



SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GCE-02
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE

USO DO AR COMPRIMIDO NO SETOR INDUSTRIAL: ANÁLISE DE OPORTUNIDADES DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

EVANDRO SÉRGIO CAMÊLO CAVALCANTI*
UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho a análise de soluções técnicas que possibilitem melhor desempenho e redução do consumo de energia elétrica em sistemas industriais de ar comprimido. Em geral, pode-se obter redução de custos da ordem de até 40% em tais sistemas (1).

Estas melhorias podem ser obtidas através do correto gerenciamento da oferta e demanda de ar em sistemas de ar comprimido (2). Tais sistemas consistem do **lado de suprimento**, no qual encontram-se os compressores, os equipamentos para tratamento do ar e armazenamento; e do **lado de demanda**, no qual estão incluídos: o sistema de distribuição e os equipamentos de uso final.

PALAVRAS-CHAVE

Ar comprimido. Conservação de energia. Diagnóstico Energético. Gerenciamento Energético.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, o país vive a iminência da falta de energia elétrica, devido à necessidade de novos investimentos em geração. A redução do desperdício de energia constitui-se por isto numa *alternativa* das mais interessantes para o país (3). Do ponto de vista social é importante porque a redução dos desperdícios permite aumentar a produção sem implicar em acréscimos substanciais de gastos com insumos energéticos. Por outro lado, existe interesse por parte das indústrias em explorar ao máximo essa perspectiva sobretudo em vista dos custos crescentes desses insumos.

A produção de **ar comprimido** pode ser um dos processos mais dispendiosos da fábrica. Atualmente, a maior parte do **ar comprimido** é produzido por compressores acionados por motores elétricos. O custo operacional anual com compressores de ar, secadores e equipamentos auxiliares pode corresponder até 70% da conta de energia elétrica da indústria. Como conseqüência, grande parte do custo de fabricação pode ser atribuído ao **ar comprimido**, evidenciando que grande potencial de economia de energia pode, também, existir em sistemas de **ar comprimido** (4) (5).

Frequentemente, as áreas de interesse básico das gerências industriais com relação aos sistemas de **ar comprimido** são a redução do custo de investimento de capital e assegurar suporte confiável para as atividades de produção. Por outro lado, aumentando-se as áreas de interesse atuais e gerenciando-se agressivamente todo o sistema de **ar comprimido**, pode-se obter, freqüentemente redução de custos de **ar comprimido** da ordem de até 40% (1). No entanto, uma série de conhecimentos gerais é necessária para o gerenciamento eficaz de sistemas industriais de **ar comprimido**. Apenas quando estes conhecimentos forem adquiridos é que o sistema, como um todo, poderá ser adequadamente otimizado (6).

Apresenta-se neste informe técnico a análise de soluções técnicas que possibilitam a melhoria de desempenho e a redução do consumo de energia elétrica em sistemas industriais de ar comprimido.

2.0 -USO DO AR COMPRIMIDO NO SETOR INDUSTRIAL

* Av. Exp. Oswaldo de A. Ramos, 280 - CEP 27.700-000 - Vassouras (RJ) - BRASIL
E-MAIL: evandro.camelo@mail.com

De maneira geral, **ar comprimido** é usado amplamente na indústria como fonte de energia para acionamento há mais de um século, sendo, frequentemente, considerado como a “quarta utilidade” (3). Quase toda instalação industrial, desde uma pequena oficina até uma grande indústria, tem algum tipo de sistema de ar comprimido.

Em muitos casos, o sistema de ar comprimido é tão vital que a indústria não pode operar sem ele. Os sistemas de ar comprimido podem variar em tamanho desde uma pequena unidade de 3,5 kW até grandes sistemas com mais de 35 MW (7).

No entanto, a maioria das instalações industriais de ar comprimido não recebe os cuidados necessários e passa a ser uma fonte permanente de grandes desperdícios de energia, sendo, talvez, a forma mais ineficiente de uso de energia comumente encontrada nas fábricas. Seu uso vem crescendo, principalmente, em decorrência da necessidade da melhoria de produtividade, que vem sendo alcançada com novas técnicas de automação (8).

Como consequência das diferenças dos processos industriais, o percentual do consumo total de eletricidade em sistemas de ar comprimido é variável para cada setor industrial. De maneira geral, para o setor de vidro este consumo é de 20%, para o de bens-de-capital é de 12,5%, para o de plásticos é de 10%, para o de alimentos é de 9% e para o químico é 7%, como indicado na Figura 1 (4).

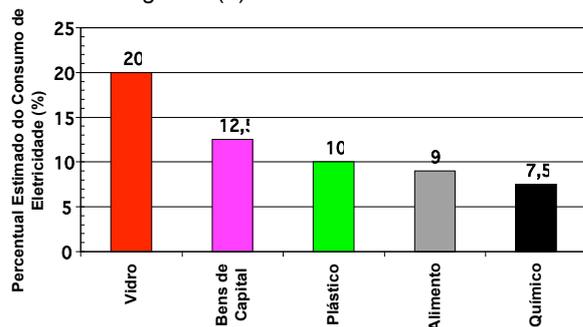


FIGURA 1. Percentual do Consumo de Eletricidade na Geração de Ar Comprimido por Setor Industrial.

3.0 - SISTEMAS INDUSTRIAIS DE AR COMPRIMIDO

Um sistema industrial de ar comprimido típico é composto de alguns sub-sistemas e vários componentes. Dentre os principais sub-sistemas destacam-se: o compressor; o sistema de acionamento; o sistema de controle; os equipamentos de condicionamento e acessórios; e os sistemas de distribuição. O compressor é o dispositivo mecânico que aspira o ar ambiente e aumenta sua pressão. O sistema de acionamento fornece o trabalho necessário ao compressor. O sistema de controle serve para regular a quantidade de ar comprimido que está sendo gerada na pressão adequada. Os equipamentos de condicionamento removem os contaminantes (poeira, óleo, umidade, entre outros); e os acessórios mantêm o sistema operando adequadamente. Os sistemas de distribuição, análogos aos cabos de distribuição no setor elétrico, transportam o ar comprimido até onde

ele é necessário. Os tanques de armazenamento de ar comprimido podem, também, servir para melhorar o desempenho e a eficiência do sistema (9).

Eventualmente, os sistemas de ar comprimido não incluem todos os equipamentos mencionados no parágrafo anterior. Além disso, existem várias formas para comprimir o ar, condicioná-lo e distribuí-lo até o uso final. Conseqüentemente, não existe um sistema padrão que atenda todas as necessidades.

Os sistemas de ar comprimido consistem do **lado de suprimento**, no qual encontram-se os compressores, tanques de armazenamento e os equipamentos para tratamento do ar; e do **lado de demanda**, no qual estão incluídos os sistemas de distribuição e os equipamentos de uso final. O gerenciamento correto do lado de suprimento resultará em ar limpo, seco, estável sendo fornecido na pressão adequada de forma confiável e econômica. O gerenciamento correto do lado da demanda possibilitará a redução do desperdício de ar e do uso de ar comprimido para aplicações elegíveis (2).

A redução do consumo de energia elétrica em um sistema de **ar comprimido** se inicia com a elaboração de um projeto tecnicamente **bem-feito**, escolha de equipamentos e materiais de boa qualidade, energeticamente eficientes, e uma instalação planejada, utilizando-se mão-de-obra especializada, bem como no planejamento da operação e manutenção do mesmo (4) (10) (11).

Via de regra, em sistemas de **ar comprimido** em operação, as oportunidades de economia de energia podem ser identificadas na geração, distribuição e uso final. Por esta razão é natural que a **auditoria ou diagnóstico energético** em tais sistemas seja implementado para cada uma destas etapas, observando-se a interação entre elas (4).

Apresenta-se nas seções seguintes a descrição de soluções técnicas que possibilitam a melhoria de desempenho e a redução do consumo de energia elétrica em sistemas industriais de ar comprimido.

4.0 OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NA GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Antes de iniciar o estudo de otimização energética de uma instalação de ar comprimido é conveniente que se determine o seu consumo anual de energia e o correspondente custo de operação. Como mencionado anteriormente, 40% deste custo pode ser um bom indicador do potencial de economia, a ser alcançado, e portanto, servir para a tomada de decisão da empresa em prosseguir com o estudo de otimização.

O levantamento de dados do consumo elétrico anual será facilmente obtido se existirem medidores e totalizadores específicos para o sistema de ar comprimido. Nos casos, em que não haja esta disponibilidade, isto não deve ser um obstáculo para se fazer a estimativa de um valor aproximado.

Esta estimativa pode ser feita por diferenças dos consumos totais, quando os consumos de outras instalações da indústria possam ser conhecidas ou estimadas com maior precisão. Na ausência destes instrumentos, pode-se estimar o consumo de cada compressor a partir da potência do motor e seu nível de consumo nos períodos de carga e descarga do compressor, multiplicado pelo número de horas de serviço da instalação.

Existem compressores de ar de vários tipos, baseados em princípios de funcionamento distintos, que os fazem mais ou menos indicados para diferentes aplicações. Na indústria os tipos de compressores mais frequentemente utilizados são os alternativos, os de parafuso e os centrífugos (12).

Em muitas instalações de ar comprimido é comum encontrar-se vários compressores, com capacidades variáveis, bem como diferentes tipos. Consequentemente, torna-se necessário conhecer o desempenho individual de cada um destes equipamentos, para determinar a maneira mais eficiente de operá-los para atender as necessidades da instalação.

Um excelente indicador do desempenho de um compressor é seu consumo específico, expresso em $\text{kW}\cdot\text{min}/\text{Nm}^3$. Para seu cálculo são necessários a potência em (kW) para gerar sua capacidade volumétrica máxima em Nm^3/min nas condições de utilização.

No caso de compressores novos, o dado de consumo específico teórico pode ser obtido do seu fabricante. No entanto, para instalações com vários compressores em funcionamento, esta característica pode variar muito entre um tipo e outro, segundo sua capacidade, carregamento do seu motor, seu desgaste, manutenção e características de utilização do equipamento, devendo-se calculá-lo em cada caso. O cálculo será mais preciso se a instalação dispuser de instrumentos para medição do consumo elétrico e de vazão, se bem que em muitas situações estes não são disponíveis.

Para a medição do consumo elétrico do compressor pode-se empregar medidores do tipo portátil (remotas) conectados a cada compressor durante períodos de tempo adequados para a obtenção de valores representativos. Em geral, uma semana pode ser suficiente (13).

As medições do volume de ar comprimido gerado pode ser medido com medidores de vazão do tipo placa de orifício, que devem ser instalados na saída de cada compressor. Se eventualmente, existir um único medidor deve-se fazer as medições dos dados de operação individualmente para cada compressor.

A informação obtida sobre o sistema de geração servirá para tomada de decisões, tais como: 1. identificar os compressores mais eficiente tendo em vista o maior tempo de operação; 2. identificar os compressores que trabalhem mais tempo, tendo em vista aqueles que melhor se adaptem as características de demanda da instalação; e 3. estudar alternativas mais eficientes de controle e operação dos compressores.

Com relação a este último aspecto, existe uma série de estratégias de controle, tanto individual como de um conjunto de compressores que podem resultar em economias significativas no consumo. Outros fatores que afetam o consumo elétrico na geração de ar comprimido são: a temperatura e condições nas quais o ar é aspirado pelo compressor; a pressão de geração adotada; e o número de estágios de compressão (4).

Quanto mais baixa a temperatura de aspiração de um compressor, menor será a energia necessária para sua compressão. Como indicação pode-se dizer aproximadamente que: 1. para cada 4°C de aumento na temperatura do ar de aspiração, o consumo de energia aumenta em 1% para se obter o mesmo volume gerado; e 2. Para cada 3°C de redução de temperatura do ar aspirado verifica-se aumento de 1% da capacidade do compressor para o mesmo consumo (4).

Assim sendo, recomenda-se que a tomada da aspiração de ar seja feita do exterior da sala de compressores. Caso seja necessário ductar a tomada de ar, esta deve ser curta, reta e de grande diâmetro e o filtro deverá ser mantido sempre limpo, para que a perda de carga na aspiração seja a menor possível. Para cada 25 mbar de queda de pressão na aspiração, o rendimento do compressor é reduzido em 2% (4).

É conveniente ressaltar que 80% da energia gasta na compressão se transforma em calor e que parte do calor produzido pelo compressor e seu motor se transmitem para o ambiente. No caso dos compressores resfriados a ar, o calor gerado pode superar 70% do consumo elétrico do motor e nos compressores resfriados a água o calor transmitido para a sala dos compressores pode atingir valores da ordem de 15% do seu consumo. Por isto, se o local da sala dos compressores for fechado deve-se tomar cuidado para evitar que as condições ambientes não prejudiquem negativamente a aspiração de ar. A localização e a disposição da sala de compressores, também, influem no consumo de energia destes. Na Figura 2, apresenta-se o diagrama de fluxo de calor típico para um compressor de dois estágios (14).

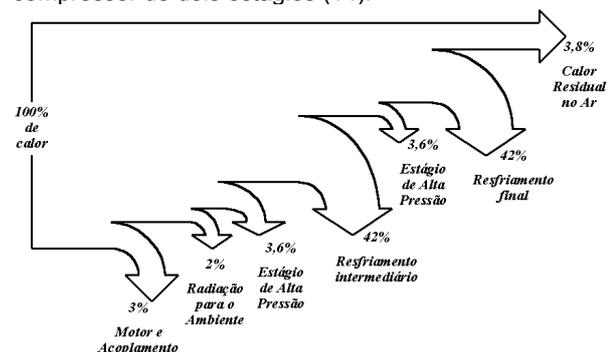


FIGURA 2. Diagrama do Fluxo de Calor em um Compressor de Duplo Estágio.

Como regra geral pode-se dizer que quanto menor for a pressão de geração menor será a energia necessária para comprimir o ar. A pressão de geração é estabelecida em função da pressão requerida pelo processo ou equipamento pneumático que tenha a maior demanda desta na instalação industrial. Se sua

necessidade for muito maior do que dos demais equipamentos aconselha-se estudar a possibilidade de dedicar um compressor especificamente para este processo ou equipamento.

Deve-se assegurar que o processo ou equipamento mais crítico nunca trabalhe em nível de pressão inferior a requerida. Assim, deve-se estabelecer o nível de pressão no compressor um pouco acima do valor requerido, a fim de compensar as quedas de pressão na linha de distribuição. Não pode-se esquecer que a escolha de um nível de pressão acima do imprescindível custa dinheiro. Um acréscimo de 10% a mais na pressão corresponderá a um aumento de 5% no consumo elétrico da instalação. A pressão mínima de geração deverá ser estabelecida conforme a mínima requerida no ponto de utilização.

A compressão em duplo estágio é sempre mais eficiente, e portanto consome menos energia. Este fato deve ser levado em conta, em particular, para instalações de pequena capacidade volumétrica, pois existe a tendência de selecionar-se compressores de simples estágio.

O uso de óleo sintético em compressores reduz o consumo de energia de 2 a 5%, além de oferecer outros benefícios em relação ao óleo mineral, tais como: vida útil do óleo de até 8.000 horas (equivalente a 7 trocas do óleo mineral); diminuição de depósitos de carbono e vernizes; temperatura do óleo mais baixa; temperatura de descarga do ar comprimido mais baixa; menor consumo de óleo; menor arraste de óleo na descarga; e menor ruído e vibrações. Recomenda-se que esta medida seja analisada em conjunto com o fabricante do compressor para que se possa verificar sua aplicabilidade, bem como sua compatibilidade com os materiais do compressor e a economicidade (4).

5.0 OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NA DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

A função do sistema de distribuição é transportar o ar comprimido desde o compressor e/ou reservatório de acumulação até o uso final. Os principais pontos mais importantes para a eficiência energética na rede de distribuição são: **1.** a queda de pressão entre o compressor e os pontos de consumo de ar; e **2.** os vazamentos de ar.

Em geral, a linha de distribuição deve ser projetada de tal sorte que a queda de pressão entre o ponto de geração e o de consumo não ultrapasse o limite recomendável de 0,3 bar ou 5% da pressão de geração

No entanto, durante a vida útil de uma instalação pode ocorrer que novos pontos de consumo sejam incorporados a ela com suas demandas de vazão de ar específicos, fazendo com que o limite de perda de carga seja ultrapassado. Uma queda de pressão excessivamente elevada pode dar origem a uma pressão de ar no ponto de consumo inferior a prevista, ocasionando perda de potência nas ferramentas pneumáticas. A potência desenvolvida por uma ferramenta pneumática para trabalhar a 7 bar, seria de apenas 55-60% da máxima se a pressão recebida

fosse de 5 bar. Já a 6,5 bar sua potência seria reduzida em 12% (4) (14).

O dimensionamento das linhas de distribuição é feito levando-se em conta critérios que atendam o limite máximo de velocidade nas tubulações e a queda de pressão admissível ao longo da linha. Para o dimensionamento do diâmetro da tubulação pode-se adotar valores máximos de velocidades segundo os ramais de distribuição, como por exemplo: a) máximo de 6 m/s nas tubulações principais; b) máximo de 10 a 15 m/s em ramais secundários; c) entre 20 e 30 m/s em trechos curtos de mangueiras de conexão com pressão superior a 6 bar ou menor se for inferior (4) (14).

Nas redes de distribuição, sempre que for possível, é recomendável que seu traçado seja em forma de anel fechado, passando o mais próximo dos pontos de consumo. Isto permite que a distribuição seja mais uniforme quando os consumos são intermitentes, já que o ar poderá chegar ao ponto de consumo por caminhos diferentes. Com este traçado as velocidades de escoamento são menores em qualquer ponto e portanto, também, são menores as perdas de carga.

Os vazamentos de ar comprimido são freqüentes e de origens diversas, e representam de 20% a 40% da demanda máxima de ar comprimido de um sistema (7). Esta variação tão ampla depende da configuração de cada sistema e dos cuidados de manutenção. O desgaste dos equipamentos e acessórios, bem como o mau uso do ar comprimido, constituem as principais causas de perdas.

O desgaste de um sistema e de seus equipamentos é inevitável, e pode-se analisar o fenômeno por dois aspectos, isto é, o sistema principal de distribuição de ar e o secundário com o acoplamento dos diversos equipamentos.

De maneira geral, os sistemas de distribuição de ar comprimido podem ser configurados de diversas formas, mas, normalmente, a tubulação é conectada através de conexões roscadas, flangeadas ou soldadas. As conexões roscadas e flangeadas dão origem a vazamentos ao longo dos anos, em decorrência da perda gradual de vedação.

Estas perdas são menos relevantes do que aquelas que ocorrem nos acoplamentos finais. A corrosão pode, da mesma forma, dar origem a vazamentos, sendo portanto recomendável que os tubos corroídos sejam trocados por razões de segurança e eficiência energética. O uso de mangueiras de material e/ou montagem inadequados, também, é outro item gerador de vazamento (4).

A maioria das perdas ocorre nos acoplamentos de um equipamento à tubulação do sistema de distribuição de ar. Na Figura 3, é apresentado um diagrama de um sistema típico de distribuição de ar comprimido e os locais onde as perdas apresentam maior probabilidade de ocorrência.

Todos os acessórios ou dispositivos, indicados na Figura 3, são acoplados através de conexões com juntas de vedação, as quais com o uso deixam escapar

o ar comprimido (pontos de 2 à 11). As mangueiras podem furar ou trincar devido ao envelhecimento (pontos de 6 e 8). Os conjuntos de filtro-regulador-lubrificador ou separador de líquido (pontos de 4 e 5) podem apresentar vazamentos em vários locais, seja nos acoplamentos rosqueados de entrada e saída, no manômetro, no copo (que pode rachar) ou no dreno, que pode estar gasto ou mau fechado.

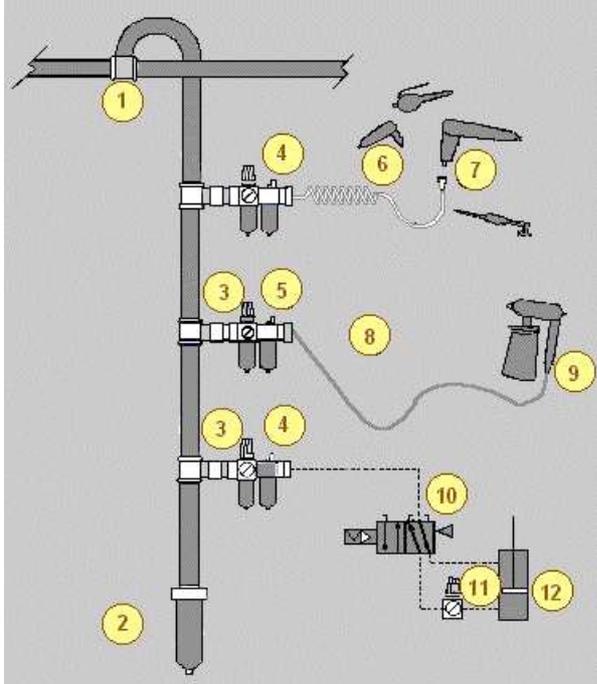


FIGURA 3. Pontos Típicos de Vazamento Frequentes de Ar Comprimido.

LEGENDA: 1. ACOPLAMENTO À TUBULAÇÃO PRINCIPAL. 2. PURGADOR MECÂNICO OU AUTOMÁTICO. 3. VÁLVULA DE ISOLAMENTO 4. CONJUNTO FILTRO, REGULADOR E LUBRIFICADOR. 5. CONJUNTO FILTRO, REGULADOR E SEPARADOR DE LÍQUIDO. 6. MANGUEIRA HELICOIDAL. 7. ENGATE RÁPIDO. 8. MANGUEIRA DE BORRACHA. 9. MINI-FILTRO SECADOR. 10. VÁLVULA DE COMANDO. 11. REGULADOR. 12. CILINDRO PNEUMÁTICO.

Quanto aos engates rápidos, tanto a parte macho como a fêmea, pode apresentar perdas. As juntas de vedação dos cilindros pneumáticos (ponto 12) podem apresentar vazamentos, sendo que o risco de vazamento será tanto maior quanto mais frequente for o uso do cilindro.

A utilização de válvulas de drenagem elétricas ou purgadores mecânicos de água (ponto 2) podem apresentar vazamento tanto nas conexões de acoplamento, como também, através do próprio corpo devido ao bloqueio da devido a presença de sujeira na sede da válvula de fechamento.

Embora seja difícil quantificar a vazão através de um ponto de vazamento, devido à dificuldade de se estimar o diâmetro equivalente, é interessante exemplificar o que pode acontecer com o escapamento de ar comprimido através de um orifício em um sistema mantido a 7 bar. Na Figura 4, o gráfico da vazão de ar comprimido perdida em função do diâmetro do furo para um diferencial de pressão de 7 bar.

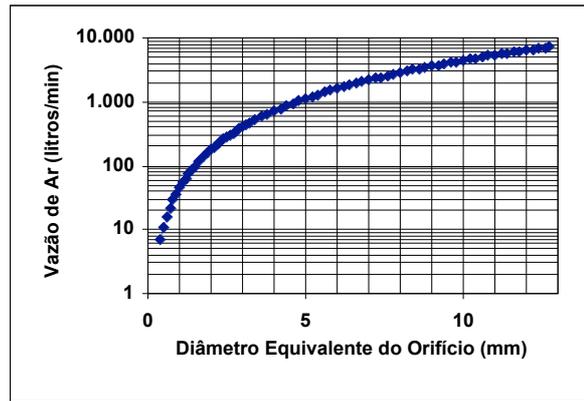


FIGURA 4. Vazamento de Ar Comprimido Devido a Pressão de 7 bar.

Apresenta-se, na Figura 5, em forma de gráfico, a estimativa do desperdício anual de energia para comprimir a 7 bar a vazão de ar que escapa através do orifício, levando-se em conta que o consumo de energia seja de 6,3 kW.min/Nm³ para o compressor do tipo parafuso lubrificado, que a tarifa média de energia elétrica seja de R\$ 76,00/MWh e que a fábrica opere anualmente 8.160 horas (4).

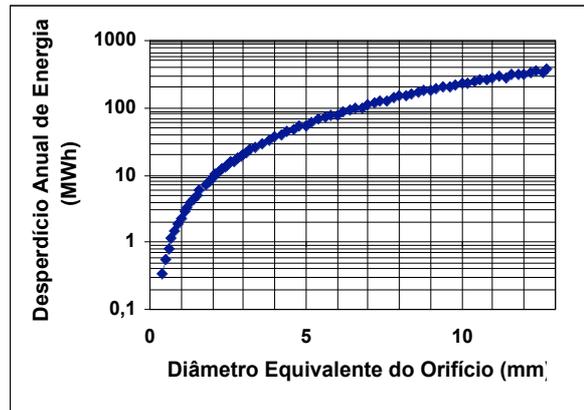


FIGURA 5. Desperdício Anual de Energia em MWh.

Para a identificação de vazamentos, podem ser utilizadas as técnicas de bolha de sabão e/ou de detecção por ultra-som. Assim, é possível a localização de todos os pontos de vazamento de ar na distribuição, bem como nas área de geração e uso final. Com base na inspeção com ultra-som, faz-se a classificação segundo a prioridade para eliminação do vazamentos tendo em vista a perda de energia, colocando-se etiquetas nos pontos de vazamentos. Além disso, visando assegurar que o nível de perdas em vazamentos de ar seja o menor possível, deve-se criar rotina de manutenção para a distribuição de ar comprimido, baseado na medição periódica da vazão de ar perdido em vazamentos.

6.0 OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NO USO FINAL DE AR COMPRIMIDO

De maneira geral, o desperdício de energia pode estar associado ao mau uso do ar comprimido não necessário à produção, ou a não utilização de práticas que permitam otimizar o seu uso.

Na Figura 6, apresenta-se um exemplo de falta de intertravamento que possibilita o escape de ar comprimido quando a máquina não está em operação. Neste caso, a vazão de ar comprimido poderia ser controlada pela utilização de dispositivos concebidos para reduzir o consumo sem diminuir a eficiência de produção, ou ainda a colocação de válvulas solenóides no circuito de distribuição permitiria interromper o consumo de ar comprimido logo que o processo parasse, interrompendo as perdas por vazamentos no circuito. Em alguns casos, a utilização de ar comprimido pode ser completamente eliminada, sendo o seu uso substituído por um processo elétrico ou mecânico.



FIGURA 6. Vazamento em Máquina por falta de Intertravamento (Uso final).

Como segundo exemplo, pode-se citar o procedimento de deixar válvulas abertas para efetuar a purga de água de um reservatório, de filtros ou de pontos baixos da tubulação. A utilização purgadores de bóia especialmente concebidos para este fim, permitem reduzir consideravelmente o consumo de ar comprimido.

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A auditoria de um sistema de ar comprimido permite evidenciar os custos reais do ar comprimido e identificar oportunidades para implementar técnicas simples que contribuam para melhorar a eficiência energética e a produtividade da planta industrial.

Estas oportunidades de redução do consumo de energia incluem, mas não estão limitadas a: recuperação do calor rejeitado pelo compressor; redução do vazamento de ar comprimido; uso do ar exterior para a admissão do compressor; estratégia de controle do compressor; redução da pressão do ar; e seleção do compressor (tipo, potência, arrefecimento entre outros).

Para a implementação de um diagnóstico energético detalhado de um sistema industrial de ar comprimido deve-se examinar o suprimento de ar e o uso final, bem como a interação entre oferta e demanda. Em geral, no diagnóstico monitora-se as características do sistema de ar comprimido, calcula-se o consumo de energia, e determina-se o custo anual de operação do sistema. Pode-se, também, medir as perdas totais devido a vazamentos e localizar aquelas que são mais significantes. Todos os componentes do sistema de ar

comprimido são inspecionados individualmente e as áreas problemáticas identificadas. Perdas e desempenho desfavorável devido a vazamentos no sistema, usos inadequados, demandas ocasionais, projeto inadequado do sistema, mau uso do sistema, entre outros, são apresentados no relatório final juntamente com as medidas ou oportunidades de economia de energia a serem implementadas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Perrone, F.P.D; Afonso, S.; Camêlo Cavalcanti, E.S. e Capella, P.S. A Solução no Caso Daimler-Chrysler para Redução do Consumo de Energia em Sistemas de Ar Comprimido. Trabalho SCE/18 apresentado e publicado nos Anais do XVI SNTPEE, Campinas (SP), 2001.
- (2) Brod, S.R. e Ray, S. (1996). Management of Compressed Air Systems. pp. 353-361 of Vision 2001: Energy & environmental engineering. Association of Energy Engineers, Atlanta, GA (United States) (1996). 638p. (CONF-951173--: 18. World Energy Engineering Congress, Atlanta, GA (United States), 8-10 Nov 1995).
- (3) ANEEL/ANP. Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios, Brasília, 432p. 1999.
- (4) Camêlo Cavalcanti, E.S. Uso do Ar Comprimido na Indústria: Oportunidades para a Redução do Consumo de Energia. Anais do I Congresso Sul-Fluminense de Engenharia, Vassouras (RJ), setembro de 2000, 21p.
- (5) DOE. (1993). Industrial Compressed Air System Energy Efficiency Guidebook. Carroll, Hatch and Associates, Inc., Portland, OR (EUA). 1993. 98p.
- (6) Mallory, M. (2000). Understanding Your Compressed Air System is Important to Managing it Well, Energy Matters, Maio/Junho, p. 4, 2000.
- (7) LBNL-Lawrence Berkeley National Laboratory. (1998). Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry, Revision 0 -DOE-Motor Challenge and the Compressed Air Challenge Prog., Washington (D.C.) (EUA), 1998.
- (8) SHOEPS, C.A. & ROUSSO, J. (1994). Conservação de Energia Elétrica na Indústria, 3a. edição, Rio de Janeiro, CNI, DAMPI, ELETROBRÁS/PROCEL, 92p.
- (9) TALBOT, E.M. (1992). Compressed Air Systems: a Guidebook on Energy and Cost Savings, Ed. Prentice Hall, Nova York, 260 p., 1992
- (10) Edwards, P. (1998). Compressed Air Systems Energy Reduction Basics. Ingersoll-Rand Company, Rotary Compressor Division, Air Compressor Group, Davidson, NC (EUA), artigo publicado no AFE Facilities Journal, March 1998.
- (11) HOLDSWORTH, J. (1997). Conserving Energy in Compressed Air Systems, Plant Engineering; 51 (13): 103-104 (Dec 1997).
- (12) MIC. (1983). Compressores Brasileiros. Conselho de Desenvolvimento Industrial/Ministério da Indústria e Comércio-MIC, Brasília, 98p., 1983.
- (13) WILSON, R.E. (1999). Data Logging a Plant Compressed Air System, Energy Matters (5), maio, páginas 5 e 9, 1999.