
  - 2 tipos básicos
- A. Topping: geração elétrica (ou mecânica) à montante
  - Produção elétrica ou mecânica precede o fornecimento de calor útil
  - O VC apresentado anteriormente é um exemplo de sistema de cogeração do tipo Topping
    - Queima de comb -> pot. Eixo -> calor útil -> rejeiç prod e vap
- B. Bottoming: geração elétrica (ou mecânica) à jusante
  - Produção elétrica ou mecânica está situada após a demanda térmica

# Classificação dos sistemas de cogeração

- De emprego mais restrito
  - Calor rejeitado em processos possui T baixo para gerar potência de eixo
  - São utilizados quando há calor a T elevada
    - » Ex: fornos de cerâmica e indústria de cimento
- Reutilização da energia (gás e vapor de escape)
  - Em função de como são aplicados
  - 2 tipos
  - A. Indireto: gás de escape rejeita energia (transf. de calor) para produção de vapor
    - Ex: ocorre muitas vezes em turbinas a gás e motores alternativos
  - B. Direto: o vapor de escape é utilizado diretamente em outros processos
    - Quando se utiliza TV