



Chiller parafuso com condensação à ar - Fonte: Daikin

A ENERGIA ESTÁ CADA VEZ MAIS CARA...

[Editar a](#)

Publicado em 20 de agosto de 2017



J. Fernando B. Britto
Engineer at Adriferco Engenharia e Consultoria Ltda.



26



0



3



A era de energia barata e até subsidiada pelo governo definitivamente chegou ao fim. E, os custos de energia que já estão elevados, se tornarão ainda mais caros ao longo do tempo.

Lembrando que os sistemas de tratamento de ar utilizados em salas limpas, representam de 30% a 50% do consumo energético de uma planta ligada às ciências da vida, este é um excelente lugar para se pensar em economizar.

Muitas de nossas plantas produtivas possuem equipamentos de pequeno porte, geralmente utilizando sistemas de expansão direta para refrigeração e desumidificação. Outras plantas de médio ou grande porte, já conseguem viabilizar os custos e adotam sistemas de expansão indireta com condensação à ar e, as maiores, se utilizam de expansão indireta com condensação à água.

Trataremos neste artigo de estratégias para economia de energia nos sistemas de refrigeração para plantas de médio e grande porte, que se utilizam de sistemas de expansão indireta, utilizando unidades resfriadoras de líquidos conhecidas como *chillers*.



variando em função do número e tipo de compressores, condensador, evaporador, além da tecnologia de acionamento dos compressores e ventiladores (no caso de condensação à ar).

Os compressores utilizados atualmente nos *chillers*, são do tipo *scroll* (para pequenas capacidades), parafuso ou centrífugo (médias e grandes capacidades).

Os evaporadores costumam ser do tipo a placas (pequenas capacidades), reservatório aberto (pouco comum) ou casco e tubos (atualmente se adotam cascos inundados com fluido refrigerante, aplicados em quaisquer capacidades).

Os condensadores à água geralmente são do tipo casco e tubos, com condensação no casco e água circulando dentro dos tubos, pois isto facilita muito a limpeza mecânica do feixe tubular, essencial para manutenção do bom desempenho do equipamento.

Embora também existam sujidades na água que circula no evaporador, seu controle é muito mais simples em sistemas fechados, dada a reposição extremamente baixa, geralmente oriunda de vazamentos ou manutenções.

Os condensadores a ar utilizam serpentinas aletadas, nas quais o fluido refrigerante circula dentro de tubos aletados, sendo condensado e subresfriado pelo ar aspirado em volta das aletas por motoventilador(es).

Até aqui, nada diferente dos ciclos frigorígenos existentes.

As grandes mudanças dizem respeito principalmente à possibilidade de se alterar continuamente a rotação dos compressores, utilizando-se inversores de frequência, ajustando a capacidade frigorígena em função da variação da carga térmica, além de permitir a obtenção de maiores rotações, ao se alimentarem os motores com frequências acima dos 60Hz fornecidos pelas redes públicas de energia e permitir a utilização de compressores menores e mais baratos para a mesma capacidade frigorígena.

Não tratarei de compressores *scroll* neste artigo, pois entendo que os mesmos ainda não possuem a robustez necessária para aplicações de caminho crítico como as salas limpas, em sistemas de médio ou grande porte, e apresentam custos adicionais de manutenção que rapidamente tornam seu baixo custo de aquisição, em elevado custo total de propriedade, não importando a tecnologia neles empregada.

Reservo este tipo de compressor apenas para as aplicações de pequeno porte (geralmente com utilização de expansão direta), onde as demais opções inviabilizariam economicamente o empreendimento.

(Mas, esta é minha opinião pessoal!)

Obviamente, existem limites na capacidade da variação da rotação do compressor de ajustar a produção frigorígena à carga térmica.



rotação também afeta o diferencial de pressão (ΔP) imposto ao fluido refrigerante e que a condensação só ocorre quando se estabelece uma diferença entre a temperatura de condensação (isotérmica associada à pressão de descarga do compressor) e a temperatura do ar externo ou água de resfriamento, nem sempre é possível reduzir a rotação para se ajustar à carga, pois a condensação deixaria de ocorrer.

Em outras palavras, quanto maior a temperatura de condensação imposta pelo meio ambiente, maior o *lift* necessário, o que torna centrífugas instáveis sob baixa carga térmica, principalmente quando não ocorre a correspondente redução de temperatura do fluido de condensação, chegando a inviabilizar o uso de centrífugas de rotação variável com condensação à ar em países tropicais como o nosso.

Compressores tipo parafuso fornecem deslocamento positivo, significando que se não houver variação no volume da câmara de compressão, o *lift* será aproximadamente constante. Neste caso, pode ocorrer “excesso” de *lift* sob baixa capacidade, quando a condensação ocorrer a temperaturas menores (meio ambiente mais frio), caso o compressor não possua dispositivos que permitam variar o volume da câmara de compressão (válvulas deslizantes) ou se reduza a vazão do fluido utilizado na condensação (o que eleva o *lift* e, conseqüentemente, o consumo).

Compressores parafuso com rotação fixa utilizam as válvulas deslizantes para ajustar sua capacidade frigorígena à carga térmica e/ou condições de condensação, porém, isso afeta o *lift* e pode não satisfazer a condição de condensação em dias quentes ou com condensadores incrustados por sujidades. Nestes casos, o sistema se ajusta causando a redução da pressão de sucção devida ao fechamento da válvula de expansão (mantendo o *lift* mínimo), o que por sua vez reduz a vazão mássica do fluido refrigerante, devido à redução da densidade do gás na sucção, o que mantém o chiller operando de forma menos eficiente, até que se atinja a pressão mínima de sucção e o compressor seja desligado.

Nas centrífugas, utilizam-se dispositivos que causam perdas de carga adicionais na sucção do compressor (*inlet vanes*), gerando efeitos semelhantes.

O grande volume de líquido subresfriado armazenado no condensador e no casco do evaporador (inundado), aliado ao diferencial de pressão entre o líquido (mantido sob alta pressão) e a sucção, sustentam a refrigeração por um tempo, mesmo com o compressor desligado, e evita sua operação no modo liga/desliga, extremamente danosa aos motores elétricos.

Dependendo da carga térmica, o volume de líquido subresfriado pode não sustentar a carga por tempo suficiente e, como os temporizadores de religação dos compressores impedem seu acionamento para prevenir queima do motor, a temperatura de saída da água começa a subir, reduzindo o diferencial de temperatura médio logarítmico (ΔT_{lm}) sobre as serpentinas, podendo não mais satisfazer as necessidades de desumidificação dos ambientes ou a manutenção de sua temperatura.

Os compressores parafuso mais modernos associam a variação de rotação por meio de inversores de frequência (que reduz a vazão de refrigerante), com a variação do volume



desempenho sob cargas parciais.

Cabe lembrar que a potência (N) de compressão resulta da multiplicação da vazão mássica do fluido refrigerante (m/dt), pela diferença de pressão imposta a este, somada a diferença de temperatura (superaquecimento) imposta pelo atrito dos rotores e escoamento do fluido. No caso, essa diferença de pressão e temperatura (e estado físico) é expressa na forma de entalpia (h), que representa o conteúdo energético do fluido:

$$N = m/dt * (h_2 - h_1)$$

Portanto, a potência consumida aumenta tanto em função da vazão mássica deslocada, quanto em função do *lift* imposto pelo sistema.

Outras melhorias dizem respeito às singularidades ocorridas no interior dos próprios compressores, tais como: geometria de bocais e câmaras de admissão, compressão e descarga, válvulas de retenção e serviço, além, obviamente, dos dispositivos de expansão do fluido refrigerante.

Com relação aos trocadores de calor (condensador e evaporador), atualmente se utiliza tecnologia de microcanais usinados nos tubos de forma a aumentar a área de contato dos fluidos com o metal que os separa, diminuindo o tamanho dos trocadores e, conseqüentemente, sua perda de carga, bem como a quantidade de fluido refrigerante e lubrificantes dissolvidos.

Também tem sido reduzida a necessidade de bombas de óleo, sendo feita a separação do óleo com relação ao fluido refrigerante, diretamente nos trocadores de calor e seu bombeamento passou a ser feito pelo próprio refrigerante.

Em sistemas com condensação a ar, têm-se utilizado motoventiladores acionados por inversores de frequência, além de rotores mais eficientes, o que permite um ajuste muito mais preciso da capacidade de condensação, com consumo ainda mais reduzido, permitindo que o sistema opere adequadamente quando se atinge o *lift* mínimo oferecido pelas válvulas deslizantes, o que ocorre quando o ar externo se encontra muito frio. Adicionalmente, a variação da rotação reduz a pressão sonora imposta pelo(s) ventilador(es), permitindo que sistemas operem à noite com capacidade reduzida, ajustada às condições do ar externo e limitadas pela pressão sonora ajustada.

Porém, como a temperatura do ar externo cai durante a noite, a redução de capacidade pode não ser tão significativa e ainda satisfazer à carga térmica, que também se reduz à noite.

Embora o mesmo não ocorra com relação à temperatura da água de condensação, que varia em função da umidade específica do ar externo, a qual não se modifica significativamente ao longo do dia ou da noite, ainda é possível reduzir a rotação dos ventiladores das torres ou das motobombas de água de condensação, mas, deve ser avaliado se o benefício para a potência de compressão, em função do suprimento de água de condensação mais fria (redução do *lift*), não é maior que a redução de consumo nas torres e motobombas, que possuem motores consideravelmente menores.



chillers disponíveis no mercado:

As inovações construtivas dos compressores e trocadores de calor permitem obter ganhos de avaliação simples e bastante direta, utilizando apenas o coeficiente de desempenho à plena carga, designado COP, que nada mais é que o resultado da divisão da capacidade frigorígena à plena potência pela potência consumida pelo *chiller*.

Neste caso, ao compararmos *chillers* com condensação à ar e à água, devemos levar em conta também as potências das torres e bombas de condensação no cálculo do “COP real”, visto que no caso da condensação à ar, os fabricantes já consideram o consumo global do equipamento, incluindo os motoventiladores.

Mesmo assim, como o *lift* dos sistemas com condensação à água é consideravelmente menor, o COP global destes sistemas ainda será bem inferior ao dos sistemas à ar. Cabe lembrar que sistemas com condensação à água, obviamente consomem água (em torno de 2% da vazão circulante) e o custo de sua reposição e tratamento deve ser considerado juntamente com os custos de energia, para composição do custo total de propriedade.

Adicionalmente, para otimizar o desempenho dos chillers, os fabricantes podem sobredimensionar seus trocadores de calor, obtendo subresfriamento maior e menores perdas de carga nas redes hidráulicas, além de se utilizarem de dispositivos economizadores diversos, como a injeção de refrigerante na descarga do gás (resfriando-o), trocadores que produzem superaquecimento ao mesmo tempo que subresfriam o condensado, etc.

Quando incluímos os inversores de frequência para acionamento tanto de compressores, quanto dos ventiladores de condensação, ocorre uma redução no COP, uma vez que os inversores demandam energia de resfriamento e consomem energia para sua operação.

Os ganhos energéticos irão ocorrer porque, embora os *chillers* sejam selecionados pela máxima capacidade simultânea requerida pela carga térmica do projeto, eles operam a maior parte do tempo com cargas parciais.

Em edificações não industriais (escritórios, lojas, hotéis, etc.), para aplicações de conforto térmico, como a insolação e a temperatura do ar externo variam ao longo do horário considerado, face de incidência solar e estações do ano, ocorrem grandes variações da carga térmica externa incidente sobre a edificação, incluindo as condições do ar externo de reposição, admitido nos condicionadores de ar.

A norma 550-590 do AHRI (Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute) indica que chillers à água, em tais edificações, operam a 100% COP em apenas 1% do tempo de operação, 75% COP durante 42% do tempo, 50% COP durante 45% do tempo e 25% COP durante 12% do tempo. Com base nisso, estabeleceram um novo índice para mensurar o desempenho global sob carga variável, denominado IPLV, que pondera o desempenho com base nos consumos nestas condições de operação.

Em instalações industriais, geralmente as cargas internas suplantam a variação externa e a operação completamente aleatória dos equipamentos de processo, tanto com relação



grandemente essa previsibilidade energética .

Embora áreas limpas geralmente sejam instalações industriais, as áreas auxiliares e de acesso em seu entorno, possuem carga térmica interna muito pequena e pouco variável, por raramente sofrerem com a incidência solar ou transmissão de calor, além da ampla utilização de painéis com isolamento térmico em divisórias, forros e revestimentos de paredes externas e da quase inexistente utilização de áreas envidraçadas voltadas para o exterior, que também elimina a incidência da radiação solar.

Contudo, para garantir os necessários gradientes de pressão, suas respectivas unidades de tratamento de ar demandam grandes quantidades de ar externo e, em alguns casos, chegando a operar com 100% de ar externo, o que aproxima seu perfil de carga térmica total (interna + externa) da variação imposta pelas condições do meio ambiente, assemelhando-se seu perfil de carga às condições indicadas na norma AHRI 550-590.

Em uma equalização técnica, verifiquei que um mesmo *chiller* com condensação a ar, fornecido por um conceituado fabricante internacional, com exatamente os mesmos implementos para maximizar seu desempenho, oferecia IPLV ~30% maior com a utilização de inversores nos compressores e motoventiladores, com relação aos de rotação fixa, já considerando as perdas nos inversores. Ao passo que, comparando o *chiller* de alto desempenho (premium) com um *chiller* convencional (standard), ambos com rotação fixa, o ganho de desempenho em cargas parciais (IPLV) era de apenas ~10%.

[Voltar para o LinkedIn.com](#)

Então, utilizando-se inversores nos *chillers* com desempenho convencional, elevamos o desempenho em cargas parciais, que representam mais de 90% do tempo de operação, de um IPLV de 4,05 para 5,33, segundo dados do fabricante.

E, segundo estimativas da época, o retorno do investimento adicional nos chillers se daria ainda no primeiro ano e a economia de energia pagaria completamente o *chiller* em quatro anos, excluindo-se ganhos de aplicações financeiras.

Novas tecnologias em chillers com compressores parafuso *inverter* e condensação à água já prometem desempenho com IPLV de 9,3, o que significa desempenho em compressores parafuso até melhores do que em centrífugas convencionais *inverter* e semelhantes ao das atuais centrífugas de mancal magnético.

Cabe lembrar também que, em instalações de áreas limpas, bem como em diversos processos industriais, ocorre a necessidade de controle de umidade máxima, requerendo o uso de refrigeração para se retirar a umidade, sucedida de reaquecimento para satisfazer a carga térmica.

Nesses casos, podemos reaproveitar total ou parcialmente o calor rejeitado para o meio ambiente pelos *chillers*, efetuando o aquecimento de água, bombeando-a e a utilizando em serpentinas de reaquecimento instaladas nos condicionadores, obtendo energia “gratuita” e reduzindo a “pegada ambiental” da instalação.



recuperar grande parte do consumo elétrico dos compressores, sob a forma de calor útil, que será utilizado para o reaquecimento do ar e os ganhos energéticos oriundos dessa prática, reduzem significativamente o custo total de propriedade, geralmente oferecendo retorno entre o 6º e o 8º ano de operação, o que é bem razoável, considerando-se que a instalação deve operar por ao menos vinte anos.

Obviamente, como a produção de frio nos chillers não é constante, a recuperação de calor também não será, exigindo que sistemas de aquecimento alternativos sejam instalados em série com os recuperadores de calor, para suprir a demanda adicional sob baixa carga térmica de refrigeração.

Conclusão:

Considerando-se que em áreas limpas de produção farmacêutica, os sistemas de tratamento de ar respondem por 30% a 50% do consumo da planta, sendo a geração de água gelada responsável por ~60% desse consumo (18% a 30% do consumo da planta), uma melhoria de desempenho de 30% nos chillers, pode reduzir até 23% do consumo total da planta ao longo do ano e até 6% na potência total instalada, reduzindo custos fixos e melhorando o retorno financeiro do investimento.

Isso também pode ser empregado em projetos já maduros, através de bem “engenheirados” *retrofits*, permitindo recuperar parte do valor agregado da produção, perdido ao longo do tempo pela queda de patentes ou aumento de competição.

Fonte de consulta:

Ø Norma 550-590: 2003, AHRI (Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute)



J. Fernando B. Britto

Engineer at Adrifenco Engenharia e Consultoria Ltda.

[7 artigos](#)

0 comentários



Deixe seus comentários aqui...



A ENERGIA ESTÁ CADA VEZ MAIS CARA...

J. Fernando B. Britto no LinkedIn



OUTROS DETALHES QUE DEMANDAM ATENÇÃO...

J. Fernando B. Britto no LinkedIn



O PERIGO SE ESCONDE NOS DETALI

J. Fernando B. Britto no LinkedIn

Quer saber mais sobre as últimas notícias no LinkedIn?

Descubra mais notícias