

10 – TRANSFERÊNCIAS POSSÍVEIS DE ENERGIA, DEGRADAÇÃO DE ENERGIA E PERDAS

10.1 INTRODUÇÃO:

No dia a dia com a minha família e com meus amigos, costumo brincar usando expressões como: “Isso é Termodinâmica pura”. “Se não fornecer Calor não sairá Trabalho”. “Nada vai do frio para o quente”. Geralmente essas intervenções na conversa, cabem de forma perfeita, em se tratando de assuntos os mais diversos, como preço de um produto, custo/benefício em relação a um investimento, facilidade ou dificuldade de vencer certos obstáculos diários, ofertas “fantásticas” do mercado, falsa esperteza apregoada por alguém, etc.

Conhecendo o artigo: “Steam Generation Thermodynamics”, de autoria de Brad Buecker, publicado na revista Chemical Engineering de novembro de 2010, páginas 44-47, cujo objetivo é focalizar a eficiência de processo, fiquei muito sensibilizado pela forma como está apresentada uma revisão de conceitos básicos da Termodinâmica: muito didática e com uma abordagem bem AO MEU MODO DE ENCARAR A PRÁTICA DA TERMODINÂMICA.

O aludido conhecimento pode ser útil a um número maior de pessoas, incluindo jovens engenheiros e estudantes de Ciência e Engenharia.

Para a maioria do público, A Física e em especial a Termodinâmica, significa matemática complexa e mistérios indecifráveis, incluindo aí também, inúmeros com formação em Engenharia e/ou em outros campos da Tecnologia.

Essa realidade acaba sendo um entrave ao progresso científico e na linha de pensamento dos indivíduos, tornando as pessoas menos sábias.

Diante dessa situação, bem conhecida, o Professor americano Octave Levenspiel, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual do Oregon, EUA, decidiu escrever um livro maravilhoso cujo título original é “Understanding Engineering Thermo”, e traduzido em

português no Brasil pelos professores da Universidade de São Paulo (USP), José Luís Magnani e Wilson Miguel Salvagnini, ganhou o espirituoso título de “Termodinâmica Amistosa para Engenheiros”.

Clareza dos conceitos fundamentais da Termodinâmica, como o entendimento e a interpretação das suas leis ou princípios básicos, faz com que fórmulas simples possam ser usadas para explicar, avaliar, prever e projetar instalações de processamento industrial.

Interessante é constatar, que o entendimento e a interpretação desses mesmos conceitos, são capazes de fazer com que o gerenciamento do cotidiano da vida pessoal de cada um, possa ser feito com mais racionalidade e inteligência, evitando entusiasmos por situações falsas e criando resistência a apelos que vão de encontro às condições inexoráveis da natureza.

10.2 DEFINIÇÕES E AS LEIS DA TERMODINÂMICA:

A Primeira Lei pode ser enunciada assim:

“Você não pode conseguir alguma coisa a partir do nada” (“You can’t get something for nothing”), ou como se diz com frequência na linguagem dos economistas americanos : “Não existe almoço grátis”.

Na realidade a Primeira Lei é a Lei da Conservação da Energia e diz:

“A energia usada dentro de um sistema não é criada ou destruída, mas somente transferida”.

$$Q - W = \Delta K + \Delta P + \Delta U + \Delta(pv) + \frac{dE}{dt}$$

Q = quantidade de calor por unidade de tempo. Considera-se positiva quando é transferida para o sistema e negativa quando é transferida do sistema para a vizinhança.

W = Trabalho por unidade de tempo transferido do sistema (trabalho de eixo) para a vizinhança. É então considerado positivo. Ao contrário é

considerado negativo o trabalho por unidade de tempo transferido para o sistema.

ΔK = Diferença de Energia Cinética ocorrida por unidade de tempo.

ΔP = Diferença de Energia Potencial ocorrida por unidade de tempo.

ΔU = Diferença de Energia Interna ocorrida por unidade de tempo.

$\Delta(pv)$ = Diferença de energia do fluido ocorrida por unidade de tempo quando o fluido entra e quando sai do sistema.

dE/dt = Mudança de energia por unidade de tempo ocorrida dentro do sistema.

De forma resumida, a Primeira Lei pode ser escrita:

Varição energia do sistema + Varição energia da vizinhança = 0

A equação que representa a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser simplificada com poucas considerações que são aplicáveis a muitos sistemas industriais e não industriais, como:

- a) A Energia Potencial e a Energia Cinética em geral têm variações muito pequenas comparadas com variações de outras formas de energia, podendo, portanto, ser desprezadas.
- b) Nos processos contínuos em regime permanente, não há acúmulo de energia.
- c) Nos processos com reação química deve ser adicionado às variações de Entalpia, a variação de Entalpia que corresponde a cada uma das reações que ocorrerem.

Mas a Primeira Lei representa um cenário ideal, e aí é quando entra a Segunda Lei da Termodinâmica.

A Segunda Lei descreve a direção do processo e a degradação de energia.

Inicialmente observe estes fatos corriqueiros, como:

- > Uma xícara de café quente na mesa da cozinha não se torna mais quente enquanto a temperatura desse ambiente continuar mais fria que o café.
- > Os humanos se tornam mais velhos e assim por diante.
- > Uma pedra que cai de uma elevação, não retorna ao alto, perdeu sua energia potencial, transformando-a em calor que se dissipou no ambiente.

A Segunda Lei pode ser enunciada assim:

“Você não pode atingir o equilíbrio, ou seja, ter o ganho igual à perda” (“You can’t break even”) Ou de outra forma:

“Em todos os processos conhecidos pela humanidade, alguma perda (degradação) de energia ocorre”. Pode ser devido a atrito, escapamento de calor do sistema, distúrbios de fluxo ou uma variedade de outros fatores.

Na realidade a Segunda Lei da Termodinâmica é muito clara no conceito do Ciclo de Carnot (Sadi Carnot, jovem engenheiro militar francês, 1824) que nos diz:

“A máquina mais eficiente que pode ser construída opera com uma entrada de calor (heat input) (Q_H) a alta temperatura (T_H) e uma descarga de calor (heat discharge) (Q_L) a baixa temperatura (T_L), no qual:

$$Q_H / T_H - Q_L / T_L = 0$$

Esta equação representa a máquina teoricamente ideal.

Cientistas definiram uma propriedade conhecida como ENTROPIA, que na sua mais simples forma é a MEDIDA DA DEGRADAÇÃO DA ENERGIA e é

baseada na razão do Calor Transferido no processo para a Temperatura em escala absoluta (Q/T).

Em todo processo, a mudança global de Entropia de um sistema e sua vizinhança aumenta.

Então, no mundo real, “de verdade”, a equação torna-se:

$$Q_H / T_H - Q_L / T_L < 0$$

Mesmo a Entropia parecendo um termo abstrato, ela é muito importante na determinação da eficiência dos processos, porque energia degradada não é energia útil.

E o Ciclo de Carnot nos ensina dois pontos muito importantes sobre todos os processos do “mundo de verdade” (mundo real):

1 – O processo não pode ser feito para produzir Trabalho, sem alguma extração (saída) de Calor do processo (Q_L), mostrado nas equações acima, referentes à Segunda Lei. No caso de um ciclo: caldeira, turbina, condensador e bomba de água de alimentação, a remoção de calor é no condensador do vapor exausto da turbina.

2 – A eficiência da máquina de Carnot (η) é definida como:

$$\eta = 1 - T_L / T_H$$

Então a eficiência aumenta se a temperatura de entrada aumenta ou se a temperatura do exausto diminui.

10.3 EFEITOS PRÁTICOS NA EFICIÊNCIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS:

TURBINA:

As turbinas ideais são isoentrópicas, e teriam rendimento de 100%, o que sabemos é que não será nunca a realidade prática. Contudo são máquinas de grande eficiência registrando-se valores entre 80% e 90%.

CONDENSADOR:

Veamos a influência do condensador (saída de calor do processo) na eficiência de um sistema, considerando, por exemplo, três situações de exausto, turbina ideal e as seguintes condições de entrada de vapor na turbina:

Vapor na entrada da turbina $70\text{kgf/cm}^2\text{abs}$ (1.000 psia) e $537,8^\circ\text{C}$ (1.000°F)

Vazão de vapor para a turbina $453,5\text{ t/h}$ ($1.000.000\text{ lb/h}$)

Entalpia: $3.503,14\text{ kJ/kg}$ ($1.505,9\text{ Btu/lb}$)

Primeira situação: exausto para a atmosfera

Vapor na saída: 1 atm abs ($14,7\text{ psia}$) qualidade 93%

Trabalho global obtido: $124,5\text{ MW}$

Segunda situação: exausto no vácuo, 1 psia (aproximadamente 2 in Hg)

Vapor de saída: $0,07\text{kgf/cm}^2\text{ abs}$ (1psia) qualidade 82%

Trabalho global obtido: $170,6\text{ MW}$

Um aumento de 37% na produção de Trabalho, mostrando o grande efeito de T_L ser reduzida.

Observando que o volume específico do vapor nesse caso é $17,166\text{ m}^3/\text{kg}$ ($274,9\text{ ft}^3/\text{lb}$) e o volume específico da água também nessa mesma condição é de $0,001007\text{ m}^3/\text{kg}$ ($0,016136\text{ ft}^3/\text{lb}$), vemos que o processo de condensação reduz o volume do fluido 17.036 vezes.

A condensação do vapor, portanto, gera um forte vácuo no condensador, o que na realidade age como uma força para puxar o vapor através da turbina.

Terceira situação: exausto no vácuo, mas de 2 psia (condensador sujo, etc)

Vapor de saída: 0,14 kgf/cm² abs (2 psia)

Trabalho global obtido: 160 MW

Perda em relação à Segunda situação, de 10,6 MW

Fica então demonstrado porque o tratamento adequado da água de resfriamento, a erradicação de entradas de ar indesejáveis e o acompanhamento do desempenho do condensador é muito importante. Iniciativas de melhoria de performance de condensadores tem resultado em economias líquidas entre US\$ 500,000 e US\$1,500,000 por ano por planta.

10.4 GERAÇÃO E SUPERAQUECIMENTO DO VAPOR DE ALTA PRESSÃO:

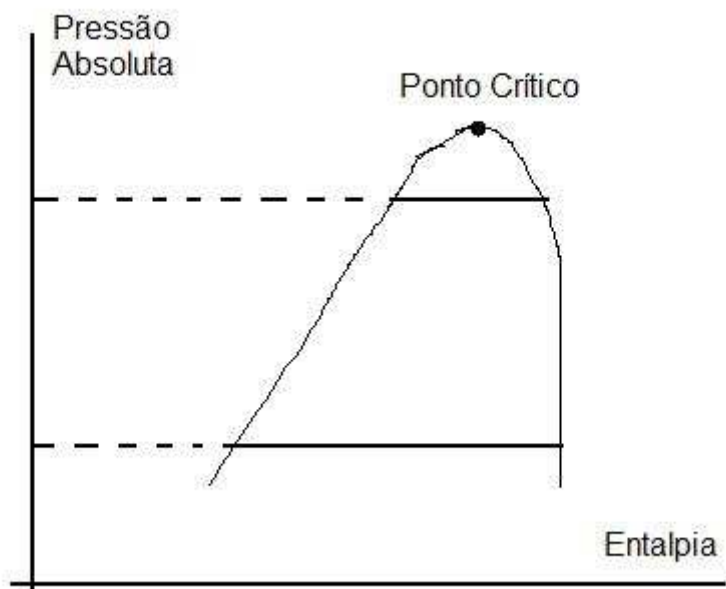
A diferença da temperatura do vapor superaquecido para a temperatura de saturação na mesma pressão é denominada GRAU DE SUPERAQUECIMENTO.

Quando lembramos que aproximadamente 2.326,275 kJ (1.000 Btu) são necessários para transformar um quilograma de água em um quilograma de vapor, observamos como nos exemplos anteriores (Entalpia do vapor de alta pressão igual a 3.503,13 kJ/kg (1.505,9 Btu/lb), que somente 1/3 da energia do vapor superaquecido está disponível para produzir Trabalho, numa turbina convencional.

Com modernos geradores de vapor supercríticos (pressão > 225,6 kgf/cm² abs (3.208 psia), a eficiência global de um ciclo como esse que estamos

analisando, chega muito perto de 45% e no caso de Ciclo Combinado pode atingir 60%, onde a produção de energia elétrica está dividida entre combustão e turbina a vapor.

A Termodinâmica mostra que Trabalho produzido e eficiência aumentam com o aumento da pressão de geração do vapor. Basta analisar o gráfico Pressão x Entalpia, onde se pode ver o alto valor do calor de condensação/vaporização nas pressões mais baixas e o inverso, o baixo valor do calor de condensação/vaporização nas pressões elevadas e atingido zero no ponto crítico.



Finalmente duas informações técnicas de caráter prático sobre sistemas termodinâmicos para geração de energia, ou acionamento de grandes máquinas de processo:

1 – A umidade do vapor exausto das turbinas deve ser limitada ao máximo de 10%.

2 – Sistemas com turbina de extração e condensação, onde o vapor com uma só extração vai aquecer a água de alimentação das caldeiras, a extração do vapor deve ser projetada para elevar a temperatura da água de alimentação até o valor médio entre a temperatura do condensado e a temperatura do vapor saturado da caldeira.

10.4 A QUESTÃO HOJE É:

Como usar a energia de forma mais eficiente, venha ela de onde vier, e evitar que o nosso modo de vida entre em colapso.

Segundo Daniel Yergin, autor do livro "The quest: Energy, security and the remaking of the modern world": "Energia é um bem precioso demais para ser desperdiçado".

Apesar dos altos custos, o crescimento do consumo mundial de energia se mantém acima da média e a tendência continua.

Segundo Claiborne Deming, CEO da Murphy Oil, na reunião anual da NPRA (hoje AFPM) em (2010), a população mundial sairá de 6 bilhões em 2010 para 8 bilhões em 2030 e isto causará um dramático aumento do uso de energia. Ele projeta que em 2030, 83% da energia ainda será produzida de combustível fóssil, assim distribuída:

Hidráulica e renovável	11%
Nuclear	6%
Carvão	28%
Gás natural	23%
Petróleo	32%

Lembra também que escala faz a grande diferença entre combustíveis fósseis e combustíveis alternativos. Então conclui: os combustíveis fósseis são os únicos combustíveis com capacidade de escala suficiente para atender as necessidades mundiais.

Na hipótese das fontes de energia nos EUA, se modificassem para 60% nuclear, 20% solar e 20% eólica, o custo do investimento seria de US\$ 15.5 trilhões. Isto é 100% do PIB anual americano.

A falácia de que o petróleo vai acabar começou em 1880, voltou no fim da II Guerra Mundial e novamente na década de 1970. A produção cresceu cinco vezes desde o fim dos anos 1950 e continua a aumentar, ainda mais com o uso de uns poucos anos para cá da tecnologia da fratura hidráulica nos EUA.

As reservas atuais estão estimadas em 5 trilhões de barris, sem contar com as minas de xisto. Para que se tenha uma noção do isso significa, extraiu-se 1 trilhão de barris desde o início da indústria petrolífera, no século XIX.

Novas tecnologias permitem também usar campos já dados como esgotados como explorar jazidas consideradas antes não econômicas. O mesmo ocorreu com o gás natural (gás de xisto ou "shale gás").

10.5 PROBLEMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

10.5.1 – Para extrair e transportar petróleo nos anos 1940, quando as reservas eram mais acessíveis, gastava-se 1 barril para tirar 100 barris.

10.5.2 - Hoje, com reservas em áreas difíceis, inclusive águas profundas, e outras complicações tecnológicas, gasta-se 1 barril para tirar 10 barris.

10.5.3 - De cada litro de gasolina um carro aproveita cerca de 30% da energia, enquanto perde cerca de 70% sob a forma de calor.

10.5.4 – Gás natural se liquefeito, seria uma boa solução para os automóveis, pois seu volume específico seria 1 milésimo do volume específico do gás, mas o

processo é dispendioso pois exige além de alta pressão, temperaturas menores que 100° C negativos.

10.5.5 – A energia contida no tanque de um automóvel equivale a quase a energia de 1.000 baterias do mesmo carro.

10.5.6 – Agricultura nos U.S.A.

Em 1940 uma fazenda consumia 1 kcal vinda do petróleo para gerar 2,3 kcal de alimento.

Hoje, gasta-se 10 kcal vinda do petróleo para produzir 1 kcal de alimento.

10.5.7- Há um estudo que conclui que: 27% dos habitantes da Terra não têm acesso ao padrão de vida proporcionado pelos derivados do petróleo.

Fontes: Alternatives Energy Sources – 2004

Petrobras 2004

Hydrocarbon Processing – August 2007

Hydrocarbon Processing – May 2010

Hydrocarbon Processing – Sept 2011