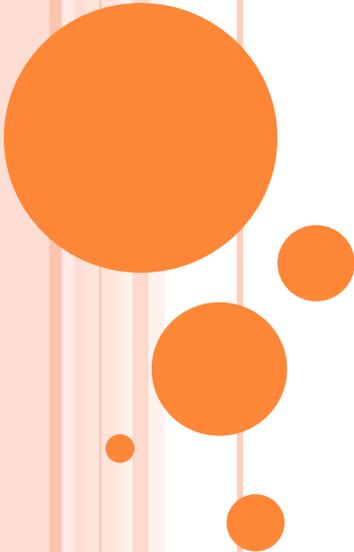


EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS E INSTALAÇÕES

PROF. RAMÓN SILVA



Engenharia de Energia

Dourados MS - 2013



EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE VAPOR

- Há muitos caminhos para otimizar o uso de vapor. Tudo depende do processo e do equipamento.
- Em alguns casos, os equipamentos podem ser instalados para fazer o processo mais eficiente.
- Por exemplo, secadores multiestágios são frequentemente mais eficientes que os secadores de único estágio.
- Entretanto, em geral, a otimização da eficiência de utilização do vapor nos pontos de uso final requer uma avaliação caso a caso.

IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA NO USO FINAL DE VAPOR

- A função típica do vapor em uma grande gama de aplicações consiste em fornecer calor em condições controladas e limpas.
- O vapor fornecido se condensa, entrega uma quantidade de energia térmica considerável por unidade de massa e sob taxas elevadas e sai do equipamento.

- Os projetos de equipamentos que utilizam vapor devem ser efetuados de forma a obter uma baixa perda térmica para o ambiente, possibilitando assim uma alta eficiência na aplicação de vapor.

- A eficiência energética na utilização do vapor é mantida com:
 - a limpeza das superfícies de condensação,
 - a adequada drenagem do condensado, e
 - a permanente retirada do ar.

A permanente retirada do ar é relevante, porque o vapor sempre arrasta alguma quantidade de ar, uma fração gasosa incondensável que se não for retirada se acumula progressivamente no equipamento e pode diminuir de modo sensível a área efetiva de troca de calor, afetando seu desempenho e reduzindo a eficiência energética do sistema.

- **Perda por transferência deficiente de calor do vapor para o produto**
 - - **Perda pelo não aproveitamento total da energia do vapor** - A utilização somente do calor latente, descartando o calor sensível contido no condensado, pela restrição à utilização de aquecimento por vapor direto.

- **Perda por transferência deficiente de calor do vapor para o produto**
 - - **Perda de calor no condensado por deficiência na transferência de calor em superfícies de troca térmica** - Na utilização de aquecimento pelo uso de vapor indireto.

- **Perdas de calor para o ambiente em superfícies aquecidas**
 - **Perdas por convecção** - As perdas de calor por convecção em superfícies são fortemente influenciadas pela velocidade do vento e pelo teor de umidade do ar ambiente.
 - Um vento com velocidade de 5 km/h mais que dobra a taxa de perda de calor em uma superfície aquecida, com relação ao ar parado.

- **Perdas de calor para o ambiente em superfícies aquecidas**
 - **Perdas por radiação** - São a segunda fonte de perdas em superfícies aquecidas.
 - Uma perda por radiação de 782 kcal/h.m^2 , para temperatura do líquido de 45°C , passa para 2520 kcal/h.m^2 , quando a temperatura do líquido aumenta para 90°C .

- **Utilização de vapor direto**
- A injeção de vapor diretamente no líquido de processo permite que toda a capacidade de aquecimento do vapor seja utilizada, tanto o vapor latente quanto o sensível, produzindo 100% de eficiência na transferência do calor.
- O aquecimento com injeção direta de vapor é um processo de transferência de calor, com eficiência de 100% e controle preciso e instantâneo de temperatura, quando o vapor é misturado diretamente com o líquido ou pasta em condições altamente turbulentas.

- **Utilização de vapor direto**

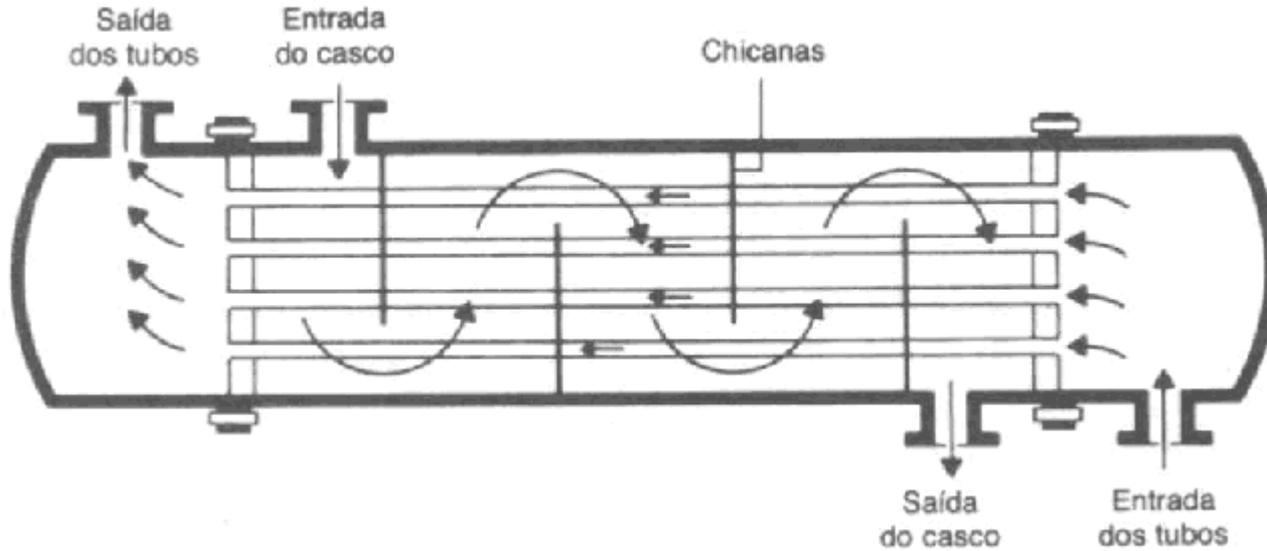
- As principais aplicações dos sistemas de injeção direta de vapor estão em muitos tipos de indústrias:
 - químicas,
 - papel e celulose,
 - farmacêutica,
 - alimentícia,
 - em processos de aquecimento de líquidos que admitam o vapor condensado.

- **Redução de perda de calor em equipamento de uso de vapor indireto**

- Os métodos indiretos de transferência de calor (trocadores de calor) utilizam somente o calor latente do vapor e apresentam de 15 a 20% menos eficiência do que o sistema de aquecimento direto na transferência da energia do vapor para o líquido.

- **Redução de perda de calor em equipamento de uso de vapor indireto**
- Trocador de calor casco e tubo - Um trocador de calor é um equipamento onde ocorre troca térmica entre dois fluidos, normalmente separados por uma parede.
- Há diversos tipos construtivos, e um dos mais usados industrialmente é o de feixe tubular, constituído por um conjunto de tubos envolto por um casco.
- Um dos fluidos circula no interior dos tubos e o outro fluido escoia no lado externo.

IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA NO USO FINAL DE VAPOR



- A determinação da eficiência de troca térmica do vapor em trocadores de calor.

$$\text{Eficiência: } \eta = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia fornecida}}$$

em que:

Energia útil - energia absorvida no trocador pelo produto / líquido ($E_{\text{saída}} - E_{\text{entrada}}$); e
Energia fornecida - energia fornecida pelo vapor no trocador ($E_{\text{saída}} - E_{\text{entrada}}$).

- **Perdas de calor em um tanque ou tacho de fluido de processo**
- A quantidade de calor necessária para a operação de um tanque ou tacho de fluido de processo é dada pela soma de diversos componentes
 - **a)** O calor necessário para elevar a temperatura do fluido de processo até a temperatura de operação (calor útil).
 - **b)** O calor para elevar a temperatura do material do equipamento até a temperatura de operação.
 - **c)** O calor perdido nas superfícies sólidas do equipamento para a atmosfera.
 - **d)** O calor perdido na superfície do líquido exposta a atmosfera.
 - **e)** O calor absorvido por qualquer artigo frio imerso no fluido de processo.

- Contudo, em muitas aplicações somente alguns dos componentes serão significativos.
- Por exemplo, no caso de um tanque de armazenagem de óleo totalmente fechado e bem isolado, o calor total necessário pode ser quase inteiramente o calor necessário para elevar a temperatura do fluido.

- Os itens a e b referente à energia necessária para elevar a temperatura do líquido e do material do equipamento, o item c, referente ao calor absorvido por qualquer insumo frio imerso no líquido de processo, podem ser encontrados a partir da conhecida expressão da energia associada ao aquecimento de uma quantidade de massa.

$$\dot{Q} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t}$$

- Geralmente, os dados podem ser precisamente definidos, e então os cálculos do calor necessário são diretos e precisos.

$$\dot{Q} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t}$$

em que:

- \dot{Q} - calor perdido (kJ/h);
- m - massa do material (kg);
- c_p - calor específico do líquido (kJ/kg.°C);
- ΔT - diferença de temperatura (°C);
- t - tempo de exposição (min).

- Os itens c e d, referentes, respectivamente, ao calor perdido na superfície do equipamento e ao calor do líquido podem ser determinados usando a equação abaixo.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

em que:

- \dot{Q} - calor perdido (kJ/h);
- U - coeficiente global de convecção (W/m²);
- A - área da superfície de troca de calor (m²); e
- ΔT - diferença de temperatura (°C).

- Entretanto, os cálculos da perda de calor são muito mais complexos.

- A Figura II.6 fornece alguns valores típicos para o coeficiente global de transferência de calor e para a transferência de calor de uma superfície plana de aço para o ar ambiente.
- Se o fundo do taque não estiver exposto ao ar ambiente, mas estiver posicionado no chão, é usual considerar este componente de perda de calor insignificante e pode ser seguramente ignorado.

- Os valores de coeficiente global de transferência de calor mostrados na Figura II.6 são somente para condição de ar parado.

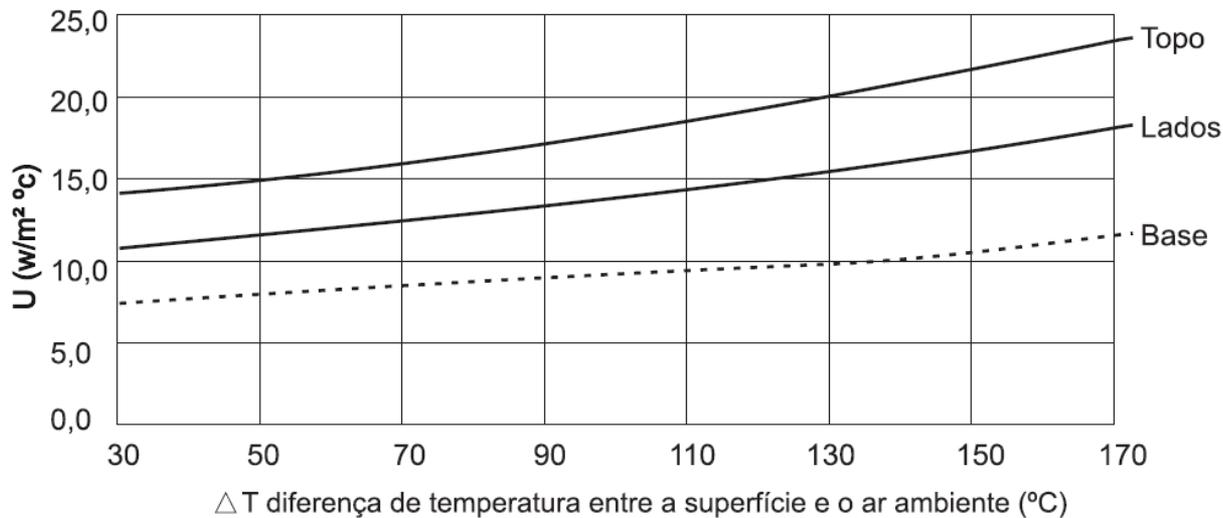


Figura II.6 - Coeficiente global de transferência calor de uma superfície plana de aço

- Para uma espessura de isolamento térmico de 25 mm, o valor de U deve ser multiplicado por um fator de 0,2.
- Para uma espessura de isolamento térmico de 50 mm, o valor de U deve ser multiplicado por um fator de 0,1.

- Um recipiente aberto que contém líquido aquecido normalmente tem elevada perda de calor, devido à evaporação na superfície.
- Ambas as perdas, de energia e de líquido, são reduzidas pelo recobrimento do recipiente com tampas isoladas.

- A Tabela II.15 fornece estimativas do calor perdido por evaporação por pés quadrado de área descoberta para várias temperaturas do ar ambiente, assumindo que o ar ambiente esteja seco e que não exista corrente de ar.
- Um ventilador soprando ar sobre um tanque descoberto pode mais que dobrar a perda de calor.

Tabela II.15 - Perdas de calor pela evaporação de água em um tanque aberto
kcal/h.m²

TEMPERATURA DO LÍQUIDO °C	TEMPERATURA DO AR AMBIENTE °C				
	20	25	30	35	40
45	2120	1929	1738	1538	1321
55	4162	3928	3693	3450	3206
65	7725	7438	7143	6847	6552
75	13973	13608	13243	12878	12513
85	25200	24722	24244	23784	23323



REFERÊNCIAS

Eletrobrás, Procel, FUPAI – Eficiência Energética no Vapor –
Manual Prático - SD