

13– EXERGIA E APROVEITAMENTO DE ENERGIA DE BAIXOS POTENCIAIS

Exergia é uma propriedade termodinâmica que foi introduzida no meado da década de 1950, como uma medida da capacidade de uma corrente quente produzir trabalho útil.

Exergia está relacionada a duas outras propriedades termodinâmicas, entalpia e entropia, através da seguinte equação:

$$E_x = (H - H_o) - T_o \cdot (S - S_o)$$

H = entalpia específica da corrente

S = entropia específica da corrente

T = temperatura da corrente em Kelvin

O subscrito “o” indica a condição de referência, que para as plantas químicas deve ser a temperatura e a pressão presentes no ambiente.

13.1 CONCLUSÕES IMPORTANTES

A exergia contida numa corrente é uma fração da entalpia contida nessa corrente.

A entalpia contida na corrente, por si só, não é capaz de indicar o potencial de trabalho útil que pode ser extraído dessa fonte de calor.

Se uma corrente está em equilíbrio (térmico, mecânico ou químico) com a vizinhança, pode não produzir trabalho.

Isto se constitui na principal diferença entre exergia e energia livre de Gibbs, que é uma propriedade de uma corrente que independe do ambiente vizinho.

Em muitas indústrias que são grandes consumidoras de energia, uma grande quantidade de energia é descartada, quase que sempre sobre a forma de calor, para o meio ambiente através de efluentes líquidos e/ou gasosos.

São correntes onde o nível de temperatura não permite seu uso nos processos e muitas vezes seu aproveitamento é economicamente inviável.

13.2 INDÚSTRIAS QUE DESCARTAM ENERGIA E SUAS TEMPERATURAS TÍPICAS DE EXAUSTOS:

INDÚSTRIA	EFLUENTE (°C)	EFLUENTE
PETROQUÍMICA E REFINO DE PETRÓLEO	150 A 300	LÍQUIDO, GÁS
LIQUEFAÇÃO GAS NATURAL	150 A 260	GÁS
METALURGIA	100 A 350	LÍQUIDO, GÁS
PAPEL E CELULOSE	80 A 100	LÍQUIDO, GÁS
CERÂMICA	150 A 450	GÁS

SISTEMAS DE SECAGEM 90 A 370 LÍQUIDO,GAS

INCINERAÇÃO 150 A 430 GÁS

Então: um gás quente de chaminé, um vapor de baixa pressão ou mesmo uma corrente de efluente líquido quente, todos tem potencial para produzir trabalho útil.

A razão exergia/entalpia aumenta com a temperatura da fonte quente. Estes potenciais podem ser calculados para qualquer tipo de corrente.

A análise de integração exérgica no setor industrial contribui tanto para maior eficiência energética como para a proteção ambiental.

Pode-se definir uma eficiência para a recuperação de exergia, como sendo:

$$\text{(TRABALHO LÍQUIDO PRODUZIDO)} / \text{(VARIAÇÃO DE EXERGIA)}$$

São concebíveis, eficiências exérgicas tão altas quanto 70%.

13.3 CÁLCULO DA VARIAÇÃO DE EXERGIA ENTRE UM ESTADO INICIAL (SUBSCRITO i) E UM ESTADO FINAL (SUBSCRITO f)

$$\Delta E_x = (H_f - H_i) - T_o \cdot (S_f - S_i)$$

As entalpias para misturas ideais de diferentes componentes podem ser calculadas como a soma das entalpias dos componentes sendo cada uma multiplicada pela fração molar do respectivo componente.

No caso das entropias, este procedimento não pode ser considerado. Nesse caso usa-se a equação abaixo, para misturas ideais:

$$S = \sum_j (x_j \times S_j) - R \times \sum_j (x_j \times \ln(x_j))$$

Para os casos práticos em geral como: gases reais, produtos químicos e misturas complexas, podem ser usados simuladores de processo como o Aspen Plus, Chemcad e Prosim Plus, que são bem elaborados para o cálculo de propriedades termodinâmicas tanto de substâncias puras, como misturas e soluções (ideais e não ideais)

13.4 PRIMEIRO EXEMPLO: (GÁS IDEAL)

Corrente de Nitrogênio a 100°C sendo a referência 25°C e a pressão atmosférica padrão. Nesse caso a relação exergia/entalpia = 0,11.

Significa que a fonte de calor (Nitrogênio a 100°C), no máximo 11% da entalpia total é recuperável como trabalho no eixo de uma máquina.

13.5 SEGUNDO EXEMPLO: (VAPOR SATURADO E CONDENSADO SATURADO)

Corrente de vapor saturado a 100°C tendo como referência a água líquida saturada a 25°C. Nesse caso as relações exergia/entalpia, são de no máximo 0,17 para o vapor e 0,11 para o condensado.

13.6 TECNOLOGIAS PARA APLICAÇÃO

Algumas tecnologias estão disponíveis ou sendo desenvolvidas para a conversão de fontes de calor de baixo potencial térmico em eletricidade.

O ciclo Rankine com vapor d'água, não é apropriado para casos em que a temperatura da fonte de calor é menor que 240°C.

Como alternativas tem sido proposto o chamado “ciclo Rankine orgânico” ou ORC (“Organic Rankine Cycle”) e o ciclo Kalina.

O ORC usa fluidos de trabalho que tem pressão de vapor maior que a da água. Para isso tem sido proposto refrigerantes tais como R11, R113m, R114 ou R245fa. Alguns hidrocarbonetos tais como isobuteno, isopentano e ciclopentano estão sendo alternativas promissoras.

O uso da amônia (R717) está muito perto de se tornar uma solução comercial, pois apesar de ser muito tóxica, tem pressão de vapor muito maior que a da água, para uma dada temperatura.

Além disso, tem a massa molecular muito próxima da água e turbinas a vapor convencionais podem ser empregadas.

Outro ciclo termodinâmico, fortemente considerado é o ciclo Kalina. Este ciclo usa como fluido de trabalho uma mistura de amônia e água.

REFERÊNCIAS:

“Get the Most Out of Waste Heat” – Chemical Engineering – october 2006 –pag 40 a 43.

Termodinâmica Amistosa para Engenheiros – Octave Levenspiel

Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação – Vol I – Electo Lora e Marco Nascimento.