

APROVEITAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA LIBERADA POR COMPRESSORES DE AR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHOS NA BELGO BEKAERT ARAMES S.A.

Autores:

- ²- Antônio Carlos de Souza
- ³- Evandro Antônio S. Silva
- ⁴- José Carlos A. De Figueiredo
- ⁵- Mauri Fortes
- ⁶- Maurício Isidoro Oliveira
- ⁷- Ronaldo Sávio Nogueira Neiva
- ⁸- Samuel Augusto Mourão de Pinho

Resumo:

Este trabalho descreve o sistema implantado na Belgo Bekaert, que utiliza o calor liberado dos compressores de ar, de maneira a permitir a co-geração de energia térmica, por meio do aproveitamento da entalpia do ar quente para aquecimento de água para 780 banhos diários. Este aquecimento é realizado através da troca de calor entre o ar quente e a água e veio substituir o sistema elétrico de aquecimento. Com o aproveitamento da energia térmica dos compressores, conseguimos obter água quente suficiente e em temperatura adequada para banhos como no antigo sistema elétrico de aquecimento, com a vantagem de reduzirmos a demanda de energia de ponta em 220 KW e o consumo anual em 728 MWh, além de contribuirmos para o desenvolvimento tecnológico relativo ao uso de fontes alternativas de energia. Reduzimos também o consumo de água em 700 metros cúbicos por mês com a instalação de redutores de vazão nas duchas.

Palavras chaves: compressores, calor, energia.

XXV SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES Realizado no período de 24 a 26 de agosto de 2004 em Florianópolis-SC

- ² – Engenheiro – Belgo Bekaert
- ³ – Técnico – Belgo Bekaert
- ⁴ – Engenheiro – Cemig
- ⁵ – Engenheiro – Cemig
- ⁶ – Engenheiro _ consciente
- ⁷ – Técnico _ Consciente
- ⁸ – Estagiário _ Belgo Bekaert

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com o crescimento da população e com o constante desenvolvimento científico e tecnológico, houve um aumento muito grande no consumo de energia elétrica. Este aumento faz com que as concessionárias de energia busquem cada vez mais, formas diversas de geração e racionalização do uso da energia, principalmente nos horários de pico, pois o alto consumo nestes horários pode causar falhas no fornecimento e transtornos à população.

Com o início do racionamento de energia no Brasil em julho de 2001, houve um maior interesse pela utilização de fontes alternativas de energia.

As indústrias estão buscando cada vez mais o uso de fontes alternativas de energia, principalmente aquelas geradas nos próprios processos industriais. A redução do consumo de energia elétrica na indústria, vinda das concessionárias, é vantajoso principalmente nos horários de pico, onde o kWh consumido é muito mais caro.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo descrever o sistema implantado na Belgo Bekaert que utiliza o calor liberado por sistemas de ventilação forçada dos compressores de ar, de maneira a permitir a co-geração de energia térmica por meio do aproveitamento da entalpia do ar quente para aquecimento de água para 780 banhos diários. Este aquecimento é realizado através da troca de calor entre o ar quente e a água e veio substituir o antigo sistema de aquecimento por resistência elétrica. Este projeto foi desenvolvido pela Cemig, em parceria com a Belgo Bekaert.

METODOLOGIA UTILIZADA

Foram realizadas medições de consumo elétrico em diferentes dias e horários, antes das modificações, num período de duas semanas. Os ciclos de trabalho de utilidades e de banho dos funcionários, foram considerados. Os dados já obtidos experimentalmente mostram que o consumo elétrico máximo estimado dos banhos é de 1996 KWh/dia ou 728 MWh/ano. As variações de potência elétrica ao longo do dia estão representadas na figura 1.

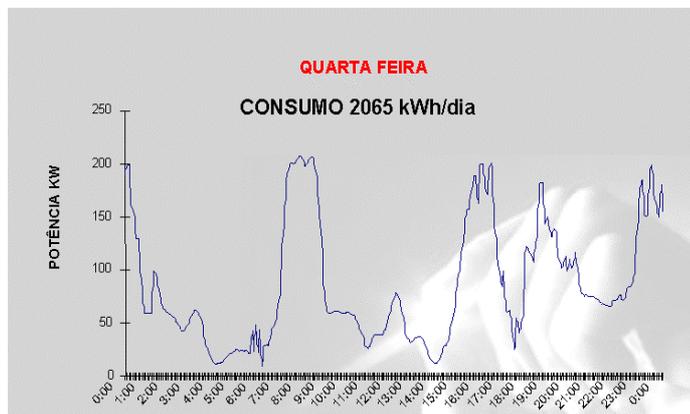
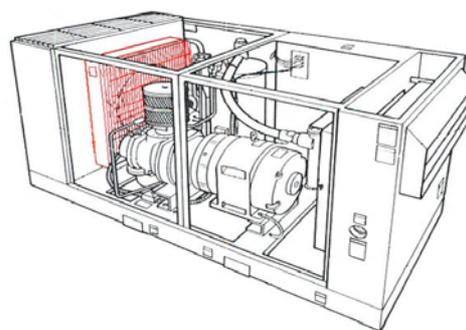


Figura 1: consumo elétrico para banhos ao longo do dia

Diante da avaliação da potência e consumo elétrico utilizados no sistema elétrico de aquecimento de água, foram analisadas três alternativas relativas ao aproveitamento de fontes de energia:

- Utilizar o sistema de aquecimento solar.
- Utilizar energia térmica disponível na água de processo.
- Aproveitar o ar de resfriamento dos compressores de ar comprimido.

Dentre as três alternativas levantadas, foi decidido por motivo técnico-econômico, pelo aproveitamento da energia térmica disponível pelo ar de resfriamento dos compressores de ar comprimido da fábrica. As figuras 2 e 3 mostram os compressores.



Figuras 2 e 3: compressores

De acordo com a avaliação da potência e consumo utilizados no sistema de aquecimento de água, esta foi comparada com as potências ou energias térmicas disponíveis no sistema de ventilação forçada dos compressores. Portanto foi concluído que a energia térmica contida no ar quente vindo dos compressores era suficiente para aquecer água em temperatura e quantidade adequada para banhos. A figura 4 mostra a saída de ar dos compressores.



Figura 4: saída de ar quente dos compressores

Baseado nas propriedades avaliadas do ar quente na saída dos compressores e com as teorias de termofluidodinâmica e transferência de calor foi projetado todo o sistema. Após projetado todo o sistema, partiu-se para a construção dos trocadores de calor e para a compra de equipamentos tais como tubulações, conexões, caixa d'água etc; depois foi realizada a montagem do sistema e posteriormente as regulagens finais. A figura 5 mostra os trocadores de calor instalados.



Figura 5: trocadores de calor instalados

Finalizando o trabalho, foram realizadas medições e levantamento de resultados, e comparados com o antigo sistema de aquecimento por resistência elétrica.

DIMENSIONAMENTO

O sistema anterior envolvia somente no processo de compressão, três compressores de 200 HP, ou seja um total de 600 HP, ou 450 KW que funcionavam de acordo com seu objetivo de compressão, porém sem outra finalidade de conversão energética. O ar quente que sai dos compressores tem como objetivos

principais resfriar o óleo lubrificante, através da troca de calor em tubos aletados e de resfriar o ar comprimido através da troca de calor em dispositivos aftercooler. Assim, uma potência térmica de valor menor que, mas comparável a 450 KW era rejeitada ao ambiente por meio de sistema de ventilação forçada. Esta energia térmica liberada pelos compressores foi aproveitada para aquecer água. A figura 6 mostra o fluxograma do sistema.

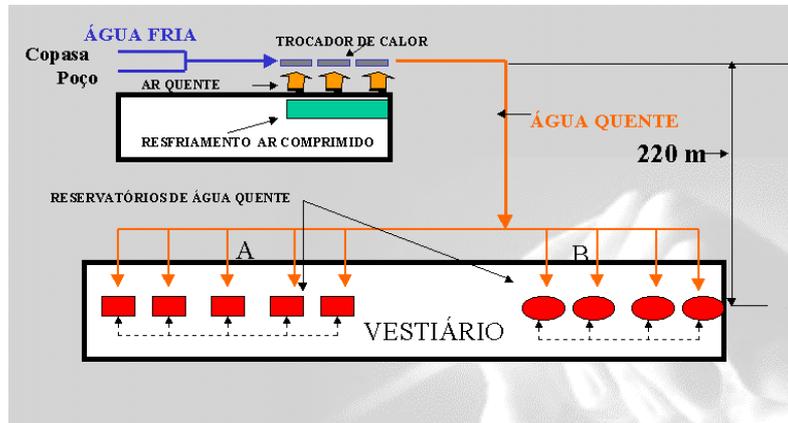


Figura 6: fluxograma do sistema

Dados de projeto:

- Área total de saída de ar dos compressores = $2,56 \text{ m}^2$
- Velocidade do ar = 20 m/s
- Temperatura do ar na entrada do trocador de calor = $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Período de funcionamento = 24h/dia
- Temperatura do ar na saída do trocador de calor = $55 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura da água na entrada do trocador de calor = $23 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura da água na saída do trocador de calor = $55 \text{ }^\circ\text{C}$
- Calor específico do ar = $1,05 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$
- Calor específico da água = $4,19 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$
- Número de banhos = 780 banhos/dia
- Consumo de água para banho = 10L/Min
- Tempo de cada banho = 15 Min
- $\rho \Rightarrow$ massa específica
- $V \Rightarrow$ vazão volumétrica
- $m \Rightarrow$ vazão em massa
- $v \Rightarrow$ velocidade
- $A \Rightarrow$ área
- $Q \Rightarrow$ Taxa de transferência de calor
- $c \Rightarrow$ calor específico
- $\Delta T \Rightarrow$ diferença de temperatura
- $L \Rightarrow$ litros

O fluxograma da troca de calor entre o ar quente e a água está representado abaixo:

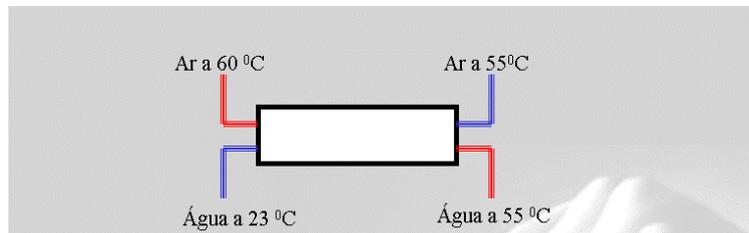


Figura 7: fluxograma da troca de calor

Cálculo da vazão de ar:

$$\dot{V} = v * A = 20 \text{ m/s} * 2,56 = 51,2 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{m}{\dot{V}} \quad \Rightarrow \quad \dot{m} = 1 \text{ Kg/s} * 51,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$\rho(\text{ar}) = 1 \text{ Kg/m}^3$ (adotado)

$\dot{m} = 51,2 \text{ Kg/s}$

Cálculo da vazão de água:

A vazão de água requerida é a equivalente ao banho de 780 funcionários, que consomem 10 litros /min em banhos de 15 minutos de duração.

$$\dot{V} = 10 \text{ L/min} * 15 \text{ min} * 780 = 117000 \text{ L/dia} = 117 \text{ m}^3/\text{dia} \quad \Rightarrow \quad \dot{V} = 0,00135 \text{ m}^3/\text{dia}$$

como: ρ (água) = 1000 Kg/m³ (adotado)

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = 1000 \text{ Kg/m}^3 * 0,00135 \text{ m}^3/\text{s}$$

$\dot{m} = 1,35 \text{ Kg/s}$

Cálculo da potência térmica:

$$\dot{Q} = \dot{m} * c * \Delta T = 51,2 \text{ kg/s} * 1,05 \text{ KJ/Kg} * (60^\circ \text{C} - 55^\circ \text{C}) \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{\dot{Q} = 268 \text{ KW}}}$$

Dimensionamento da tubulação de água:

Adotando a velocidade da água como sendo 1m/s temos:

$$V = v * A \Rightarrow A = \frac{V}{v} = \frac{1,35 * 10^{-3}}{1} = 1,35 * 10^{-3} = \pi * r^2$$

$$r = 0,021\text{m} = 21 \text{ mm}$$

Logo o diâmetro comercial da tubulação utilizada é de 1".

Trocadores de calor:

Foi utilizado trocador de calor que usa tubos BWG 14, com diâmetro externo de 1", com aletas de latão anulares de 3/8" de altura, com espaçamento de 1/8". Os tubos estão dispostos num passo triangular com espaçamento de 2 1/4".

A figura 8 mostra o trocador de calor.



Figura 8: trocador de calor

DETALHAMENTO DO PROJETO E ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Foi efetuada a implementação de trocadores de calor especiais à saída dos sistemas de compressão de ar, com respectivos controles e sistemas isolados de armazenamento de água quente, acoplados a outros reservatórios por meio de dutos, com controle automático de temperatura e vazão.

As medidas implementadas incluíram:

a) Efetuar o projeto e implementação dos sistemas térmicos envolvendo:

- Dimensionamento dos trocadores de calor.
 - Dimensionamento dos dutos e isolamentos, levando em consideração a estrutura física e funcional da Belgo Bekaert.
 - Modificações em sistemas existentes de distribuição ou armazenamento de água quente.
 - Instalação de sensores-controladores de temperatura, corrente e tensão e de funcionamento de sistemas térmicos e elétricos, visando o cálculo de eficiências energéticas.
 - Controle de excesso ou falta de energia térmica oriunda dos compressores de ar comprimido, devido a eventuais falhas de funcionamento dos compressores, por meio de sensores, controladores, ventiladores e bombas.
- b) Obter dados para análise de desempenho energético dos sistemas modificados, projetando, implementando e avaliando:
- Sistemas de aquisição e transmissão automática de dados, tanto termodinâmicos, quanto de consumo elétrico e de sinais de segurança, etc., por meio de controladores que permitem a transmissão de dados e o controle à distância.
 - Metodologia para controle efetivo da vazão de água envolvendo reservatórios à entrada e/ou saída dos compressores e necessidades instantâneas ou emergências de mais água.
 - Análise de demanda sazonal de energia térmica, por meio de medidas efetuadas por, no mínimo, 3 meses.
 - Métodos estatísticos de análise dos dados energéticos e de funcionamento do sistema, em termos de séries temporais e análises de custos. Foi levado em conta o consumo real da Belgo Bekaert, nos processos indicados, no último ano.

RESULTADOS

Com o aproveitamento da energia térmica dos compressores, conseguimos obter água quente suficiente e em temperatura adequada para banhos, como no antigo sistema elétrico de aquecimento, com a vantagem de reduzirmos a demanda de ponta em 220 kW e o consumo anual em 728 MWh, além de contribuirmos para o desenvolvimento tecnológico, relativo ao uso de fontes alternativas de energia. Reduzimos também o consumo de água em 700 m³/mês, com a instalação de redutores de vazão nas duchas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que tanto contribuíram para a realização do trabalho, a eles o nosso abraço:

- Paulo Leroy Silva
- Wildimar Rodrigues Ramos

BIBLIOGRAFIA

Mc Donald, Alan T., Fox, Robert W.; INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUIDOS, 4ª edição, editora Guanabara Koogan, 1995.

Incropera, Frank P., Dewitt, David P.; FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA, 3ª edição, editora LTC, 1992.

Van Wylen, Sontag, Borgnakke; FUNDAMENTOS DA TERMODINÂMICA CLÁSSICA; 5ª edição, editora Edgard Blucher 1998.

UTILIZATION OF THERMAL ENERGY LIBERATED BY AIR COMPRESSORS FOR WATER HEATING FOR BATHS IN BELGO BEKAERT ARAMES S.A.

Authors:

- ²- Antônio Carlos de Souza
- ³- Evandro Antônio S. Silva
- ⁴- José Carlos A. De Figueiredo
- ⁵- Mauri Fortes
- ⁶- Maurício Isidoro Oliveira
- ⁷- Ronaldo Sávio Nogueira Neiva
- ⁸- Samuel Augusto Mourão de Pinho

Abstract:

This work describes the system implanted in BELGO BEKAERT, who uses the liberated heat of the air compressors, of way to allow co-generation of thermal energy, by means of recovery of energy of the hot air for water heating for 780 daily baths. This heating is accomplished through the heat change between hot air and came to replace the eletric system of heating. The utilization of the thermal energy of the compressors managed to obtain enough hot water in adequate temperature for baths as in the old eletric system of heating, with the advantage of reducing the energy demand in 220 KW and the annual consumption in 720 MWh, besides contributing for the development technologic relative to the energy alternative origin use. We also reduce the water consumption in 700 m³/Months, with the installation at flow limiters in the showers.

Key words: compressors, heat, energy

XXV SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES
Programed in the period from 24 to 26 August 2004, in Florianópolis – SC

- ² – Engineer – Belgo Bekaert
- ³ – Technician– Belgo Bekaert
- ⁴ – Engineer – Cemig
- ⁵ – Engineer – Cemig
- ⁶ – Engineer _ consciente
- ⁷ – Technician _ Consciente
- ⁸ – Trainee _ Belgo Bekaert