

eficiência energética na indústria

{ 4.ª PARTE – POTENCIAIS ECONOMIAS DE ENERGIA }



Neste artigo iremos abordar algumas das potenciais economias de energia mais frequentemente detectadas na indústria portuguesa. Existem dois grandes grupos de medidas de economia de energia: tecnologias de processo e tecnologias energéticas/transversais.

› Tecnologias de processo

Alterações tecnológicas ao nível do processo produtivo. Consideram-se neste caso medidas de implementação mais complexa e que envolvem habitualmente investimentos mais avultados. Na maioria dos casos, este tipo de soluções oferece benefícios que vão além da redução dos consumos de energia e que, se devidamente enquadradas num dos diversos sistemas de apoio à indústria portuguesa, constituem soluções muito vantajosas para as empresas.

Não iremos fazer menção a estas economias de energia, já que são específicas para cada tipo de indústria.

› Tecnologias energéticas/transversais

Medidas de implementação mais simples e que, pelo reduzido investimento que habitualmente envolvem, devem merecer uma atenção imediata por parte das empresas.

Refira-se que, em alguns casos, as medidas de utilização racional de energia propostas não se traduzem numa redução dos consumos de energia, mas apenas numa redução da factura energética.

TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS

1. *Afinação dos parâmetros de queima dos geradores de calor;*
2. *Isolamento térmico de superfícies quentes;*
3. *Optimização das condições de funcionamento de equipamentos;*
4. *Eliminação das fugas de fluidos quentes;*
5. *Dimensionamento correcto das instalações energéticas;*
6. *Eliminação de más utilizações de ar comprimido;*
7. *Eliminação das fugas de ar comprimido;*
8. *Recuperação da energia térmica em compressores de ar;*
9. *Substituição de motores convencionais por motores de alto rendimento;*
10. *Instalação VEV's;*
11. *Deslastre de cargas;*
12. *Compensação do factor de potência;*
13. *Optimização e controlo da iluminação;*
14. *Melhor aproveitamento das condições de iluminação natural;*
15. *Implementação de sistemas de gestão de energia;*
16. *Instalação de sistemas de cogeração.*

GERADORES DE CALOR

Um dos sectores de maior consumo na in-

dústria é a central térmica, podendo afirmar-se que os geradores de calor são uma presença quase constante na maioria das instalações industriais.

Por gerador de calor entende-se o equipamento em que os gases quentes provenientes da combustão de um combustível, fornecem calor a um fluido a aquecer, através das paredes metálicas que envolvem o fluido. Trata-se, assim, de um permutador de calor em que a produção do fluido quente está intimamente ligada ao próprio aparelho.

Existem vários tipos de geradores de calor, conforme o tipo de fluido que aquecem, como por exemplo geradores de vapor, de termofluido, de ar, ou caldeiras de água quente.

Assim, numa caldeira, denominação usual de gerador de calor, existe um local destinado à combustão, designado por câmara de combustão, e outro local destinado à transmissão de calor, a caldeira propriamente dita.

A câmara de combustão apresenta diversas formas, consoante o tipo de gerador, assim

como, conforme o tipo de combustível a queimar. Podemos assim falar de tubos de fogo, ou câmara de combustão, rectangular, circular, ou com paredes tubulares; de fornalhas, que compreendem o sistema de queima de um combustível sólido, normalmente com as paredes em material refractário e isolante.

O corpo do gerador é o local onde se dá a transferência de calor dos gases de combustão para o fluido a aquecer.

Para além destes componentes do gerador, existem ainda outros equipamentos auxiliares que permitem melhorar e vigiar o bom funcionamento do gerador, como por exemplo as bombas de alimentação, as válvulas de segurança, o quadro de controlo e comando, manómetros diversos, pressostatos, economizadores, entre muitos outros.

› Alterações do rendimento dos geradores

Quando se opera com caldeiras de alta eficiência térmica obtêm-se custos mínimos. Como tal vamos analisar as várias perdas e indicar como minimizá-las.

As perdas totais de calor da caldeira são devidas:

- › às perdas dos gases de exaustão;
- › às perdas de calor para o meio ambiente (perdas por radiação);
- › às perdas de "descarga de fundo".

Podemos exprimir este somatório em forma de equação:

$$\text{Rendimento térmico das caldeiras} = 100\% - (\% \text{perdas dos gases de exaustão} + \% \text{perdas por radiação, etc.} + \text{perdas por descarga de fundo}).$$

Cálculos simples indicam possíveis economias ou perdas em função de alterações de rendimento. Dados os valores do rendimento, calcula-se o efeito no consumo do combustível da seguinte forma:

$$\text{Economia de combustível} = \text{consumo original} \times \frac{\text{Rendimento novo} - \text{rendimento original}}{\text{rendimento novo}}$$

PERDAS NOS GASES DE EXAUSTÃO

› Relação ar-combustível

Na maioria das instalações industriais a exploração dos geradores de calor não é a mais eficiente resultando em rendimentos térmicos mais baixos do que seria razoável, tendo como consequência maiores consumos de energia e um incremento na emissão de poluentes atmosféricos.

A regulação da combustão tem por objectivo minimizar as perdas de energia nos gases de combustão, o que implica a redução da temperatura e do excesso de ar a valores mínimos, sem o aparecimento de CO e inqueimados em grandes quantidades.

Assim, para se conseguir um rendimento térmico elevado, minimizando os custos de combustível, a quantidade de ar admitido para a combustão deve ser apenas a necessária para

assegurar a combustão completa do combustível em todas as ocasiões (embora com uma margem de segurança adequada a cada conjunto queimador-caldeira).

Se na relação ar-combustível a quantidade de ar for muito elevada, as perdas nos gases de exaustão são grandes e o custo operacional aumenta. De um modo semelhante, se a quantidade de ar for muito baixa, parte do combustível não é queimado e o custo operacional também aumentará.

O tipo de queimador e controlos, bem como o ajuste, determinarão o resultado que se pode obter. Os fornecedores da caldeira e do queimador devem ser consultados para determinação do ajuste ideal.

Para comprovar se essa relação ar-combustível está correcta, o método usual é fazer ensaios com o gás de exaustão ao sair da caldeira. A partir da temperatura e composição desse gás, é possível obter-se a perda de calor na exaustão.

Este cálculo pode ser feito recorrendo a equações, tabelas ou a *softwares* mais ou menos evoluídos.

Os recentes progressos nos controlos de queimadores possibilitaram a obtenção de proporções ar-combustível mais exactas e mais estáveis em todo o período operacional do queimador. Há também sistemas que compensam automaticamente as variações das condições. Evidentemente que as vantagens de custos das várias opções devem ser avaliadas e comparadas.

É importante ter em atenção que o desperdício de combustível devido à relação incorrecta ar-combustível não é detectado imediatamente. Por isso, deve estar sujeito a verificações regulares e sistemáticas.

No que se refere à regulação do excesso de ar deve ter-se em atenção dois factores contraditórios:

- › Por um lado se o excesso de ar é pequeno, o combustível não é completamente queimado, aparecendo nos gases de combus-

tão elementos inqueimados, tais como o carbono, o hidrogénio, e mesmo hidrocarbonetos, ou incompletamente queimados como o CO.

Isto significa perda de rendimento, uma vez que estes elementos não tendo sido queimados no interior da câmara de combustão, não libertam a sua energia, que acaba por se perder sob a forma de calor latente nos gases de combustão.

Além disto, do carbono por queimar só uma parte sai nos gases de combustão, depositando-se o restante nas paredes da câmara de combustão, formando uma camada isolante que dificulta a transmissão de calor entre os gases quentes e o fluido a aquecer.

- Por outro lado, um grande excesso de ar dá origem a um maior arrefecimento da câmara de combustão, perdendo-se calor no aquecimento de um volume de ar desnecessário para a queima.

O ponto óptimo da regulação da combustão corresponde a um compromisso entre estes dois factores.

Assim, o excesso de ar de combustão deve ser mantido tão baixo quanto possível, embora não deva ser demasiado baixo de modo a permitir uma combustão completa. Para os geradores de calor que queimam gás natural, o excesso de ar recomendado varia entre os 5 e 15%, o que corresponde a uma percentagem de oxigénio (O₂) nos gases de combustão entre 1.5 e 2.5%. Para geradores a fuelóleo, estes valores devem rondar os 15 a 20%, no caso do excesso de ar, correspondendo a um teor de oxigénio de 2.9 a 3.6%. Contudo, dever-se-á ter em atenção outros factores como o teor de CO que não deve ser superior a 400 ppm.

Existem equipamentos portáteis, relativamente baratos, para análise dos gases de exaustão e medição da sua temperatura, que podem ser adquiridos para verificações periódicas e regulares. Equipamentos mais caros justificam-se para instalações onde existem grandes caldeiras ou várias caldeiras. Em grandes instalações poderão existir até equipamentos fixos de indicação e registo.

LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES DE TROCA DE CALOR

Desde que os tubos da caldeira estejam inicialmente limpos e os controlos da combustão não causem formação de fuligem, as superfícies de troca de calor permanecem limpas nas caldeiras a gás, contudo nas caldeiras a fuelóleo deve ser feita uma limpeza periódica, sendo que esta periodicidade varia para cada instalação.

Uma forma rápida de perceber se os tubulares de uma caldeira estão sujos é verificar periodicamente a temperatura dos gases de exaustão, quando existirem aumentos de temperatura nos gases, é sinal que os tubulares se encontram sujos.

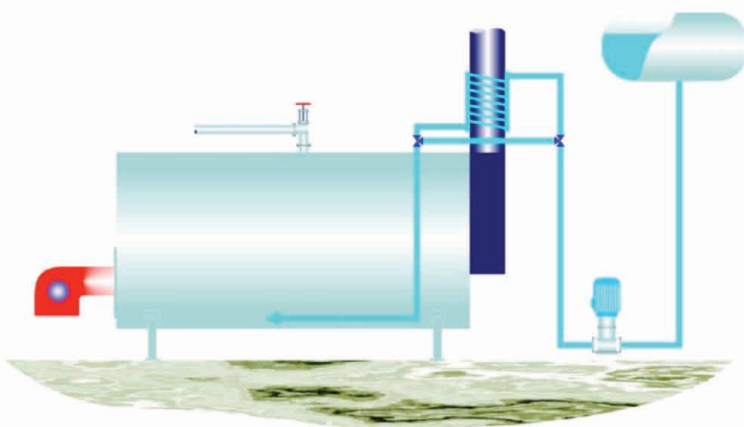
A formação de fuligem deve ser permanentemente evitada. Se, no entanto, os tubos ficarem sujos, as perdas de chaminé (tiragem) serão aumentadas. As despesas de limpeza são rapidamente compensadas pela economia de combustível daí resultante. Devem conhecer-se as recomendações do fabricante sobre a frequência de limpeza da caldeira.

SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO DE CALOR DOS GASES DE EXAUSTÃO

Como os gases de exaustão saem da caldeira com uma temperatura superior à do vapor produzido, parte desse calor pode ser recuperado, dependendo da disponibilidade de espaço, utilidade do calor recuperado e programação operacional das caldeiras.

Seguem-se alguns sistemas:

Economizadores: são aquecedores de água de alimentação que podem economizar cerca de 5% de combustível e são particularmente apropriados para uso em caldeiras a gás. Estes equipamentos, não são mais do que um permutador gases/água, que permite retirar calor aos gases de combustão passando-o para a água de alimentação. Sendo este o tipo de recuperador/economizador mais utilizado na indústria portuguesa.



Recuperadores de aspersão: sistemas para uso em caldeiras a gás. A água é pulverizada através dos gases de exaustão, absorvendo o calor dos gases, bem como parte do calor latente do vapor resultante da combustão. Um recuperador pode operar em conjunto com um economizador. Existe um limite prático e económico para a temperatura da água aquecida e para que haja economia real há necessidade de se ter uma aplicação para a considerável quantidade de água quente que se pode obter.



Rodas de calor: unidades de recuperação de calor na qual o gás de exaustão passa por um segmento de tambor rotativo com grande área de superfície de absorção de calor. A parte aquecida passa, em seguida, pelo segmento adjacente, no qual se dá a passagem forçada do ar que absorve calor. O ar aquecido pode então ser aproveitado em processos industriais ou no aquecimento do ambiente.

Nos três métodos acima descritos a viabilidade da sua instalação pode ser estudada pelos fabricantes.

Reguladores de exaustão: em alguns casos pode obter-se uma economia adicional instalando reguladores de exaustão para uso individual nas caldeiras. Para o cálculo de economia deve levar-se em conta quer o conjunto caldeira-queimador, quer os períodos de queima e as condições do sistema de exaustão.

Convém que os fabricantes sejam consultados e os planos cuidadosamente apreciados. Considerações quanto à segurança devem ser examinadas.

› Perdas por radiação

As perdas de calor através das paredes – perdas por radiação – em caldeiras modernas podem ser, considerando os melhores índices, de cerca de 1% do poder calorífico do combustível. Poderão, no entanto, ser muito mais elevadas em caldeiras mais antigas, atingindo até 10% quando o isolamento está em más condições e o projecto é antiquado.

Como essa perda não é facilmente mensurável é costume incluí-la nas perdas não especificadas nas folhas em que se discrimina a distribuição das quantidades de calor, nas quais um dos itens é perdas por radiação e outras, dando a impressão de que as perdas por radiação são menores do que de facto são.

As perdas por radiação são constantes, enquanto houver combustão e formação de

vapor. Quando a utilização da caldeira é baixa, estas perdas podem representar uma parte considerável do total do combustível usado.

As necessidades de vapor ao longo do dia, em termos de quantidade e de cargas instantâneas, devem ser revistas frequentemente para se usar sempre o menor número de caldeiras possível.

Pode até valer a pena arriscar a paragem ou redução temporária no fornecimento de vapor, no caso de falha no funcionamento de uma das caldeiras em operação. Deve ter-se uma previsão do tempo para se colocar uma caldeira em operação em substituição de outra, bem como a reparação de uma que falhe em operação.

› Descarga de fundo de caldeira/Purgas

A purga serve essencialmente para eliminar resíduos da caldeira que, caso se mantivessem na água, incrustar-se-iam nas paredes dos tubos de fogo/fumo, contribuindo para uma diminuição do rendimento do conjunto, já que uma incrustação com 1 mm implica um aumento de consumo entre 2 e 3%. Desta forma é essencial verificar a qualidade da água de alimentação e efectuar purgas de acordo com a seguinte fórmula:

$$Q_{purgas} = \frac{Q_{vapor} \times S}{k - S}$$

Em que:

Q_{purgas} = Quantidade de purgas necessária [kg/h];

Q_{vapor} = Quantidade de vapor produzido [kg/h];

S = Salinidade [mg/l];

k = Concentração máxima admissível (deverá ser inferior a 3500 mg/l);

Para evitar a perda desnecessária de calor, as drenagens devem ser no menor número possível, compatível com a manutenção do nível recomendado de sólidos em suspensão.

Parte das perdas de fundo pode ser recuperada por um tanque de reevaporação ou por um permutador de calor, usando-se esse calor para pré-aquecimento da água de alimentação ou outras finalidades. Deve salientar-se que perdas elevadas por descarga poderão justificar despesas com equipamento de recuperação de calor ou uma instalação de tratamento de água.

Se o condensado puder retornar ao reservatório de água de alimentação da caldeira, a despesa de descarga de fundo pode ser drasticamente reduzida.

› Água de alimentação da caldeira

O tratamento químico da água é necessário:

- › para impedir a formação de incrustações nas caldeiras e equipamentos auxiliares que causam um aumento da temperatura dos gases de exaustão e um baixo rendimento;
- › para controlar a formação de depósitos e crostas nas caldeiras;
- › para reduzir ou eliminar a corrosão da caldeira ou da tubagem de vapor (do dióxido de carbono no vapor) que leva a custos mais elevados de manutenção;
- › para evitar contaminação do vapor pela água da caldeira que pode ser transportada, quer por formação de espuma quer por arrastamento;

- › para minimizar a corrosão devida ao oxigénio dissolvido na água de alimentação.

Deve certificar-se que o tratamento é o indicado, pelos especialistas competentes de tratamento de água industrial. Os operadores não devem ser "mãos pesadas" e devem desligar as bombas de tratamento quando as caldeiras não estão em funcionamento.

O ideal é que o equipamento de dosagem seja automaticamente controlado pela operação da bomba de alimentação de água.

Deve investigar-se se as instalações de tratamento são adequadas às necessidades. Devendo obter-se esclarecimentos de firmas de tratamento de água e de fabricantes de caldeiras.

Se a qualidade do equipamento de tratamento de água for melhorada e a quantidade de condensado recuperado for aumentada, haverá redução da quantidade de descarga de fundo.

As percentagens totais de sólidos dissolvidos são facilmente verificadas pela medição da densidade da água (por meio de densímetros especiais). Conjuntos "kits" de testes a quente são relativamente baratos e fáceis de operar, podendo ser comprados em empresas de tratamento de água.

› Recuperação do condensado

Se a temperatura da água de alimentação estiver baixa a causa deve ser investigada. Pode ser resultado da baixa recuperação de condensado, devida à falta de isolamento térmico na tubagem de retorno do condensado, ou ainda, devido a perdas no tanque de água de alimentação por radiação de calor através das paredes ou por transbordamento (fuga pelo tubo).

A recuperação dos condensados é o método mais efectivo de economia de energia para sistemas de geração de vapor. Como o calor remanescente no condensado equivale entre 20% e 30% do calor total do vapor, a recuperação do condensado resulta numa

considerável economia de combustível.

Para além desta vantagem, a recuperação dos condensados apresenta ainda como vantagem a economia de água de reposição e ainda a redução do caudal de purgas na caldeira.

Assim, deve recuperar-se o máximo de condensado possível numa instalação. Em casos onde haja a possibilidade de contaminação, devem tomar-se medidas para protecção. Isso economizará calor, água de reposição, produtos químicos para tratamento de água e ainda reduzirá as perdas de descarga de fundo.

Nos casos em que é possível a contaminação da água de alimentação, por exemplo, no retorno de condensado, pode conseguir-se uma descarga automática controlada por sensores de condutividade da água. Os sensores devem ser localizados de tal modo que haja descarga apenas nos tubos que conduzam água contaminada, poupando os restantes.

Em grandes instalações pode ser necessária a instalação de sensores e sistema de descarga independentes junto a cada fonte de recuperação de água de condensação.

Sem providências especiais raramente é possível utilizar água de alimentação a mais de 82° C devido a problemas de cavitação na bomba de alimentação. Contudo, pode elevar-se a temperatura acima desse valor, utilizando bombas especiais.

OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO EM CALDEIRAS

- › A produção de vapor na caldeira deve ser medida, quer directamente, por meio de um contador de vapor, quer indirectamente, medindo-se o total da água de alimentação e calculando as quantidades perdidas nas descargas de fundo da caldeira. A relação vapor-combustível é a melhor medida de eficiência da caldeira e deve ser mantida a um nível elevado;
- › Deve manter-se um registo permanente dos dados de desempenho da caldeira, de modo a que os sinais de mau funcionamento possam ser detectados com antecedência;
- › Deve medir-se e registar-se a quantidade de água de alimentação;
- › Devem examinar-se periodicamente os contadores de vapor, pois deterioram-se com o tempo, devido à erosão do orifício de calibragem. Os contadores de vapor só dão uma leitura correcta à pressão de vapor para a qual foram calibrados. Se a pressão de operação for alterada, o contador deverá ser recalibrado ou, alternativamente, deve proceder-se à correcção do volume nas leituras realizadas;
- › Tubagens fora de uso devem ser isoladas do restante sistema e os tubos supérfluos retirados. Deve vistoriar-se com regularidade o sistema de tubagem, especialmente se o tipo de uso em cada ramal é alterado com frequência;
- › Cálculos do consumo e do fornecimento de energia à casa das caldeiras devem ser o mais realistas possível. A avaliação das existências de combustível, para essa finalidade, deve ser cuidadosa;
- › A rotina de limpeza e conservação da casa de caldeiras deve ser melhorada, o que, provavelmente, criará melhores condições de trabalho;
- › A manutenção da casa de caldeiras deve ser revista, principalmente no que diz respeito ao equipamento de combustão, aos controlos e aos instrumentos. Deve adoptar-se uma rotina de verificação regular, e limpeza nas superfícies de troca de calor ou tubos de fumo. Qualquer instrumento ou equipamento que esteja sem condições de uso, por exemplo, contadores de água, indicadores e registadores de temperatura e

economizadores deve ser reparado e recolocado em uso;

- › O estado das alvenarias e do sistema de exaustão das caldeiras deve ser verificado periodicamente. Em instalações de caldeiras mais antigas, as canalizações subterrâneas de exaustão devem ser inspeccionadas com vista a possíveis infiltrações de água;
- › Fugas de vapor e ar comprimido devem ser prontamente reparadas pois desperdiçam energia e representam causas potenciais de acidentes;
- › Dedicar atenção especial aos operadores da caldeira. É falsa economia empregar mão-de-obra de nível excessivamente baixa em instalações tão importantes. Deve certificar-se de que os operadores conhecem os procedimentos operacionais correctos. Cursos para operadores de caldeira são um investimento compensador.

DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR E ÁGUA QUENTE

As caldeiras de vapor não devem funcionar a uma pressão inferior ao valor mínimo recomendado pelo fabricante.

Se, entretanto, o equipamento exigir uma pressão consideravelmente inferior deve estudar-se a possibilidade de instalar uma válvula redutora de pressão o mais próximo possível do ponto de consumo, para reduzir custos de instalação da rede e diminuir perdas por radiação.

Há que ter em atenção o dimensionamento da tubagem após a válvula redutora de pressão visto que o vapor, ao ver reduzida a sua pressão, vê o seu volume específico aumentado, devendo o diâmetro da tubagem ser maior para manter a velocidade do vapor dentro de níveis adequados.

Toda a tubagem e válvulas das redes de vapor ou condensado devem ser isoladas termicamente e protegidas das intempéries.

O fornecimento de vapor deve ser interrompido quando não houver necessidade de aquecimento. Isto evita perdas desnecessárias por radiação.

Uma rotina de inspecção periódica do isolamento térmico deve ser implementada, providenciando-se a troca imediata quando necessária. Atenção especial deve ser dedicada a novos equipamentos ou a tubagens em que se tenha realizado um conserto ou uma manutenção recente.

Na troca do revestimento isolante deve recalcular-se a espessura económica do mesmo para se evitarem espessuras economicamente desactualizadas.

A aplicação de isolamento em tubos de grande diâmetro paga-se em poucas semanas. O isolamento de tubos de diâmetro menor é pago em poucos meses.

Se o aumento de temperatura devido à aplicação de isolamento à tubagem da água de alimentação causar problemas de cavitação, deve procurar-se a pressão adequada no ponto de sucção da bomba de alimentação da caldeira.

Em instalações mais antigas, muitas vezes, as válvulas e flanges não possuem isolamento. Actualmente, é compensador fazê-lo.

A falta de isolamento térmico ou isolamento degradado conduzem a desperdícios desnecessários de energia, sendo um investimento recuperado num curto espaço de tempo, como se pode verificar no exemplo seguinte:

Se 20 válvulas (entre DN 30 a DN 60) de vapor a 9 bar_g forem devidamente isoladas, o consumo de fuelóleo será reduzido anualmente em 4.4 toneladas sendo a respectiva redução de custos de cerca de 1.350 €/ano. O isolamento das referidas válvulas requer um investimento de 2.000 € pelo que o retorno desse investimento será de 1.5 anos.

ELIMINAÇÃO DAS FUGAS DE FLUIDOS QUENTES

As fugas de vapor conduzem a desperdícios desnecessários de energia que podem ser generalizados no seguinte exemplo:

Uma fuga de vapor de 3 mm num acessório da tubagem de distribuição de vapor, à pressão relativa de 0.9 MPa_g (9 bar_g), representa 29.9 kg/h de vapor, o que equivale a cerca de 11 600 kg/ano de fuelóleo, ou seja cerca de 3.580 €/ano, considerando um tempo de funcionamento anual de 5.760 horas.

Para calcular o caudal horário de vapor perdido numa fuga pode utilizar-se a seguinte expressão:

$$Q_{\text{vapor}} = n \times 0.35 \times \phi^2 \times \sqrt{P_r \times (P_r + 1)} \quad [\text{kg/h}]$$

Sendo:

- › n : o número de fugas;
- › ϕ : o diâmetro em mm;
- › P_r : a Pressão relativa em bar.