

CONEM 2012 «Engenharia em destaque»
VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
São Luís - Maranhão - Brasil
31 de julho a 03 de agosto
www.abcm.org.br/conem2012

ANÁLISE EXERGÉTICA DE UM CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR COMO FERRAMENTA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Astério Ricardo Barros Pereira, asteriopereira@yahoo.com.br¹
Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br²
Lourenço Gobira Alves, lgobira@gmail.com³

¹Vale – Unidade Manganês – BR 324 km xx - Simões Filho/BA

²SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845, Salvador/BA, Brasil, 41.650-010

³UFRB – Universidade do Recôncavo Baiano, Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas/BA - 44.380-000

Resumo: Diversos estudos de análise térmica vêm sendo realizados tendo como base a primeira e segunda lei da termodinâmica, essa abordagem fornece resultados que se complementam e propicia a tomada de decisão no que se diz respeito à eficiência em operação de um sistema térmico, como também a identificação dos componentes do sistema onde um gestor de manutenção deve focar seus esforços para atingir maiores ganhos de eficiência. A metodologia da análise exergética foi aplicada a uma central de água gelada (Chiller), que funciona com o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, localizada em um centro de tecnologia de Salvador/BA. Foi utilizada a plataforma EES (Engineering Equation Solver) para solução dos sistemas de equações. A análise identificou os compressores do sistema como os principais responsáveis pelas perdas exergéticas, bem como uma eficiência de segunda lei do ciclo de apenas 21%. Por fim foram quantificados os custos das irreversibilidades e comparados com o custo da energia elétrica para acionamento dos compressores. Por fim foi possível demonstrar que a eficiência de primeira lei (COP), apesar de muito difundido, não reflete completamente o real desempenho energético do ciclo, sendo necessário complementá-lo com o estudo pela segunda lei da termodinâmica.

Palavras-chave: Análise exergética, chiller, ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

1. INTRODUÇÃO

As crises no setor energético e a necessidade crescente por conservação dos recursos energéticos levaram a uma necessidade de revisão completa da forma como os sistemas térmicos podem ser analisados e otimizados termodinamicamente. A nova metodologia é a análise exergética que diz respeito a uma otimização dos componentes do ponto de vista termodinâmico, ou minimização da geração de entropia. Este novo método é baseado na aplicação simultânea da primeira lei e da segunda lei na análise e projeto (Bejan, 2002). O projeto e manutenção de um sistema energético com baixo custo e alta eficiência é um dos parâmetros essenciais para o desenvolvimento sustentável. Um princípio que é apresentado como eficiente consiste na análise exergética, trata-se de uma ferramenta que revela as oportunidades de se obter alta eficiência aliada ao baixo custo de desenvolvimento (El-Sayed, 2002).

Atualmente grande ênfase tem sido dada na identificação de mecanismos e componentes de sistemas que são responsáveis por perdas termodinâmicas; dimensão destas perdas, que podem ser quantificadas pela análise exergética; meios de minimização das perdas do sistema, que uma vez quantificadas pode-se concentrar nos pontos críticos do sistema e minimização dos custos totais associados com a construção, operação e manutenção do sistema energético (Bejan, 2002).

A primeira lei da termodinâmica é considerada ineficiente em análises de sistemas térmicos, por incluir unicamente a conservação de energia e não fornecer informações de como a performance do sistema é degradada, esta lei pode ser usada somente como uma ferramenta para a quantificação da energia durante um processo e não oferece a possibilidade de avanços de engenharia (Yumrutas et al., 2002). A segunda lei, entretanto, utiliza como conceito a qualidade da energia, esta lei se apresenta como uma ferramenta muito eficaz na otimização de sistemas termodinâmicos complexos. Mais especificamente estão centradas na degradação da energia durante um processo, a geração de entropia e a perda de oportunidades de realização de trabalho (Çengel e Boles, 2001).

Numa indústria ou edifício que possua sistema de refrigeração central, como centrais de água gelada, a maior parte do consumo de energia da edificação é devido a componentes que compõem esse sistema. Diante desse cenário, fica

evidente a importância de um sistema de refrigeração otimizado, operando com performance adequada, para isso é necessário realizar periodicamente análises de desempenho térmico dos sistemas de refrigeração, a fim de detectar quedas de eficiência dos mesmos, além de identificar os componentes do sistema onde estão localizados as maiores perdas energéticas. A análise baseada na 2ª lei da termodinâmica de equipamentos industriais é uma ferramenta fundamental para a diminuição de intervenções de manutenção e possibilita identificar o equipamento do sistema em que se devem concentrar as atenções visando um melhor desempenho energético. A análise exérgica torna-se uma ferramenta muito importante para gestores de manutenção.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise energética baseada na segunda lei da termodinâmica, em um sistema de refrigeração por compressão de vapor, mais precisamente uma central de água gelada “chiller”, identificando os componentes do sistema que possuem as maiores perdas energéticas. Além de demonstrar que a análise exérgica pode ser usada como ferramenta de gestão da manutenção para manter os equipamentos eficientes energeticamente.

2. AVALIAÇÃO ENERGÉTICA X EXERGÉTICA

O mais usual nas análises de sistemas de refrigeração é a tentativa de diagnosticar as unidades através da análise energética ou de 1ª lei, entretanto, além de oferecer resultados úteis, ela não contabiliza a quantidade de energia que se perde no processo, nem onde ocorrem essas perdas ou irreversibilidades. É indicada a complementação da primeira lei pela análise de segunda lei ou exérgica. TORRES (1999).

Conforme comentado por Tsatsaronis (1993), a avaliação exérgica permite complementar a análise energética das seguintes formas:

- Em uma melhor medida para avaliação da magnitude da energia perdida em relação à energia total fornecida sob a forma de insumo energético.
- Em uma medida da qualidade (ou das perdas) da energia do ponto de vista termodinâmico;
- Em uma variável para definir a eficiência racional que é a relação entre a exergia do efeito desejado e a exergia necessária ao processo, para o sistema energético.

3. EXERGIA

Segundo Tsatsaronis (1993) a exergia pode ser definida como o máximo trabalho útil que se pode obter de um portador de energia quando este é levado até a condições ambientais.

Pode-se dividir, a exergia de fluxo (Ex), em quatro componentes como é mostrado na figura 1: exergia cinética (Ex_c), exergia potencial (Ex_p), exergia física (Ex_f) e exergia química (Ex_q).

$$Ex = Ex_c + Ex_p + Ex_f + Ex_q \quad (1)$$

Analisando cada termo da Equação (1) temos:

A exergia cinética como sendo a própria energia cinética quando a velocidade relativa considerada é a da superfície da terra.

$$Ex_c = \frac{mV_0^2}{2} \quad (2)$$

A exergia potencial é igual à energia potencial, quando o referencial é a superfície do local avaliado, por exemplo, a superfície da terra.

$$Ex_p = mg_0 Z_0 \quad (3)$$

Exergia física que é o trabalho máximo obtido através de processos reversíveis quando uma quantidade de matéria é levada do estado inicial (P e T) ao estado de pressão e temperatura de referência (Po e To). Desta forma se a pressão e a temperatura se igualam com a do meio, afirma-se que esse é o Estado Morto, portanto, não tem mais capacidade de gerar trabalho, assim, quando esses níveis de operação afastam-se das condições ambientais temos um potencial com relação ao meio permitindo calcular esta parcela da exergia, conforme segue:

$$Ex_f = h_i - h_0 - T_0(s_i - s_0) \quad (4)$$

Onde h e s correspondem à entalpia e entropia do fluxo em uma determinada condição “i”. Já T_0 , h_0 , s_0 são temperatura, entalpia e entropia do fluxo para o estado de referência (nível zero).

O componente químico da exergia representa a capacidade de um fluxo de produzir trabalho, devido a seu desequilíbrio químico com o meio ambiente ou estado de referência. Kotas (1985) define a exergia química como a máxima quantidade de trabalho que se pode obter quando a substância em consideração é trazida desde o estado ambiental (T_0 e P_0) ao equilíbrio termodinâmico completo com o meio de referência, mediante processos que envolvem transferência de calor e intercâmbio de substâncias só com o meio ambiente.

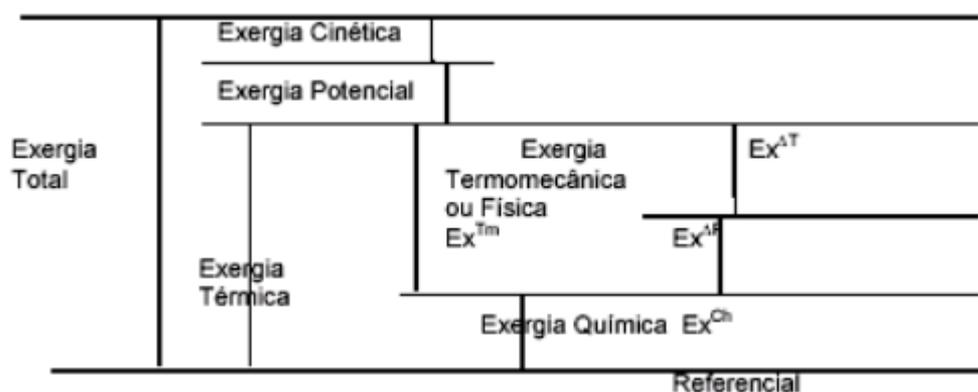


Figura 1: Parcelas da exergia.

4. BALANÇO DE EXERGIA

A chamada “Análise Exergética” faz uso da conservação da massa e da energia agregando a Segunda Lei da Termodinâmica ao processo de análise dos sistemas térmicos. É uma ferramenta poderosa, no dimensionamento, otimização e acompanhamento do desempenho de sistemas de energia.

A metodologia da análise exergética é bem estabelecida e essa análise é geralmente utilizada para determinar o desempenho de um sistema e identificar regiões de destruição de exergia. Avaliando a exergia de um sistema é possível verificar a disponibilidade de recursos e mensurar as ineficiências deste. A análise exergética tem sido um método amplamente utilizado, tanto para a avaliação do desempenho individual de equipamentos, como para processos completos. No caso de um sistema complexo pode ser desenvolvida avaliando os componentes separadamente, em prol da identificação das principais áreas de destruição para possíveis aprimoramentos. Um objeto importante na análise exergética para sistemas que consomem trabalho (como é o caso de um sistema de refrigeração) é encontrar o menor trabalho requerido para obtenção do resultado almejado.

Quando aplicada ao processo como um todo, a análise exergética, serve como índice de avaliação do rendimento do ciclo, assim como o COP. Desta forma permite buscar novas condições de operação do ciclo que proporcionem um melhor desempenho.

A capacidade de realizar trabalho, definida como exergia, não se conserva, sendo sempre reduzida toda vez que ocorrer um processo irreversível. A figura 2 mostra as perdas de exergia que ocorrem em um processo após sucessivas transformações, a exergia de entrada, e a exergia de saída reduzida devido às irreversibilidades das transformações.

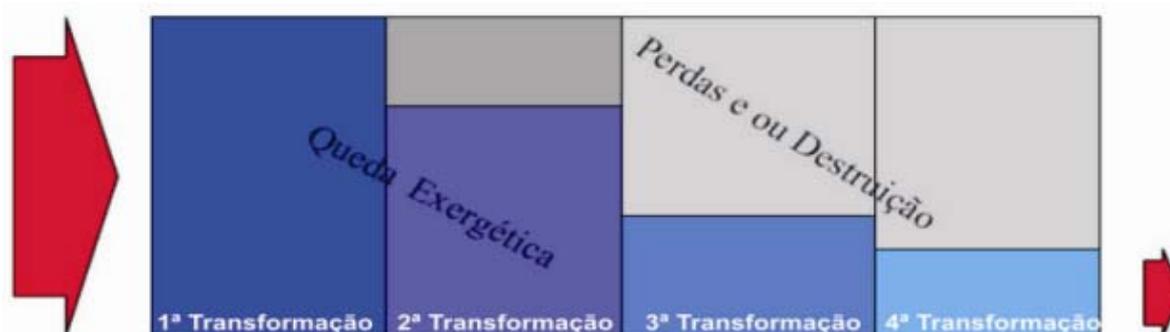


Figura 2: Perda de exergia após sucessivas transformações (SANTOS, 2005).

A análise exergética quando aplicada em componentes isolados possibilita a identificação de perdas individualizadas, possibilitando focar as melhorias no equipamento crítico do sistema. A equação geral do balanço de exergia para volumes de controle, operando em regime permanente, é dada pela Equação (5) (Moran e Shapiro, 2002).

$$\sum \dot{E}x_e - \sum \dot{E}x_s + \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) \cdot \dot{Q}_f - \dot{W}_{vc} - \dot{E}x_d = 0 \quad (5)$$

Sendo que o primeiro termo representa a taxa temporal de transferência de exergia que acompanha a transferência de calor à taxa \dot{Q}_j que ocorre nos pontos da fronteira em que a temperatura instantânea é T_j .

E os demais parâmetros:

- Ex = Exergia do sistema no estado i [kW];
- To = Temperatura no estado de referência [K];
- T = Temperatura [K];
- Exd = Taxa de destruição de exergia no interior do sistema [kW];
- m = Fluxo de massa [kg/s];
- Q = Fluxo de calor [kW];
- W = Trabalho [kW].

A Equação (5) representa a exergia que é transferida em um volume de controle de diferentes maneiras. O primeiro termo da equação representa a taxa da exergia agregada ao sistema através da corrente de entrada, enquanto o segundo termo representa a taxa de exergia da corrente de saída. O terceiro termo relaciona a taxa de exergia referente à transferência de calor no volume de controle. O quarto termo diz respeito à taxa associada à transferência de trabalho. Por fim o quinto e último termo representa a taxa de exergia destruída. Sendo os volumes de controle considerados adiabáticos, a Equação do balanço de exergia pode ser reescrita na forma da Equação (6):

$$-\dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e [(h_e - h_0) - T_0(s_e - s_0)] - \sum_s \dot{m}_s [(h_s - h_0) - T_0(s_s - s_0)] - \dot{Ex}_d = 0 \quad (6)$$

h = Entalpia específica [kJ/kg];

s = Entropia específica [kJ/(kg.K)];

h_0, s_0 = Entalpia e Entropia específica no estado de referência [kJ/(kg.K)].

5. ANÁLISE EXERGÉTICA DO CICLO DE RESFRIAMENTO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

A exergia destruída em cada componente do sistema de refrigeração pode ser encontrada através de uma análise detalhada. Essa análise é feita a partir das Equações (7) a (10), obtidas através da aplicação de um balanço de exergia em cada um dos volumes de controle do ciclo (APREA e RENNO, 2004):

Considerando os componentes do sistema adiabáticos. O fluxo de exergia destruída ou irreversibilidades em cada componente pode ser avaliado pelas equações:

$$\dot{Ex}_{d,c} = (Ex_1 - Ex_2) - W_{elet} \quad \text{Compressor (7)}$$

$$\dot{Ex}_{d,cond} = Ex_2 - Ex_3 \quad \text{Condensador (8)}$$

$$\dot{Ex}_{d,v.exp} = Ex_3 - Ex_4 \quad \text{Válvula de expansão (9)}$$

$$\dot{Ex}_{evap} = Ex_4 - Ex_1 \quad \text{Evaporador (7)}$$

A exergia destruída no sistema é expressa pelo somatório das irreversibilidades dos componentes, conforme expressa na equação (11):

$$\dot{Ex}_{d,sist} = \dot{Ex}_{d,c} + \dot{Ex}_{d,cond} + \dot{Ex}_{d,v.exp} + \dot{Ex}_{d,evap} \quad (11)$$

Pelo teorema de Gouy-Stodola a irreversibilidade também pode ser calculada como mostrado na equação (12):

$$\dot{Ex}_d = T_0 \sigma \quad (12)$$

Onde σ é a entropia gerada no processo.

A eficiência exergetica global do sistema (η_{Ex}) pode ser determinada pela razão entre o fluxo de exergia total de saída e o fluxo de exergia total de entrada, como indica a Equação (13) (APREA e RENNO, 2004):

$$\eta_{Ex} = \frac{\sum \dot{E} x_{saída}}{\sum \dot{E} x_{entrada}} = 1 - \frac{\dot{E} x_{d,sist}}{\sum \dot{E} x_{entrada}} \quad (13)$$

6. ESTUDO DE CASO

6.1. Descrição do Equipamento

O equipamento estudado é o Chiller AQUASNAP 30RB150 22 6 do fabricante Carrier de capacidade 150 TR (figura 3), instalado no SENAI - CIMATEC, que possui dois circuitos cada um funcionando com três compressores scroll em paralelo, os condensadores são resfriados a ar e o equipamento possui apenas um evaporador (casco e tubo), as válvulas de expansão dos circuitos são eletrônicas, o fluido refrigerante utilizado é o R-410A. Esse tipo de equipamento tem seu comando efetuado por uma placa eletrônica que substitui os termostatos, pressostatos, termômetros etc, a figura 4 apresenta o painel de controle do chiller.

A temperatura é lida por meio de sensores (termistores) e as pressões, por meio de transdutores. Essas informações são enviadas para a placa eletrônica que efetua os comandos nos compressores, na válvula de expansão eletrônica e nos ventiladores dos condensadores.



Figura 3: Chiller AQUASNAP 30RB150 Carrier.



Figura 4: Painel de controle do chiller.

Dados de entrada para realização dos cálculos propostos, como temperatura e pressão, foram coletados diretamente dos equipamentos, através do módulo de controle dos chillers. Algumas temperaturas não foram coletadas através do módulo de controle, sendo determinadas através de termômetros de contato. As medições das vazões mássicas necessárias para a avaliação foram determinadas através de medidores ultrassônicos não intrusivos.

As simulações dos parâmetros de análise foram desenvolvidas num simulador na plataforma EES (Engineering Equation Solver). A tela de simulação é apresentada na Figura 5.

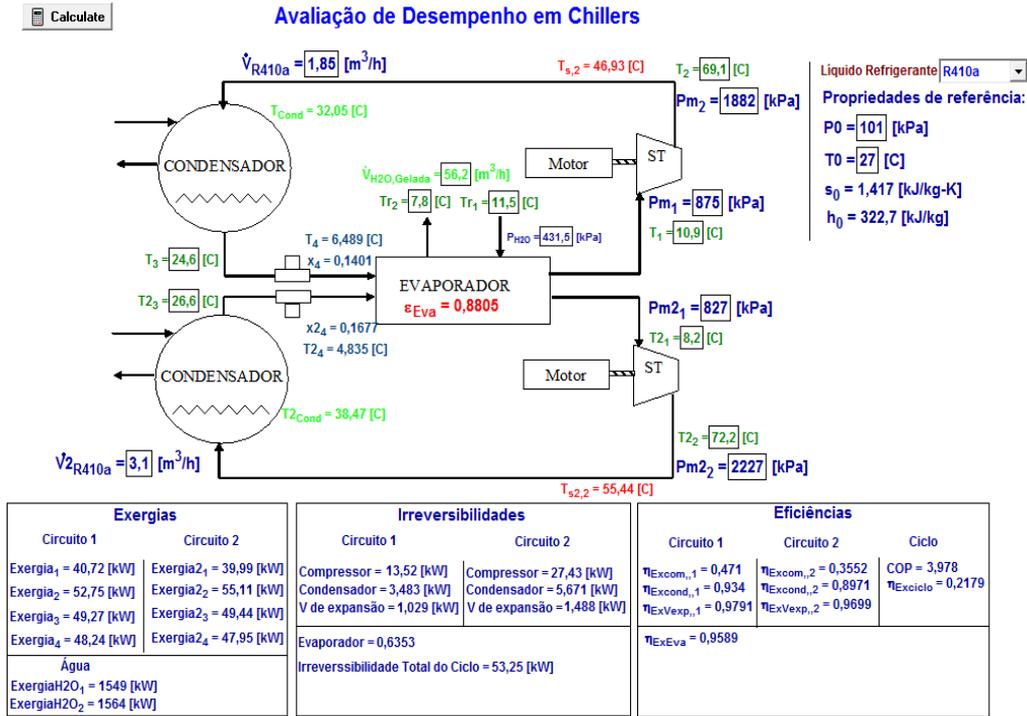


Figura 5: Esquema do simulador utilizado.

6.2. Resultados e Discussões

Para o tratamento da análise exergética, os valores de referência, do refrigerante e do ar, foram estipuladas à temperatura de 27 °C e à pressão de 101 kPa. Os valores das propriedades destas correntes de referência são necessários para o cálculo da exergia destruída nos equipamento e, no cálculo da exergia total destruída no ciclo.

No desenvolvimento da simulação computacional do processo termodinâmico, as seguintes hipóteses foram adotadas:

1. Operação em regime permanente;
2. Equipamentos adiabáticos (isentos de trocas de calor com o ambiente);
3. Variações de energia cinética e potencial, desprezadas em cada volume de controle;
4. A válvula de expansão é isoentálpica (não realiza nem recebe trabalho do ambiente).

Com o uso do simulador desenvolvido, foi resolvido o sistema de equações do balanço de energia e exergia do sistema, que apresentou os valores demonstrados na tabela 1 para as perdas de exergia (irreversibilidades) em cada componente de cada circuito.

Tabela 1: Influência de cada componente na irreversibilidade do sistema.

| | | Irreversibilidades | |
|------------|----------------|--------------------|--------|
| | | (kW) | % |
| Circuito 1 | Compressor | 13,52 | 25,39 |
| | Condensador | 3,48 | 6,54 |
| | V. de expansão | 1,03 | 1,93 |
| Circuito 2 | Compressor | 27,43 | 51,52 |
| | Condensador | 5,67 | 10,65 |
| | V. de expansão | 1,48 | 2,78 |
| | Evaporador | 0,63 | 1,18 |
| Sistema | | 53,24 | 100,00 |

Pode-se observar pelos resultados demonstrados na tabela 1 que os componentes do sistema que apresentam as maiores irreversibilidades são os compressores que somam 76,91% das perdas exergéticas de todo o sistema. Os dados mostram que os gestores de manutenção devem concentrar seus esforços nos compressores do sistema, com objetivo de atingir ganhos mais expressivos de eficiência energética. Além de buscar a melhoria do sistema é possível utilizar a análise para monitoramento e identificação de perdas de desempenho dos equipamentos.

Utilizando a equação (13) apresentada, é possível encontrar as eficiências exergéticas de cada volume de controle do sistema de refrigeração, conforme mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Eficiências Exergéticas de cada componente.

| | | Eficiências Exergéticas (%) |
|------------|----------------|-----------------------------|
| Circuito 1 | Compressor | 47,1 |
| | Condensador | 93,4 |
| | V. de Expansão | 97,9 |
| Circuito 2 | Compressor | 35,5 |
| | Condensador | 89,7 |
| | V. de Expansão | 96,9 |
| | Evaporador | 95,8 |

As altas eficiências dos trocadores de calor (condensadores e evaporador) devem-se ao fato da consideração 2 adotada para realização do estudo, que considera os componentes adiabáticos, desprezando com isso as perdas de calor para o ambiente, além da alta efetividade típica do tipo de evaporador em estudo que foi calculada no simulador (88%). A elevada eficiência das válvulas de expansão do sistema é devido ao sistema eletrônico das mesmas que possibilitam ajustes mais preciso. Os compressores obtiveram as menores eficiências exergéticas e são os componentes que contribuem mais efetivamente para um baixo desempenho do ciclo.

Na tabela 3 são mostradas as eficiências de primeira lei (COP) e segunda lei do ciclo de refrigeração.

Tabela 3: Eficiências.

| | Eficiência de 1ª Lei | Eficiência de 2ª Lei |
|---------|----------------------|----------------------|
| | COP | η_{Ex} |
| Sistema | 3,97 | 0,21 |

Conforme o Anexo A o valor do COP fornecido pelo fabricante para as condições operacionais do chiller com cargas parciais é bem próximo do valor adquirido na pesquisa, sugerindo que o equipamento está operando com seu desempenho ideal, entretanto a análise exergética revelou uma eficiência de apenas 21%. Esse baixo desempenho é devido às irreversibilidades existentes em cada componente do sistema que não são identificadas pela análise de primeira lei.

Para quantificar os custos das perdas exergéticas em cada componente do ciclo de refrigeração foi considerado o valor da tarifa de energia elétrica (R\$0,18/kW*h) paga pela instituição fora do horário de pico, que é o período que o chiller permanece em operação. Utilizando este valor como o custo de cada kW de exergia perdida no processo é possível encontrar a quantia em dinheiro que se perde por hora de funcionamento do equipamento devido às irreversibilidades e compará-la com o custo de energia para acionamento dos compressores, como mostrado na tabela 4.

Pela análise da tabela 4, temos que os custos das irreversibilidades do sistema representam cerca de 78% do valor necessário para acionar os compressores. A grosso modo dos R\$ 12,26 usados por hora para operação dos compressores R\$ 9,55 são “perdidos” e apenas R\$ 2,71 são aproveitados para o funcionamento do sistema.

7. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que a análise exergética apresenta-se como uma poderosa ferramenta para concepção, avaliação, aperfeiçoamento e monitoramento de sistemas térmicos, além de possibilitar aos gestores de manutenção a quantificação dos custos das irreversibilidades do sistema.

Com aplicação da ferramenta foi possível identificar os equipamentos com eficiências mais baixas. Os compressores dos circuitos 1 e 2 apresentaram respectivamente 47,1% e 35,5% de eficiência exergética, e são os principais responsáveis pela baixa eficiência do ciclo. Os compressores devem ser o foco dos esforços para melhoria do desempenho energético do ciclo.

Por fim foi possível demonstrar que a eficiência de primeira lei (COP), apesar de muito difundido, não reflete completamente o real desempenho energético do ciclo, sendo necessário complementá-lo com o estudo pela segunda lei da termodinâmica.

Tabela 4: Custos Exergéticos.

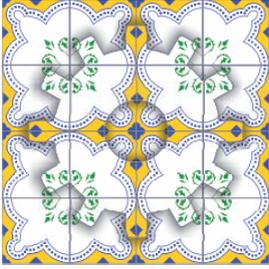
| | | Custos exergéticos |
|------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | R\$/h |
| Circuito 1 | Irreversibilidades no Compressor | 2,43 |
| | Irreversibilidades no Condensador | 0,62 |
| | Irreversibilidades na V. de expansão | 0,18 |
| Circuito 2 | Irreversibilidades no Compressor | 4,93 |
| | Irreversibilidades no Condensador | 1,02 |
| | Irreversibilidades na V. de expansão | 0,26 |
| | Irreversibilidades no Evaporador | 0,11 |
| | Irreversibilidades no Sistema | 9,55 |
| | Acionamento dos Compressores | 12,26 |

8. REFERÊNCIAS

- Aprea, C., Renno, C., “Experimental comparison of R22 with R417A performance In a vapour compression refrigeration plant Subjected to a cold store”. *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 1807–1819.
- Bejan, A., “Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture”. *International Journal of Energy Research*, 26: 545-565. 2002
- Bordalo, S.N., Ferziger, J.H. and Kline, S.J., 1989, “The Development of Zonal Models for Turbulence”, *Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44.
- Çengel, Y., Boles, M., “Thermodynamics: An engineering approach”. 4th Edition. McGraw-Hill Science. 1056 pages. 2001
- El-Sayed, Y.M., “Application of exergy to design”. *Energy Conversion and Management*, 43: 1165-1185. 2002.
- Yumrutas, R., Kunduz, M., Kanoglu, M., “Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems”. *Exergy International Journal*, v.2, p. 266-272, 2002.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., “Princípios de Termodinâmica para Engenharia”. LTC Editora, 4a edição, p.681, 2002.
- Kotas, T.J., 1985, “The exergy method of thermal plant analysis”. 1 ed. London: Butterwoths, 296 p.
- Santos, C.M.S. 2005, “Análise exergoeconômica de uma unidade de cogeração a gás natural com refrigeração por absorção”. Dissertação de M. Sc UFPB. João Pessoa PB, Brasil.
- Torres, E.A., 1999, “Avaliação energética e termoeconômica de um sistema de co-geração de um pólo petroquímico”. Tese D.Sc., FEM/UNICAMP Campinas –SP, Brasil.
- Tsatsaronis, G 1993, “Thermoeconomic analysis and optimization of energy systems”. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 19, n.3, p. 227-257.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



EXERGETIC ANALYSIS OF REFRIGERATION CYCLE THROUGH REFRIGERANT COMPRESSION AND ITS APPLICATION IN THE MAINTENANCE MANAGEMENT

Astério Ricardo Barros Pereira, asteriopereira@yahoo.com.br¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br²

Lourenço Gobira Alves, lgobira@gmail.com³

¹Vale – Unidade Manganês – BR 324 km xx - Simões Filho/BA

²SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845, Salvador/BA, Brasil, 41.650-010

³UFRB – Universidade do Recôncavo Baiano, Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas/BA - 44.380-000

Abstract. Several studies of thermal analysis have been performed based on the first and second law of thermodynamics, this approach provides results that are complementary and provides decision-making as regards the operating efficiency of a thermal system, as well as the identification system components where a maintenance manager should focus their efforts to achieve further efficiency gains. The methodology of exergy analysis was applied to a central chilled water (chiller), which works with the cycle of vapor compression refrigeration, located in a technology center in Salvador / BA. We used the platform EES (Engineering Equation Solver) for solving systems of equations. The analysis identified the compressor system as the main responsible for the loss exergetic and Second Law efficiencies of only of the cycle of 21%. Finally were quantified costs of irreversibilities and compared with the cost of electricity for powering the compressor. Finally it was demonstrated that the first law efficiency (COP), while widespread, does not reflect fully the actual energy performance of the cycle, being necessary to complement it with the study by the second law of thermodynamics.

Keywords: chiller, exergetic analysis, exergy