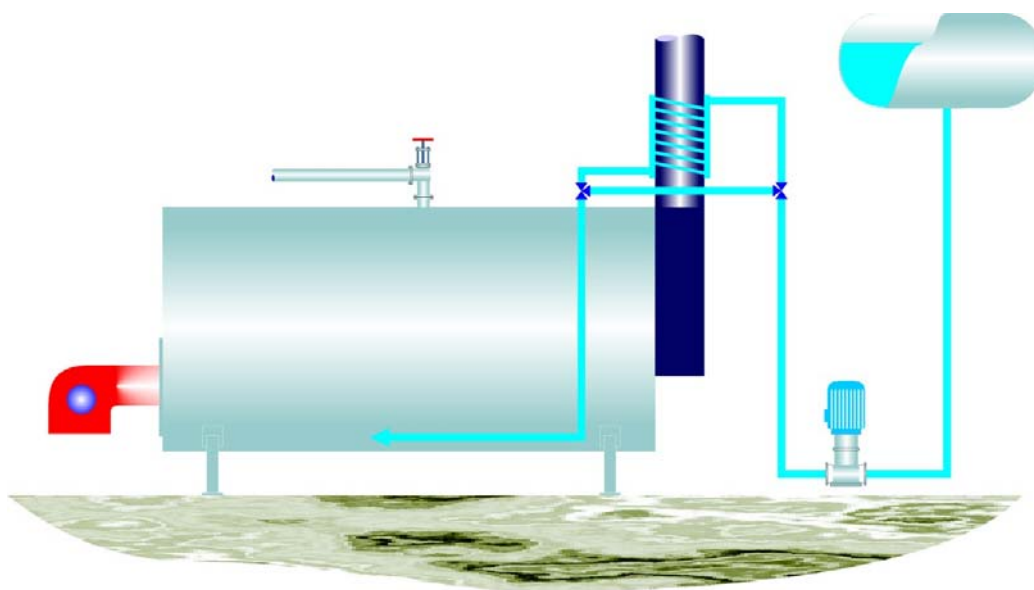




AGÊNCIA PARA A ENERGIA

CURSOS DE UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA INDÚSTRIA**



AGP – ÁREA DE GESTÃO DE PROJECTOS

CARLOS GASPAR (carlos.gaspar@adene.pt / eng.gaspar@cmfg.pt)

Gaia, Janeiro de 2004

INDICE

1 - AUDITORIAS ENERGÉTICAS.....	3
1.1 - Âmbito, natureza e importância	3
1.2 - Tipos de Auditorias	4
1.3 - Metodologia.....	4
1.3.1 -Planeamento	5
1.3.2 -Trabalho de Campo.....	5
1.3.3 -Tratamento da informação	6
1.3.4 -Elaboração do Relatório Final	6
1.4 - Meios Técnicos Utilizáveis	7
1.4.1 -Grandezas Eléctricas	8
1.4.2 -Gases de Combustão.....	9
1.4.3 -Temperaturas, Humidade, Pressão, etc.....	9
1.5 - Conclusões	12
2 - ANÁLISE DE FACTURAS DE ENERGIA ELÉCTRICA	13
2.1 - Parcela de energia	14
2.2 - Parcela de Potência	15
2.3 - Opção Tarifária	17
2.4 - Factor de Potência	18
2.4.1 -Efeitos da energia reactiva nas redes eléctricas.....	19
2.4.2 -Compensação do Factor de Potência	20
2.4.3 -Conclusões.....	22
3 - BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA.....	22
3.1 - Fórmulas de Cálculo	26
4 - TECNOLOGIAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	31
4.1 - Tecnologias de processo	31
4.2 - Tecnologias energéticas	31
4.2.1 -Geradores de Calor.....	31
4.2.2 -Distribuição de vapor e água quente.....	41
4.2.3 -Eliminação das fugas de fluidos quentes	42
4.2.4 -Dimensionamento Correcto de Instalações Eléctricas.....	43
4.2.5 -Ar Comprimido	45
4.2.6 -Força Motriz	56
4.2.7 -Iluminação	79
4.2.8 -Sistemas de Gestão de Energia.....	87

1 - Auditorias Energéticas

1.1 - Âmbito, natureza e importância

O peso da factura energética nos custos de exploração dum empresa do sector industrial é habitualmente baixo, quando comparado com o peso de outros factores de produção, nomeadamente mão-de-obra e matéria-prima. A gestão de energia é por isso frequentemente negligenciada, facto que gera significativos desperdícios de energia e contribui para a redução da competitividade das empresas.

Adicionalmente, continua presente na mente de alguns industriais a ideia de que o crescimento económico acarreta necessariamente um aumento dos consumos de energia. O conceito de Utilização Racional de Energia, surgido no seguimento dos chamados choques petrolíferos, veio alterar decisivamente a forma de encarar a energia, demonstrando ser possível crescer sem aumentar os consumos ou afectar a qualidade da produção. A chave da questão designa-se gestão de energia. Como qualquer outro factor de produção, a energia deve ser gerida contínua e eficazmente.

Embora o argumento da competitividade continue naturalmente a ser aquele que mais sensibiliza a generalidade dos industriais, a crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade de utilizar eficientemente a energia. Seja por imposição legal, seja pela necessidade de cumprir requisitos ambientais como forma de aceder a sistemas de apoio ou simplesmente por uma questão de imagem ou pressão da opinião pública, cada vez mais a eficiência energética está na ordem do dia. É para além disso unanimemente aceite que, mais cedo ou mais tarde, instrumentos políticos de mercado, como taxas ou impostos ambientais, introduzirão finalmente o princípio do poluidor pagador, penalizando fortemente as empresas menos preparadas.

É assim que assumem particular importância o *levantamento* e a *auditoria energética*. Com efeito, qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. O princípio é óbvio - **para gerir é indispensável conhecer o objecto de gestão**.

O levantamento energético pode interpretar-se como a primeira radiografia ao desempenho energético da unidade fabril. Através dele, avalia-se quanta energia é efectivamente consumida e de que forma é essa energia utilizada, estabelecem-se os principais fluxos e identificam-se os sectores ou equipamentos onde é prioritário actuar.

Por *auditoria energética* entende-se o exame detalhado das condições de utilização de energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detectadas.

A *auditoria energética* pode também constituir uma obrigação legal. Com efeito, estão abrangidas pelo *Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (R.G.C.E.)*, todas as empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia.

A *auditoria energética* surge assim como um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afectar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma.

1.2 - Tipos de Auditorias

Dependendo do grau de complexidade da instalação e do fim a que se destina a *auditoria energética* existem dois tipos de auditorias: **auditoria simples** e **auditoria completa**. Existe uma relação directa entre a complexidade da instalação e o número de oportunidades de economias de energia encontradas.

Uma **auditoria simples** tem como finalidade fazer um diagnóstico da situação energética de uma instalação, consistindo numa simples observação visual para identificar falhas e numa recolha de dados susceptíveis de fornecer alguma informação sobre os consumos específicos de energia.

A **auditoria completa** consiste num levantamento aprofundado da situação energética, analisando-se as quantidades de energia utilizadas em cada uma das operações do processo de fabrico.

A função deste tipo de auditorias é a de apoiar o Empresário ou Gestor de Energia na selecção tecnológica mais adequada para possíveis investimentos para uma utilização racional da energia. Os dados recolhidos numa *auditoria energética* permitem estabelecer um conjunto de medidas conducentes à redução dos consumos energéticos da empresa.

1.3 - Metodologia

A condução eficaz de uma *auditoria energética* é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência correctas, que vai desde a análise detalhada das facturas de energia do ano que antecede a auditoria, passando pela análise física detalhada aos equipamentos geradores/consumidores de energia térmica e eléctrica existentes na instalação, suas condições de operação e controlo, assim como os cuidados de manutenção e o seu tempo de funcionamento, até à fase final do estudo no qual são indicados os resultados e medidas a tomar para a redução dos consumos energéticos em áreas específicas.

Deste modo, as auditorias energéticas permitem fornecer informações específicas e identificar as possibilidades reais de economias de energia, consistindo basicamente num exame crítico da forma como é utilizada a energia com base nos registos, tanto quanto possível rigorosos, dos consumos e custos.

De uma forma resumida, poder-se-á dizer que uma *auditoria energética* a uma instalação consumidora de energia tem por objectivos:

- Quantificar os consumos e custos por forma de energia;
- Examinar o modo como a energia é utilizada na instalação;
- Relacionar o consumo de energia com a produção, determinando um indicador energético de grande relevância, o consumo específico de energia;
- Determinar os consumos de energia por sector, processo ou equipamento;
- Examinar detalhadamente o modo como a energia é utilizada;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Propor medidas correctivas e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Propor, no caso de ainda não existir, um sistema organizado de gestão de energia.

Para a execução de uma auditoria energética, tem uma importância decisiva a definição e o estabelecimento da sequência das acções que possibilitem obter um conhecimento profundo da instalação analisada, de modo a detectar, quantificar e tentar corrigir as perdas de energia existentes.

O faseamento de uma auditoria depende do seu âmbito, assim como da dimensão e do tipo das instalações a auditar. Duma maneira geral pode-se considerar as seguintes fases:

- *Planeamento*
- *Trabalho de campo*
- *Tratamento da informação*
- *Elaboração do relatório com formulação de recomendações.*

1.3.1 - Planeamento

A fase de planeamento de uma auditoria reveste-se de grande importância, constituindo uma etapa decisiva para a qualidade do trabalho a desenvolver. Entre as diversas tarefas a realizar nesta fase, destacam-se o estabelecimento de objectivos, a selecção da equipe auditora e a atribuição das devidas responsabilidades.

Deve começar-se por reunir alguma informação da empresa, enviando um questionário para preenchimento, que normalmente é completado com uma visita prévia às instalações. Estas informações vão servir para prever a duração da auditoria, a especialização da equipe auditora e o equipamento de medida necessário.

Durante a visita prévia devem esclarecer-se dúvidas relativas ao questionário e efectuar uma visita às instalações para reconhecimento das mesmas, podendo então estabelecer-se a duração da auditoria. Deve-se também identificar a informação a obter (facturas energéticas) e a existência ou não de pontos de medição.

1.3.2 - Trabalho de Campo

Já nas instalações fabris e sempre que tal seja necessário, a equipa de auditores deverá começar por completar e corrigir a informação previamente solicitada à empresa.

Como já foi dito anteriormente, a realização de uma auditoria energética pressupõe o conhecimento correcto da estrutura dos consumos de energia da instalação auditada, dos consumos típicos globais e de cada um dos equipamentos que a utilizam. Assim, os fluxogramas surgem como uma ferramenta essencial no estudo do processo produtivo que permite saber onde e como são utilizadas as formas de energia consumidas.

Esta fase compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, começando por fazer todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia, analisando as operações ou os equipamentos mais consumidores de energia. O auditor deve também familiarizar-se com o processo de fabrico e as tecnologias que a ele estão associadas.

A experiência mostra que a maioria das empresas não dispõe ainda de instrumentação de medida adequada à realização das medições e registos necessários. Para além disso, quando existe, a instrumentação instalada tem por vezes uma precisão desconhecida ou duvidosa. Torna-se assim indispensável recorrer ao uso de instrumentos de medida portáteis.

Nesta fase devem-se recolher todos os elementos necessários para a elaboração de um balanço global à instalação e quando existirem equipamentos grandes consumidores de energia deve também fazer-se um balanço de massa e energia a esses equipamentos, com o intuito de determinar a quantidade de energia consumida, tendo em vista a sua regulação, controlo e manutenção mais adequada, assim como a implementação de sistemas de recuperação de energia.

O levantamento dos dados energéticos é agrupado por secções de equipamentos e estabelecem-se os diagramas de fluxo quantificando os fluxos de massa e energia.

A eficácia da auditoria depende fortemente da qualidade do trabalho desenvolvido nesta fase. Para além de uma formação na área da energia, a intervenção no local exige um conhecimento mais ou menos profundo dos processos produtivos a analisar e das tecnologias de processo disponíveis. O trabalho de campo requer ainda, acima de tudo, uma atenção permanente da parte do auditor, de modo a que todas as situações passíveis de correcção sejam detectadas.

A duração do trabalho de campo pode ser de uma a duas semanas dependendo da profundidade da auditoria.

1.3.3 - Tratamento da informação

Após a intervenção no local, os auditores deverão organizar e tratar toda a informação recolhida ao longo das duas primeiras fases. O tratamento da informação deve privilegiar a produção de um conjunto de indicadores e outros resultados, de natureza quantitativa, susceptíveis de permitir uma avaliação rigorosa do desempenho energético da instalação.

A equipe de auditores deverá realizar os cálculos dos consumos específicos de energia por equipamento, por produto, por sector produtivo e o global da instalação. Serão também determinadas as eficiências energéticas dos equipamentos maiores consumidores de energia, que deverão ser analisadas criticamente e comparadas com os equipamentos comercializados que apresentem bons rendimentos. O valor do consumo específico de energia, sempre que possível, deverá ser comparado com o consumo específico de referência definido para o ramo de actividade em causa.

Será necessário analisar detalhadamente o processo de fabrico no sentido de verificar a correcção dos procedimentos e identificar possíveis alterações que conduzam a um incremento da eficiência energética sem colocar em causa os níveis de produção e a qualidade dos mesmos.

Detectadas as situações de má utilização de energia, o auditor estudará as possíveis soluções a implementar para corrigir as anomalias. Deverá ser realizada uma análise técnico-económica a todas as soluções que eventualmente possam ser implementadas e quantificadas as potenciais economias de energia.

1.3.4 - Elaboração do Relatório Final

Findo todo este processo, torna-se necessário elaborar um relatório onde conste de forma organizada toda a informação recolhida, a análise sobre a situação energética da empresa, as situações encontradas, a identificação das anomalias e propostas as medidas consideradas mais convenientes para as anular ou diminuir. Este documento deverá apresentar aos gestores da empresa, de uma forma organizada, clara e concisa, toda a informação relevante sobre a situação energética da instalação.

Ao elaborar o relatório, o auditor deverá ter presente a ideia de que a *auditoria energética* constitui o primeiro passo para a implementação de um processo contínuo de gestão de energia.

O relatório final deverá conter um sumário executivo, apresentando desde logo uma síntese dos resultados alcançados e a formulação de recomendações. Desta forma permite ao leitor ter uma visão global do conteúdo do relatório.

A estrutura de um relatório de auditoria é necessariamente afectada pelas características específicas do subsector de actividade e da instalação auditada, devendo constar os seguintes elementos:

-
- Objectivos e enquadramento da auditoria;
 - Identificação da instalação;
 - Contabilidade energética;
 - Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;
 - Cálculo de consumos específicos de energia por produto fabricado e a sua comparação com os valores legislados.

A título de exemplo, apresenta-se de seguida o índice do relatório de uma *auditoria energética* a uma empresa industrial.

SUMÁRIO

1 - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

1.1 - FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

1.2 - RESENHA HISTÓRICA

1.3 - PROCESSO PRODUTIVO

1.3.1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO

1.3.2 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

1.4 - MATÉRIAS PRIMAS E MATERIAIS RECICLADOS

1.5 - FROTA DE TRANSPORTES

2 - CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA (ÚLTIMOS TRÊS ANOS)

2.1 - CONSUMOS E CUSTOS DE ENERGIA

2.2 - PRODUTOS FINAIS

2.4 - CONSUMOS ESPECÍFICOS DE ENERGIA

2.5 - ANÁLISE DA FACTURA ENERGÉTICA NOS CUSTOS DE EXPLORAÇÃO

2.6 - ANÁLISE DA INTENSIDADE ENERGÉTICA

3 - CONSUMOS E CUSTOS DE ENERGIA (ÚLTIMOS DOZE MESES)

3.1 - CONSUMOS E CUSTOS POR FORMA DE ENERGIA

4 - CONSUMOS ESPECÍFICOS DE ENERGIA MENSIS (ÚLTIMOS DOZE MESES)

4.1 - RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA E A PRODUÇÃO

4.2 - RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA E A PRODUÇÃO

5 - DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS POR SECTOR PRODUTIVO E SERVIÇOS AUXILIARES

6 - ANÁLISE DE ALGUNS EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS

7 - SERVIÇOS AUXILIARES

7.1 - SECTOR ELÉCTRICO

7.1.1 - ALIMENTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ELÉCTRICA

7.1.2 - ILUMINAÇÃO

7.1.3 - AR COMPRIMIDO

7.2 - SECTOR TÉRMICO

7.2.1. - PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR

8 - GESTÃO DE ENERGIA

9 - RESUMO DAS POTENCIAIS ECONOMIAS

10 - CONCLUSÕES

ÍNDICE DE FIGURAS E QUADROS

ANEXOS

1.4 - Meios Técnicos Utilizáveis

Como já foi referido anteriormente, o trabalho de campo compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, devendo ser efectuadas todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia.

Assim, a necessidade de determinar os consumos de energia sob diferentes formas, constitui um requisito básico para a realização de uma auditoria energética. Controlar os fluxos de energia que entram, circulam e saem da empresa é extremamente importante para quantificar as perdas de energia.

As diversas formas de energia adquiridas pela empresa auditada são conhecidas, uma vez que são medidas e facturadas pela empresa fornecedora. No entanto a desagregação dos consumos por utilização, secção ou equipamento e a avaliação das perdas de energia necessita ser contabilizada, ou seja, medida.

Para cada situação de medição existem diversas soluções, mas para que a escolha da mais apropriada é imprescindível conhecer as possibilidades e as características dos equipamentos de medição.

Constatando que normalmente as empresas não dispõem de equipamentos de medição/contadores, são utilizados equipamentos portáteis de medição de gases, temperatura, humidade, rotação, grandezas eléctricas, etc.

São apresentados os equipamentos típicos minimamente exigidos para a recolha de dados sobre o consumo energético de um ou de um conjunto de equipamentos produtivos. Os exemplos aqui apresentados poderão não corresponder aos equipamentos mais aconselhados em termos de marca comercial, pela sua relação preço/qualidade, mas são aqueles que o formador mais conhece na sua vida profissional, quer em termos de funcionamento quer em termos das suas capacidades funcionais.

Portanto, o que é importante reter, é que se o equipamento a utilizar ou a adquirir tiver capacidades funcionais idênticas aos apresentados, é garantida a qualidade mínima para a obtenção de parâmetros necessários para a elaboração de uma auditoria energética.

1.4.1 - Grandezas Eléctricas



Um analisador de energia eléctrica é um equipamento que permite medir um conjunto de parâmetros que definem um sistema eléctrico. Existem vários tipos, cada um com o seu princípio de funcionamento, mas basicamente todos apresentam o mesmo resultado final. São equipamentos portáteis, fáceis de transportar devido às suas dimensões e peso, e de fácil utilização. Possuem três pinças amperimétricas e quatro cabos

medidores de tensão, que permitem fazer as leituras dos diferentes parâmetros eléctricos entre as fases.

Existem modelos de analisadores de energia eléctrica que permitem registos dos valores instantâneos, médios e máximos em intervalos de tempo definidos pelo operador, relativos às tensões, correntes, factores de potência ($\cos \varphi$), potências activas, reactivas e aparentes, e consumos quer por fase quer entre fases. Possuem uma impressora que fornece ao operador, dados por ele solicitados, por etapas, ou na globalidade se o aparelho possuir uma memória que lhe permita não só armazenar informação como também o tratamento gráfico dos parâmetros desejados em qualquer folha de cálculo.

Existem modelos que, para além dos valores, a impressora possibilita a construção de gráficos de análise dos resultados medidos.

Em alguns modelos é também possível medir e analisar as distorções provocadas pelas harmónicas introduzidas por certas cargas na rede eléctrica.

Os analisadores de energia eléctrica, são instrumentos que poderão servir de apoio ao gestor de energia, devido à informação por ele fornecida, permitindo tirar conclusões relativamente às grandezas eléctricas características de um circuito eléctrico de uma instalação ou equipamento, como por exemplo: o factor de potência, o diagrama de carga, o índice de carga dos transformadores, o equilíbrio entre fases, etc.

1.4.2 - Gases de Combustão

A análise de gases de combustão é utilizada como método de controlo de algumas variáveis e parâmetros de operação de geradores de calor, tais como: excesso de ar, emissões gasosas, caudal de gases (cálculo), rendimento de combustão, etc.

Os poluentes contidos nos gases de combustão podem ser efectivamente reduzidos se os equipamentos operarem o mais eficientemente possível ou as caldeiras nocivas saírem de serviço. A análise dos gases de combustão permite determinar as concentrações dos poluentes e ajustar as instalações produtoras de energia térmica para a máxima eficiência.

As condições ambientais severas a que poderão estar sujeitos estes equipamentos e a necessidade que funcionem sem ligação à corrente eléctrica (220V), obriga à solicitação de elevados níveis de conhecimentos técnicos para a sua concepção.

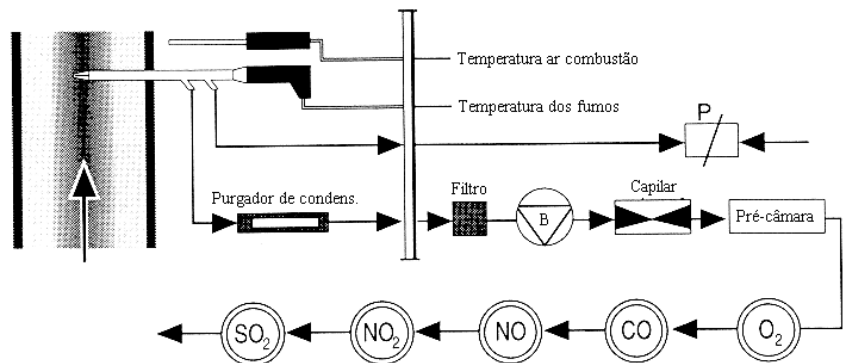


Os analisadores de gases de combustão devem ser compactos, leves, de fácil transporte e de fácil utilização e ainda mais importante, os valores devem ser rapidamente medidos/determinados e com baixo consumo de energia. Naturalmente, a sua manutenção deverá ser mínima e de baixo custo e a assistência técnica deverá existir e ser rápida.

Deverá ser exigido um certificado de calibração assim como o manual de utilização, em Português, no qual deverão constar as fórmulas de cálculo utilizadas pelo aparelho.

Na ilustração seguinte é apresentado um esquema simplificado de um analisador de gases de combustão.

Em termos simples o seu funcionamento consiste em aspirar os gases de combustão pela bomba P e passa através do purgador de condensados de modo a evitar a degradação das células de medida. O termopar colocado na sonda de aspiração de gases mede a temperatura dos gases de combustão.



1.4.3 - Temperaturas, Humidade, Pressão, etc.

A temperatura é a unidade física medida com mais regularidade, por diferentes métodos. A escolha do transdutor apropriado depende basicamente dos seguintes factores: custo do sistema, a precisão requerida, o tempo de resposta e o alcance. A seguir, descrevem-se os transdutores mais comuns na indústria e os seus princípios básicos de funcionamento. Não são indicados aqui os diversos tipos e esquemas de indicação e transmissão dos sinais medidos.



Termopares

A medição da temperatura usando termopares é baseada no efeito termoelétrico. Uma intensidade de corrente percorrerá um circuito elétrico, se o condutor for composto por duas ligas diferentes os seus pontos de contacto estão a diferentes temperaturas.

Se for conhecida a temperatura de um ponto (ponto de referência), a “termo-voltagem” presente é a medida directa da diferença da temperatura entre o ponto de medida (terminal quente) e o ponto de referência (terminal frio).

Termoresistência (Pt100)

Este tipo de sensor é baseado no princípio da variação directa da resistência eléctrica do material com a temperatura. Os metais mais usados nestes dispositivos variam desde a platina que é muito reprodutível, bastante sensível e muito cara, ao níquel que não é tão reprodutível, é mais sensível e menos caro.

Um padrão aplicado bastantes vezes estabelece a resistência, à temperatura de 0°C, em múltiplos de 100 Ω; daí a denominação de Pt100. O sensor de Platina é considerado o mais exacto entre os sensores de temperatura.

A gama de utilização depende naturalmente do tipo de fio usado como elemento activo. Assim um sensor de Platina, típico, tem uma gama de -200°C a +600°C, enquanto que um construído em níquel pode ter uma gama de -180°C a +300°C.

Termistor

Os termistores são recentes, de baixo custo e fabricados a partir de semicondutores, sendo vulgares os discos, contas e varetas variando em tamanho desde uma conta de 1mm de diâmetro a um disco de vários centímetros de diâmetro e vários centímetros de espessura. O princípio de funcionamento é idêntico aos Pt100, ou seja, a resistência do material varia com a temperatura, mas neste caso, varia inversamente: quando aumenta a temperatura diminui a resistência.

Este tipo de sensor não necessita de um ponto para a temperatura de referência como no caso dos termopares, o que permite um tempo de resposta mais rápido quando há alterações bruscas da temperatura.

Termómetros sem contacto (infravermelhos)

Este tipo de aparelhos de medida medem a temperatura de um objecto sem contacto, medindo a quantidade de radiação infravermelha emitida. O aparelho possui um filtro especial que elimina as interferências do vapor de água e do dióxido de carbono existentes na atmosfera, e um conjunto de ópticas que direccionam os raios infravermelhos para um detector que por sua vez gera uma tensão directamente proporcional à quantidade de energia infravermelha recebida.

Emissividade

A radiação infravermelha é emitida por todos os objectos na proporção da sua temperatura absoluta elevada à quarta. Um radiador perfeito, denominado Corpo Negro, é definido como um objecto que radia a máxima quantidade de radiação infravermelha para uma determinada temperatura (a cor de um Corpo Negro não tem que ter obrigatoriamente uma aparência negra).

A razão entre a quantidade de energia emitida por um objecto e a energia emitida pelo Corpo Negro é denominada emissividade (ϵ). Um Corpo Negro tem emissividade 1 e naturalmente todos os outros objectos têm uma emissividade menor que 1.

HUMIDADE

A água é omnipresente no ambiente, nos materiais sólidos e mesmo nos líquidos. A presença de vapor de água no ar atmosférico tem uma influência sobre o comportamento de um elevado número de materiais ditos higroscópicos, donde o teor de água depende directamente da humidade contida no ar ambiente, como sejam os casos da madeira, do papel, das fibras têxteis, dos produtos alimentares, etc.

As constantes melhorias nos processos técnicos, na qualidade e no menor consumo de energia, requerem processos de medida precisos, estáveis e de baixo custo para a medição da humidade relativa, ponto de orvalho e humidade absoluta.

Normalmente para a determinação da humidade específica ou o ponto de orvalho do ar ou de um gás, ou outras variáveis associadas à medição da humidade relativa, é necessário consultar um diagrama de MOLLIER ou carta psicrométrica. No entanto, já existem equipamentos que contêm todos os parâmetros do diagrama de Mollier contidos em memória e portanto, fornecem ao operador todos os dados instantaneamente.

CAUDAIS

Caudal mássico ou volumétrico é a quantidade de material em massa ou em volume que atravessa uma dada secção por unidade de tempo.

Medidas directas de caudal mássico de fluidos são raramente realizadas industrialmente, sendo geralmente inferidas, entre outras formas, das medidas de caudais volumétricos. Mesmo estes são normalmente inferidas através da medida do diferencial de pressão, da velocidade, da área, entre outras, e devendo-se ainda levar em conta as propriedades do fluido, como densidade, viscosidade, etc.

Os medidores de caudal mais vistos na indústria podem ser divididos em dois grupos:

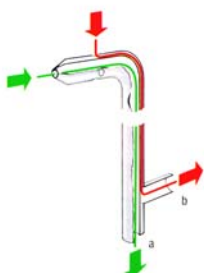
- medidores de caudal por diferencial de pressão;
- medidores de caudal por velocidade;

Em seguida são descritos os procedimentos de utilização dos principais tipos destes equipamentos de medida.

Medição de caudal através da pressão diferencial

São instrumentos que se utilizam da queda de pressão provocada pela passagem do fluido, através de um dispositivo de geometria conhecida como parâmetro de medida. Essa queda de pressão é função do caudal que passa pelo dispositivo. Os seguintes factores devem ser levados em conta na selecção dos medidores de caudal por pressão diferencial: características do fluido, impurezas ou materiais em suspensão, viscosidade, incrustação, erosão, perda de carga possível, características da instalação, troço recto da tubagem, precisão necessária, considerações económicas etc.

Tubo de Pítot



Este instrumento é muito utilizado para medir caudais de gases em tubagens industriais e em sistemas de ventilação.

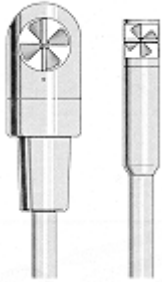
Consta basicamente de um tubo metálico dobrado em forma de "L", cuja perna maior é ligada a um manómetro diferencial do tipo em "U" ou "poço". A outra extremidade deste manómetro é ligada a um orifício localizado na parede da tubagem e que tem por finalidade tomar a pressão estática.

Outro tipo de Pitot, mais usado actualmente, possui as duas tomadas de pressão embutidas numa única unidade, sendo esta sonda constituída de dois tubos concêntricos de modo que o tubo externo toma a pressão estática e o interno mede a pressão total.

Medição de caudal através da velocidade

Estes instrumentos funcionam de modo linear ao volume do escoamento. Como neste caso não existe a premissa de que a queda de pressão no instrumento é proporcional ao quadrado da velocidade do escoamento, a “rangebilidade” é maior.

Anemómetro de turbina



O princípio de funcionamento desta sonda é baseado na conversão do movimento rotativo em impulsos electrónicos. A passagem do escoamento faz girar a turbina e a existência de um interruptor indutivo “conta” as rotações da turbina, originando uma série de impulsos que são convertidos pela unidade de medida num valor de velocidade.

O erro causado pelo atrito do eixo no início da medida é corrigido electronicamente.

Anemómetro térmico

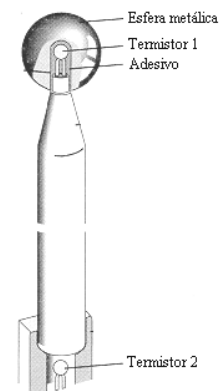
Este sensor para medição da velocidade dum fluido gasoso, compreende uma esfera de alumínio que contém um termistor (1) que é aquecido até 100°C por uma corrente eléctrica. O calor gerado é dissipado uniformemente na esfera de alumínio que é arrefecida pela corrente de ar a medir que por sua vez provoca o aumento da resistência do termistor (1).

Um interruptor regula a resistência eléctrica do termistor de tal modo que a temperatura do termistor (1) se mantenha constante.

A variação de corrente eléctrica para manter o termistor (1) à temperatura constante de 100°C corresponde a uma velocidade indicada no aparelho de medida.

O segundo termistor (2) é para compensar a temperatura do sinal do primeiro termistor.

Uma vez que este sensor mede em qualquer direcção do escoamento, é usado quando não se conhece a direcção do escoamento.



1.5 - Conclusões

Por tudo o exposto anteriormente poderá afirmar-se que uma *auditoria energética* é um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afectar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma.

Qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. O princípio é óbvio - para gerir é indispensável conhecer o objecto de gestão. Através da auditoria energética o gestor de energia poderá planear a concretização de medidas que induzirão a economias de energia.

As economias de energia possíveis de realizar pela implementação de medidas conducentes à racionalização dos consumos, conduzem a benefícios que se repercutem ao nível macroeconómico, através da diminuição de saída de divisas e de toda a dependência energética e, de forma imediata e directa, ao nível do consumidor, com as seguintes vantagens:

- Conhecimento profundo das instalações e do custo energético de cada fase, processo ou sistema;
- Aumento da eficiência do sistema energético;
- Redução da factura energética;
- Aumento da competitividade no mercado interno e externo ou aumento de disponibilidade de meios para outros fins;

2 - Análise de Facturas de Energia Eléctrica

Indicam-se neste capítulo, de forma reduzida e não exaustiva, algumas constatações que poderão fazer-se com base na análise das facturas eléctricas, tendo em vista a economia de energia e/ou redução da factura eléctrica. Preferivelmente estas constatações deverão ser conjugadas com a análise de outros dados disponíveis, quando os houver (diagramas de carga, medições de consumos de sectores produtivos e evolução da produção ao longo do período coberto pelas facturas).

A análise das facturas eléctricas serve essencialmente para: verificar se a opção tarifária da empresa é a melhor; analisar a distribuição dos consumos por horas cheias, vazio e pontas; se existe pagamento de energia reactiva ou não; e a evolução da potência em Horas de ponta e da potência contratada.

O tarifário de energia eléctrica para o ano 2002 introduziu alterações importantes ao nível do cálculo de termo de potência, com cinco modificações de relevo:

- Criação da Potência em Horas de Ponta
- Alteração dos preços e da relação entre potências
- Aumento do termo de potência
- Automatiza a descida da Potência contratada
- Criação do termo fixo

De entre estas alterações, a primeira, ou seja, a introdução da Potência em Horas de Ponta que, de algum modo, substitui no tarifário anterior a Potência Tomada, constitui a modificação de maior impacto.

A estrutura da factura eléctrica continua a basear-se na separação entre uma parcela que paga a energia e uma parcela associada à potência. No tarifário em vigor foi criado um termo adicional, designado por termo fixo, mas que tem muito pouca importância em termos de peso na factura final.

A parcela de energia mantém uma estrutura de cálculo baseada na multiplicação do preço do kWh pelo consumo, desagregado por períodos tarifários (ponta, cheia, vazio e super-vazio).

A parcela de potência sofre alterações metodológicas, sendo-lhes dedicada uma atenção mais profunda.

2.1 - Parcela de energia

A energia activa consumida em Média Tensão poderá ser facturada em três ou quatro períodos horários: horas de ponta, horas cheias, horas de vazio normal e horas de super vazio. Existe ainda a distinção entre consumos em quatro períodos anuais: Período I (1 de Janeiro a 31 de Março), Período II (1 de Abril a 30 de Junho), Período III (1 de Julho a 30 de Setembro) e Período IV (1 de Outubro a 31 de Dezembro). Os períodos I e IV correspondem ao anterior período húmido, e os períodos II e III ao anterior período seco.

Nos quadros seguintes apresentam-se os horários para os diferentes períodos tarifários para a opção tarifária de ciclo diário e ciclo semanal.

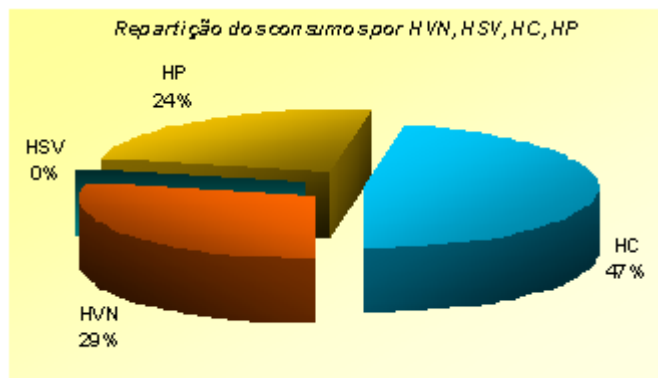
Ciclo Semanal

Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
Segunda a Sexta-feira	Segunda a Sexta-feira
Ponta: 09.30/12.00h 18.30/21.00h	Ponta: 09.15/12.15h
Cheias: 07.00/09.30h 12.00/18.30h 21.00/24.00h	Cheias: 07.00/09.15h 12.15/24.00h
Vazio: 00.00/07.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/07.00h Super vazio: 02.00/06.00h	Vazio: 00.00/07.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/07.00h Super vazio: 02.00/06.00h
Sábados	Sábados
Cheias: 09.30/13.00h 18.30/22.00h	Cheias: 09.00/14.00h 20.00/22.00h
Vazio: 00.00/09.30h 13.00/18.30h 22.00/24.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/09.30h 13.00/18.30h 22.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h	Vazio: 00.00/09.00h 14.00/20.00h 22.00/24.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/09.00h 14.00/20.00h 22.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h
Domingos	Domingos
Vazio: 00.00/24.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h	Vazio: 00.00/24.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h

Ciclo Diário

Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
Ponta: 09.30/11.30h 19.00/21.00h	Ponta: 10.30/12.30h 20.00/22.00h
Cheias: 08.00/09.30h 11.30/19.00h 21.00/22.00h	Cheias: 09.00/10.30h 12.30/20.00h 22.00/23.00h
Vazio: 22.00/08.00h Vazio normal: 22.00/02.00h 06.00/08.00h Super vazio: 02.00/06.00h	Vazio: 23.00/09.00h Vazio normal: 23.00/02.00h 06.00/09.00h Super vazio: 02.00/06.00h

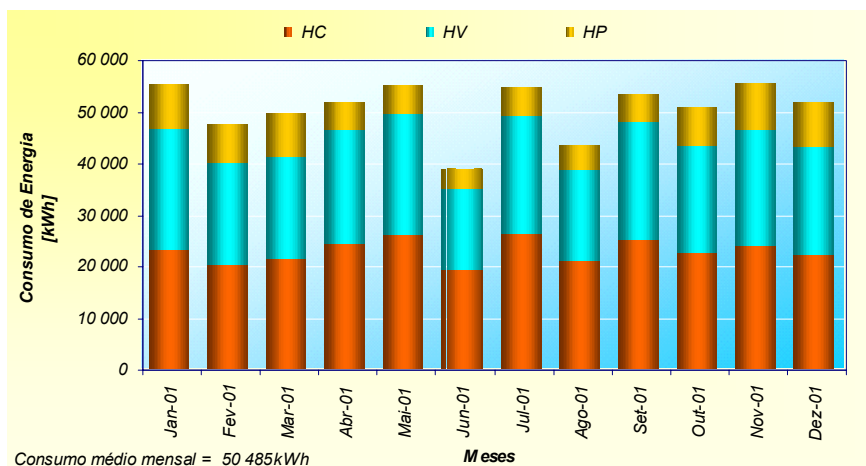
Os valores de consumo de energia activa nos diversos períodos diários, conjugados com a análise do tipo de processo/laboração/organização da empresa, podem sugerir medidas destinadas a reduzir custos energéticos. Na figura seguinte podemos observar um exemplo da distribuição dos consumos de energia activa de uma empresa pelos quatro períodos horários diários.



Por vezes, consumos substanciais podem ser transferidos das horas de ponta para as horas cheias ou de vazio.

Se existirem grandes diferenças nas percentagens mensais de energia consumida nestes três ou quatro períodos, essa circunstância pode dever-se a exigências da laboração ao longo do ano. Mas pode também significar falta de controlo em relação à forma como a energia é consumida.

A transposição para forma gráfica dos valores dos consumos das facturas de energia eléctrica, ao longo de doze meses, constitui uma espécie de diagrama de cargas anual. A sua evolução pode confirmar alterações significativas nas instalações ou no ritmo de laboração, ou ainda anomalias e irregularidades no processo de fabrico.



No que respeita à energia, a estrutura de cálculo do novo tarifário de 2002 mantêm-se, mas os preços alteram-se de forma não idêntica. Assim, na média tensão a subida é próxima de 1% nas horas de ponta e vazio e 3% nas horas cheias, enquanto que na alta tensão verifica-se uma descida na ordem dos 7%.

2.2 - Parcela de Potência

A situação de mínimo custo é a absoluta concordância entre a Potência Contratada e a Potência Tomada, devendo ambas ter o mínimo valor possível.

A solução mais adequada será a da determinação da potência mínima a contratar (PC), assegurando que não é tomada uma potência superior a esta.

Se nas facturas existirem discrepâncias significativas entre cada mês na PC e PT, dever-se-á analisar hipóteses de medidas a tomar, como sejam o controle de pontas, o deslastres de cargas, etc.

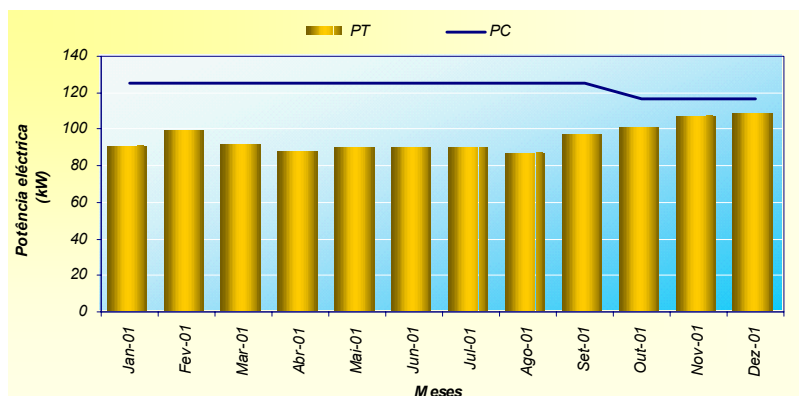
Estrutura tarifária em 2001

No ano 2001 e anteriores, a parcela de potência baseava-se na determinação de uma Potência a Facturar, P_f , calculada com base na ponderação de 0.8 sobre a Potência Tomada e 0.2 sobre a Potência Contratada:

$$P_f = 0.8x P_t + 0.2x P_c$$

A parcela de potência era então calculada pela multiplicação de um preço do kW pela Potência a Facturar. Por exemplo, no típico contrato de média tensão e média utilização, a Potência a Facturar custava 817\$/ Kw (4,075 €/kW). Tendo em consideração os factores 0.8 e 0.2, resulta um preço da Potência Tomada de 653\$/kW (3,260 €) e da Potência Contratada de 163\$/kW (0.815 €/kW).

Se as facturas de mais de doze meses mostrarem que o consumidor está com uma potência tomada muito abaixo do valor da potência contratada, deverá pedir a redução desse valor, como se pode verificar pela análise da figura seguinte.



A estrutura tarifária em 2002

No ano 2002 a parcela de potência sofre uma alteração significativa. A Potência Contratada mantém-se, embora com alterações na sua avaliação, mas a Potência Tomada dá agora lugar à Potência em Horas de Ponta (PHP). Em sequência, o tarifário apresenta agora 2 preços da potência, conforme se ilustra na tabela seguinte.

Tipo de tarifa	Tipo de Potência	Média Tensão	Alta Tensão
Longa	Em Horas de Ponta	7.339 €/kW	4.454 €/kW
	Contratada	1.093 €/kW	0.901 €/kW
Média	Em Horas de Ponta	7.712 €/kW	4.600 €/kW
	Contratada	0.708 €/kW	0.606 €/kW
Curta	Em horas de Ponta	11.285 €/kW	16.169 €/kW
	Contratada	0.249 €/kW	0.309 €/kW

Definição da Potência em Horas de Ponta

A Potência em Horas de Ponta corresponde ao quociente mensal entre a energia activa consumida em horas de ponta e o número de horas de ponta para o mesmo período.

A Potência em Horas de Ponta irá assumir valores inferiores aos registados pela Potência Tomada, isto porque enquanto que esta potência se baseava em períodos de 15 minutos, a Potência em Horas de Ponta dilui-se por cerca de 120 horas/mês. Por exemplo, da análise de facturas de clientes típicos, conclui-se que a Potência em Horas de Ponta é cerca de metade do respectivo valor de Potência Tomada, variando esta fracção entre 0.38 e 0.71.

Alterações na Potência Contratada

A Potência Contratada passou a ser calculada pela máxima Potência Tomada nos últimos 12 meses. Tal traduz-se numa correcção automática completa, enquanto que no anterior tarifário a correcção automática só ocorria quando a Potência Contratada aumentava, ficando a cargo do cliente a sua correcção para um menor valor, por solicitação à EDP.

Como se pode observar da tabela acima apresentada, a Potência Contratada perde importância. Regressando ao exemplo do contrato em média tensão e média utilização, a Potência Contratada custa agora 0.708 €/kW, enquanto que no ano 2001 custava 0.815 €/kW, sendo esta descida mais expressiva em curtas utilizações.

2.3 - Opção Tarifária

Em cada nível de tensão são postas à disposição dos consumidores diversas opções tarifárias, sendo para cada uma delas impostos limites da potência contratada.

No quadro seguinte apresentam-se as opções tarifárias disponíveis.

Nível de Tensão	Limites da Potência Contratada	Opções Tarifárias	Potência e Termo Tarifário Fixo (1)	Energia Activa		Energia Reactiva (4)	
				Períodos Trimestrais (2)	N.º Períodos Horários (3)	Fornecida pela rede	Fornecida à rede
Baixa Tensão	1,15 a 2,3 kVA	Tarifa Social	a	-	1	-	-
	1,15 a 20,7 kVA	Tarifa Simples	a	-	1	-	-
	3,45 a 20,7 kVA	Tarifa Bi-Horária	a	-	2	-	-
	27,6 a 41,4 kVA	Tarifa Simples	a	-	1	-	-
	27,6 a 41,4 kVA	Tarifa de Médias Utilizações	a	-	3	-	-
	27,6 a 41,4 kVA	Tarifa de Longas Utilizações	a	-	3	-	-
	3,45 a 20,7 kVA	Tarifa Sazonal Simples	a	-	1	-	-
	3,45 a 20,7 kVA	Tarifa Sazonal Bi-Horária	a	-	2	-	-
	3,45 a 41,4 kVA	Tarifa Sazonal Tri-Horária	a	-	3	-	-
	> 41,4 kW	Tarifa de Médias Utilizações	x	-	3	x	x
> 41,4 kW	Tarifa de Longas Utilizações	x	-	3	x	x	
-	Tarifa de Iluminação Pública	-	-	1	-	-	
Média Tensão		Tarifa Tri-horária					
		Curtas Utilizações	x	x	3	x	x
		Médias Utilizações	x	x	3	x	x
		Longas Utilizações	x	x	3	x	x
		Tarifa Tetra-horária					
		Curtas Utilizações	x	x	4	x	x
Alta Tensão	≥ 6 MW	Tarifa de Curtas Utilizações	x	x	4	x	x
	≥ 6 MW	Tarifa de Médias Utilizações	x	x	4	x	x
	≥ 6 MW	Tarifa de Longas Utilizações	x	x	4	x	x
Muito Alta Tensão	≥ 25 MW	Tarifa única	x	x	4	x	x

A opção tarifária adoptada pelas empresas nem sempre é a que minimiza os custos da factura de energia eléctrica, como tal também deverá fazer-se uma análise deste factor.

Uma ou mais facturas de energia eléctrica fornecem os elementos necessários que permitem apurar se esta situação se verifica ou não.

Em geral, para verificar se a opção tarifária é a ideal para a empresa consumidora basta considerar os valores dos consumos registados nas facturas e recalculer a quantia a pagar, substituindo os preços unitários pelos seus correspondentes de outras opções tarifárias.

2.4 - Factor de Potência

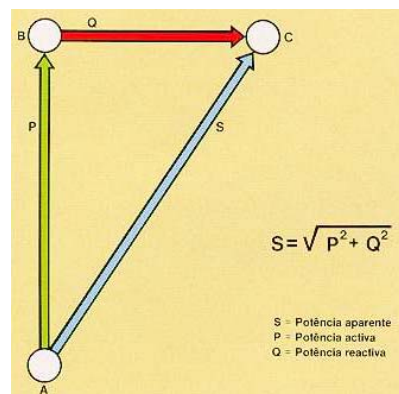
Determinado tipo de equipamentos eléctricos necessitam, para poderem trabalhar, de uma forma de energia eléctrica que não produz trabalho - é a chamada *energia reactiva*.

Um motor eléctrico, por exemplo, quando é posto em funcionamento sem carga consome quase exclusivamente energia reactiva. À medida que se vai aplicando carga ao seu veio, aumenta o consumo de energia activa, mas o consumo de reactiva, mantém-se quase inalterado.

Numa unidade industrial os grandes responsáveis pelo consumo de energia reactiva são:

- Motores eléctricos;
- Transformadores e máquinas para soldadura eléctrica;
- Balastros;
- Fornos de indução.

A relação entre a potência (energia por unidade de tempo) activa e reactiva pode representar-se por um triângulo rectângulo:



A potência **P** é a componente útil da potência **S**. A potência **Q** serve apenas para permitir que **P** origine trabalho. No entanto, a potência **S** representa a carga que efectivamente é apresentada a todo o sistema de produção e transporte de energia eléctrica.

Do triângulo concluiu-se que mantendo constante o valor de **P**, quanto menor for **Q** menor será **S**.

Recordando que:

- **P** é responsável pelo trabalho realizado pela energia eléctrica dentro da fábrica;
- **S** é responsável pela carga do gerador e sistema de transporte dessa energia,

Facilmente se compreende que a situação ideal corresponde a **S=P**, isto é **Q=0**.

Anular **Q** não é possível. Pode no entanto criar-se artificialmente uma potência reactiva de sinal contrário através da introdução de condensadores.

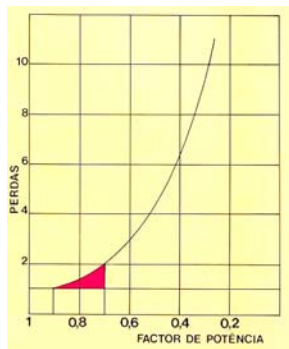
Isto significa compensar a potência reactiva, anulando o seu efeito para fora da fábrica. Compreende-se então que a energia reactiva se não for compensada pelo utilizador seja facturada pela EDP.

Para valores de $\cos \phi$ inferiores a 0,93 a potência reactiva é superior a 40% da potência activa. O valor da potência aparente aumenta rapidamente, e assim, aumentam as perdas nos condutores. Para que essas perdas se mantenham dentro de certos limites, a EDP impôs um valor (0,93) como limite inferior para o factor de potência, a partir do qual a energia reactiva é taxada.

2.4.1 - Efeitos da energia reactiva nas redes eléctricas.

Os consumos excessivos de energia reactiva, determinados por baixos valores do factor de potência, apresentam inconvenientes diversos que se traduzem geralmente em piores condições de exploração da instalação, das quais se destacam:

- **Aumento das perdas na rede**



As perdas na rede são proporcionais ao quadrado da corrente (I) e não apenas à componente activa da corrente (I_a).

Na figura ao lado podemos observar como variam as perdas em linha com o $\cos \phi$ para uma mesma potência activa transportada. Quando o factor de potência passa de 0,7 para 0,93 as perdas reduzem-se para metade.

- **Redução da vida útil dos equipamentos**

A ocorrência de sobrecargas frequentes provoca o aquecimento excessivo nos dispositivos de comando e protecção das redes eléctricas, encurtando a sua duração e comprometendo a segurança das instalações.

- **Penalizações tarifárias**

Para satisfazer os pedidos de energia reactiva, a empresa produtora (EDP) tem de proceder a investimentos suplementares ao nível da produção e distribuição, que necessariamente se repercutem em condições tarifárias mais gravosas para os consumidores.

- **Substituição da capacidade instalada**

A energia reactiva, ao sobrecarregar uma instalação eléctrica de baixo factor de potência inviabiliza a sua plena utilização, condicionando futuras aplicações. A entrada em funcionamento de novos equipamentos pode implicar investimentos vultuosos, que seriam certamente evitáveis se o factor de potência apresentasse valores suficientemente altos para reduzir significativamente o pedido de energia reactiva à rede. Os investimentos referidos reportam-se normalmente às seguintes situações:

- **Transformadores de maior potência que o necessário**

Podemos observar na tabela seguinte a variação de potência do transformador que serve uma instalação de 800 kW em função do factor de potência respectivo:

Potência útil absorvida (kW)	Factor de potência	Potência dos transformadores (kVA)
800	0,5	1600
	0,8	1000
	1,0	800

- **Aparelhagem Sobredimensionada**

Toda a aparelhagem de comando, protecção e controlo.

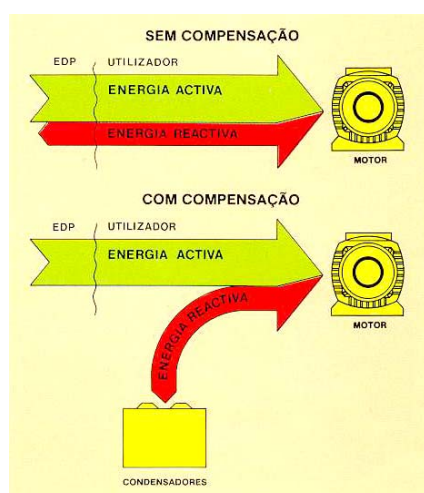
- **Cabos de maior secção**

Para transportar a mesma potência activa com o menor nível de perdas nos condutores, a secção destes tem de aumentar na proporção apresentada na tabela seguinte:

Secção Relativa	Factor de Potência
1.0	1.00
1.23	0.90
1.56	0.80
2.04	0.70
2.78	0.60
4.0	0.50
6.25	0.40
11.1	0.30

De acordo com a tabela anterior verifica-se que para um factor de potência à volta de 0.7, situação em muitas instalações industriais, a secção dos condutores necessita de ser dupla da necessária para um factor de potência unitário.

2.4.2 - Compensação do Factor de Potência



A compensação do factor de potência conduz a uma dupla redução com reflexos na factura de energia eléctrica, uma devido à diminuição das perdas de energia activa, e a outra resultante da redução significativa da energia reactiva.

A forma de limitar ou evitar a absorção de energia reactiva da rede, consiste em produzi-la dentro da própria instalação utilizando equipamentos adequados a esse fim, os *condensadores*.

Como se pode verificar através da figura seguinte tudo se passa como se a origem da energia reactiva, imprescindível ao funcionamento dos receptores, fosse desviada da rede de abastecimento para uma fonte interna.

Na realidade os condensadores ao compensarem a energia reactiva que os motores necessitam para poderem trabalhar estabelecem um equilíbrio semelhante aos pratos de uma balança.

Quando a laboração pára, se os condensadores não forem desligados, a situação de desequilíbrio inverte-se, aparecendo como que uma 'injecção' de energia reactiva na rede. Para manter o equilíbrio à que retirar também os condensadores de funcionamento, isto é, desligá-los.

O tarifário penaliza também esta "injecção" de energia reactiva por poder provocar aumentos indesejados na tensão da rede.

Por outro lado, à medida que a instalação fabril aumenta de complexidade, as necessidades de compensação não são constantes. Há que controlar permanentemente a quantidade de compensação de energia reactiva, introduzindo e retirando condensadores, por forma, a manter o factor de potência entre +0,93 e -0,93.

Isto implica que entre os condensadores e a rede eléctrica da fábrica se deve instalar equipamento de controlo dos condensadores.

Cálculo da Potência de Compensação

Considere-se uma instalação que absorve uma potência aparente S_1 , para alimentar uma potência activa de carga P_1 . O factor de potência da instalação será:

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

A potência reactiva é obtida através de :

$$Q_1 = P_1 \times \operatorname{tg} \phi_1$$

Se pretendermos compensar o factor de potência para um valor superior ($\cos \phi_2$), a potência reactiva correspondente a essa nova situação será:

$$Q_2 = P_1 \times \operatorname{tg} \phi_2$$

A diferença entre os dois valores será exactamente igual à potência que a fonte de energia reactiva (bateria de condensadores) terá que fornecer ao sistema. Designado esta potência por Q_c , virá:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \times (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2)$$

Formas de compensação

Tendo em conta a localização dos condensadores, a compensação do factor de potência poderá ser efectuada de diversas maneiras:

- **Individualmente**
- **Por grupos de receptores**
- **Globalmente**
- **Combinada, utilizando conjuntamente os métodos anteriores**

• Compensação Individual

A compensação individual é efectuada ligando os condensadores junto ao equipamento cujo factor de potência se pretende melhorar. Representa, do ponto de vista técnico a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- Reduz as perdas energéticas em toda a instalação, diminuindo os encargos com a energia eléctrica.
- Diminui a carga sobre os circuitos de alimentação dos equipamentos compensados.
- Melhora os níveis de tensão em toda a instalação.

No, entanto apresenta as seguintes desvantagens:

- As despesas de instalação são maiores do que nas outras opções.
- É difícil ajustar a potência de compensação de qualquer equipamento para as potências normalmente disponíveis no mercado.

• Compensação por Grupos Receptores

A bateria de condensadores é instalada de forma a compensar um sector, ou um conjunto de máquinas. É colocada junto ao quadro parcial que alimenta esses receptores.

A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, o que torna a instalação mais económica.

- **Compensação Geral**

A bateria de condensadores é instalada à saída do transformador se a instalação for alimentada em MT ou do Quadro Geral se a instalação for alimentada em BT.

Utiliza-se em grandes instalações eléctricas, com um grande número de receptores de potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes.

- **Compensação Combinada**

Em muitos casos, utilizam-se conjuntamente os diversos tipos de compensação.

2.4.3 - Conclusões

Podemos concluir que compensar o factor de potência diminui a factura de electricidade, reduz as perdas internas na rede, aumenta o tempo de vida útil dos equipamentos e melhora a estabilidade da rede interna.

A compensação da potência reactiva através da utilização de baterias de condensadores é rentável para o utilizador, apresentando o equipamento de compensação um período de recuperação do investimento efectuado relativamente curto.

3 - Balanços de Massa e de Energia

Para se saber como se está a utilizar a energia, qual o rendimento dos diversos equipamentos e quais as perdas verificadas, é fundamental proceder a medições, as quais conduzirão ao conhecimento de determinadas grandezas que irão aferir a maior ou menor eficácia com que se utiliza energia. A forma mais completa de ficar a conhecer um equipamento é efectuar um balanço mássico e energético, sendo o modo de o efectuar o objecto de estudo neste capítulo.

O balanço de energia tem o seu fundamento no princípio da conservação de energia, isto é: de toda a energia fornecida a um sistema, uma parte é acumulada no seu interior sob a forma de energia interna, e outra parte é dissipada para o exterior do sistema.

Analiticamente, podemos representar este princípio pela seguinte expressão:

$$E_e = E_c + E_d$$

E_e – energia fornecida ao sistema

E_c – energia acumulada no sistema

E_d – energia dissipada para o exterior do sistema

Em regime estacionário não há acumulação de energia no sistema, o que por outras palavras se pode dizer que toda a energia que entra é igual à energia que sai do sistema para um determinado intervalo de tempo. Logo, na expressão anterior, $E_c=0$ e que se traduz em:

$$E_e = E_d$$

O que significa que em regime estacionário não há alteração dos parâmetros de funcionamento do sistema ao longo do tempo. Ou seja, todos os caudais e temperaturas do sistema se mantêm constantes.

Esta definição de sistema estacionário é válida na prática apenas em termos médios. As situações a que um equipamento térmico está sujeito variam no tempo, de tal forma que, ao longo de um período suficientemente longo, os parâmetros médios de funcionamento se mantêm constantes.

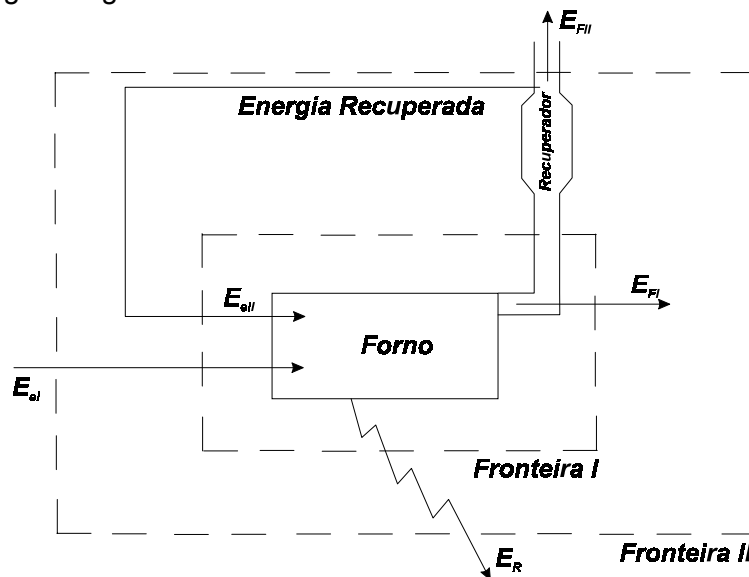
O regime estacionário assim definido é atingido, portanto, ao fim de um determinado tempo mais ou menos longo, após o arranque do equipamento. Depende também da estabilidade da produção nesse mesmo período de tempo.

Balço energético é então definido como o somatório da energia que entra no sistema e da energia que sai desse mesmo sistema, sendo o balanço térmico um caso particular do balanço de energia, onde apenas se contabiliza a energia térmica.

A primeira coisa que se deve fazer para elaborar um balanço de energia é definir a fronteira do sistema em relação ao qual se efectua a contabilização das entradas e saídas de energia.

Conhecida a fronteira do sistema, tudo o que passa no seu interior não interessa à realização do balanço, interessará apenas as quantidades de energia que atravessam essa fronteira num sentido ou no outro. É evidente que se se modificar a localização da fronteira do sistema o balanço é alterado.

Tome-se o exemplo simplificado de um forno e os seus recuperadores de calor dos fumos, como esquematizado na figura seguinte:



Se se fizer um balanço relativamente à *fronteira I*, ele refere-se apenas ao forno e é diferente do balanço relativamente à *fronteira II*, o qual inclui as trocas de energia no recuperador.

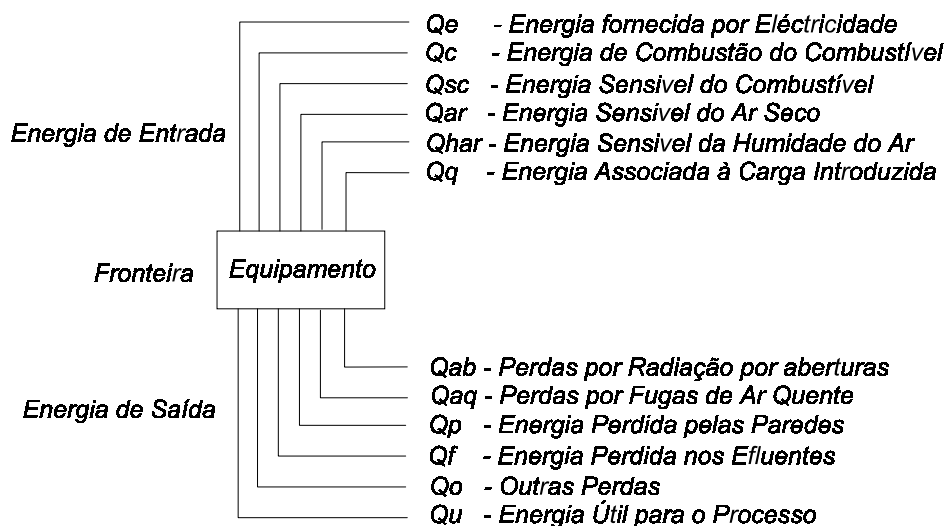
Analicamente temos então:

Fronteira I: $E_{el} + E_{eII} = E_R + E_{FI}$

Fronteira II: $E_{el} = E_R + E_{FII}$

Neste caso, $E_{FI} \neq E_{FII}$, que é a energia perdida através dos gases de combustão. Tornando-se assim, evidente a importância da definição da fronteira em relação à qual se faz o balanço de energia.

Em esquema pode definir-se um balanço de energia da seguinte forma:



Assim, em regime estacionário temos a seguinte expressão:

$$(Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_{ar} + Q_{har} + Q_q) - (Q_u + Q_f + Q_p + Q_{ab} + Q_{aq} + Q_o) = 0 \quad (1)$$

A temperatura de referência é um parâmetro que tem de ser definido no cálculo dum balanço de energia pois é em relação a ela que serão calculadas todas as parcelas de energia. Toma-se normalmente para temperatura de referência 0 °C.

Só pode haver trocas de energia se o fluído que transporta essa energia se encontrar a uma temperatura diferente da temperatura de referência. Assim, tendo em conta que na maior parte dos casos o ar de combustão entra à temperatura ambiente, para simplificar os cálculos, pode tomar-se a temperatura ambiente como de referência.

A realização dum balanço de energia implica a medição das diversas grandezas envolvidas, o que permite o cálculo das várias parcelas de energia. É evidente que estas parcelas serão calculadas com um determinado erro que, embora se tente minimizar através de medidas adequadas com bons equipamentos durante períodos suficientemente longos para garantir tanto quanto possível a estabilidade do sistema, toma sempre um valor significativo.

Assim, o 2º membro da equação não será zero, como se referiu, mas na realidade terá um valor relativamente pequeno. Este é o denominado erro de fecho, e pode ser calculado se for possível calcular todas as trocas de energia independentemente umas das outras. Tal implica o próprio cálculo de energia útil numa forma directa. É o chamado método directo.

Existe outra forma de proceder a um balanço de energia, em que a energia útil é calculada por diferença. É o denominado método das perdas. Neste caso a equação (1) vem:

$$Q_u = (Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_{ar} + Q_{har} + Q_q) - (Q_f + Q_p + Q_{ab} + Q_{aq} + Q_o) \quad (2)$$

Neste caso não é possível conhecer o erro de fecho do balanço.

A partir do conhecimento das parcelas do balanço de energia é possível definir de uma forma genérica o rendimento energético, isto é, a razão entre a energia útil e a energia total entrada no sistema. Torna-se evidente que o rendimento assim definido depende da fronteira em relação à qual foi feito o balanço energético.

Assim, em relação à fronteira I da figura anterior, o rendimento é dado pela seguinte expressão:

$$\eta = 100 \times \frac{Q_u}{Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_{ar} + Q_{har} + Q_q}$$

em que:

$$Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_q = E_{el}$$

$$Q_{ar} + Q_{har} = E_{ell} \text{ (energia recuperada nos fumos)}$$

Este será o rendimento do forno, não considerando o economizador.

Se considerarmos a definição de rendimento relativamente à fronteira II, ou seja, da instalação constituída por forno e recuperador, temos:

$$\eta = 100 \times \frac{Q_u}{Q_e + Q_c + Q_{sc}}$$

Admitiu-se que o ar e a carga entram à temperatura de referência. Caso contrário seria também, necessário adicionar estas parcelas.

Existem, no entanto, outras definições possíveis de rendimento, como seja:

$$Q_u = (Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_{ar} + Q_{har} + Q_q) - (Q_f + Q_p + Q_{ab} + Q_{aq} + Q_o)$$

se se fizer: $Q_t = Q_e + Q_c + Q_{sc} + Q_{ar} + Q_{har} + Q_q$

e aplicando de novo a expressão (2), vem:

$$\eta = 100 - \left(\frac{Q_f}{Q_t} \times 100 + \frac{Q_p}{Q_t} \times 100 + \frac{Q_{ab}}{Q_t} \times 100 + \frac{Q_{aq}}{Q_t} \times 100 + \frac{Q_o}{Q_t} \times 100 \right)$$

isto é: $\eta = 100 - \sum \text{perdas}$

Este é o rendimento calculado pelo método das perdas, que é idêntico ao anteriormente definido.

O rendimento de geradores de vapor calculado pelo método directo é correntemente definido pela seguinte expressão:

$$\eta = 100 \times \frac{Q_v - Q_{ag}}{Q_c + Q_{sc}}$$

Como observação final, é de salientar, que ao comparar rendimentos energéticos de equipamentos é necessário ter em atenção a que rendimentos se referem, sob a pena de se cometerem erros graves de apreciação.

Embora não possa ser considerado um rendimento, é correntemente utilizado um parâmetro, denominado taxa de evaporação, que permite avaliar o grau de eficiência energética da produção de vapor. Define-se como a relação entre a quantidade de vapor produzida num dado período de tempo e a quantidade de combustível consumido na produção desse vapor. Ou seja:

$$T_{ev} = \frac{M_v}{M_c}$$

em que: M_v – Caudal de vapor

M_c – Caudal de combustível

Na prática dado ser mais fácil medir o caudal de água do que o de vapor, utiliza-se a expressão:

$$T_{ev} = \frac{M_{ag}}{M_c}$$

em que: M_{ag} – Caudal de água de alimentação

No entanto estamos a cometer um erro, já que existem purgas, o que reduz o caudal de vapor, mas como esta diferença é diminuta, o erro cometido é desprezável.

3.1 - Fórmulas de Cálculo

- **Energia da Combustão**

$$Q_C = M_c \times (PCS + cp_c \times T_c)$$

onde:

Q_C	= $Q_c + Q_{sc}$	[kJ / h]
Q_c	= Energia de combustão do combustível	[kJ / h]
Q_{sc}	= Energia sensível do combustível	[kJ / h]
M_c	= Caudal mássico do combustível	[kg / h]
PCS	= Poder Calorífico Superior do combustível	[kJ / kg]
cp_c	= Calor específico do combustível	[kJ / kg °C]
T_c	= Temperatura do combustível	[°C]

- **Energia Eléctrica**

$$Q_e = P \times 3600$$

onde:

Q_e	= Energia eléctrica fornecida	[kJ / h]
P	= Potência dos equipamentos eléctricos	[kW]

- **Energia Associada a gases húmidos (Ar, Gases de combustão)**

$$Q_g = M_g \times [cp_g \times T_g + W(1.9 \times T_g + 2480)]$$

onde:

Q_g	= Energia associada a gases húmidos	[kJ / h]
M_g	= Caudal mássico de gás seco	[kg / h]
T_g	= Temperatura do gás	[°C]
cp_g	= Calor específico do gás	[kJ / kg °C]
W	= Teor de humidade no gás	[kg H_2O / kg gás seco]

Normalmente, existem alguns parâmetros desta fórmula que são difíceis de obter directamente, como tal existem vários métodos de cálculo de alguns deles.

1º Passo

Calcular o valor do excesso de ar (e)

No caso de se medir a concentração dos gases de combustão, o valor do excesso de ar pode ser calculado seguindo a fórmula:

$$e = \frac{\%O_2}{21 - \%O_2}$$

Se for possível medir a quantidade de ar de combustão, o valor do excesso de ar pode ser calculado pela fórmula seguinte:

$$e = \frac{M_{ar\ seco}}{m_{ar\ seco} \times M_{comb}} - 1$$

2º Passo

Quando não é possível medir a quantidade de ar de combustão, este caudal pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$M_{ar\ seco} = (1 + e) \times m_{ar\ seco} \times M_{comb}$$

Normalmente, o caudal de ar que é possível obter directamente é o caudal volúmico e como tal, será necessário converter este valor para caudal mássico, utilizando a seguinte expressão:

$$Q_m = \frac{Q_v \times 28.97 \times P \times 10^5}{8314.3 \times (T + 273.15)}$$

3º Passo

Calcular o caudal mássico dos gases secos de combustão

$$M_{gases\ secos} = [(1 + e) \times m_{ar\ seco} + 1 - m_{H_2O}] \times M_{comb\ seco}$$

4º Passo

Calcular a humidade dos gases de combustão

$$W_{gases} = \frac{(1 + e) \times m_{ar\ seco} \times W_{ar} + a + m_{H_2O}}{(1 + e) \times m_{ar\ seco} + 1 - m_{H_2O}}$$

onde:

e	= Excesso de ar	
$m_{ar\ seco}$	= Ar estequiométrico	[kg / kg _{comb. seco}]
m_{H_2O}	= Água produzida na Combustão de H ₂	[kg / kg _{comb. seco}]
a	= teor de água presente no combustível	[kg _{H₂O} / kg _{comb. seco}]
W_{ar}	= Humidade no ar de combustão	[kg _{H₂O} / kg _{ar seco}]

Combustível	'm_{ar seco}'	'm_{H2O}'
Gasóleo	14.4	1.2
'Burner' óleo	14.0	1.0
'Thin' fuelóleo	14.0	1.0
'Thick' fuelóleo	13.8	1.0
Propano	15.7	1.6

- **Calor associado à água de alimentação**

$$Q_{ag} = M_{ag} \times cp_{ag} \times T_{ag}$$

onde:

Q_{ag}	= Energia associada à água	[kJ / h]
M_{ag}	= Caudal mássico da água	[kg / h]
cp_{ag}	= Calor específico da água	[kJ / kg °C]
T_{ag}	= Temperatura da água	[°C]

- **Calor associado ao vapor de água**

$$Q_v = M_v \times (h_f + xh_{fg})$$

onde:

Q_v	= Energia associada ao vapor de água	[kJ / h]
M_v	= Caudal mássico de vapor	[kg / h]
h_f	= Entalpia específica da água líquida	[kJ / kg]
h_{fg}	= Entalpia específica de evaporação	[kJ / kg]
x	= fracção de vapor em relação à massa total	

Se o vapor de água for vapor saturado seco no lugar de $(h_f + xh_{fg})$ utilizamos h_g .

- **Calor associado aos condensados**

$$Q_{cd} = M_{cd} \times h_f$$

onde:

Q_{cd}	= Energia associada aos condensados	[kJ / h]
M_{ag}	= Caudal mássico dos condensados	[kg / h]

- **Calor associado ao material**

$$Q_m = M_m \times cp_m \times T_m$$

onde:

Q_m	= Energia associada ao material	[kJ / h]
M_m	= Caudal mássico de material	[kg / h]
cp_m	= Calor específico do material	[kJ / kg °C]
T_m	= temperatura do material	[°C]

- **Calor associado a reacções endotérmicas irreversíveis**

$$Q_r = M_m \times c_r$$

onde:

Q_r	= Energia associada às reacções endotérmicas	[kJ / h]
M_m	= Caudal mássico de material seco	[kg / h]
c_r	= Calor das reacções irreversíveis (780)	[kJ / kg]

- **Calor associado a perdas pelas paredes**

$$Q_{pp} = U \times A \times (T_s - T_a)$$

onde:

Q_{pp}	= energia associada a perdas pelas paredes	[kJ / h]
A	= área da superfície	[m ²]
U	= $U_r + U_c$ = coeficiente global de transmissão de calor	[kJ / h m ² °C]
U_r	= coeficiente de transmissão de calor por radiação	[kJ / h m ² °C]
U_c	= coeficiente de transmissão de calor por convecção	[kJ / h m ² °C]
T_s	= temperatura da superfície	[°C]
T_a	= temperatura ambiente	[°C]

Coeficiente de transmissão de calor por radiação U_r

$$U_r = \frac{20.4 \times E}{T_s - T_a} \times \left[\left(\frac{T_s + 273.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273.15}{100} \right)^4 \right]$$

Sendo E a emissividade da superfície.

Coeficiente de transmissão de calor por radiação U_c

$$U_c = B \times (T_s - T_a)^{0.25}$$

Sendo B o factor de geometria.

Valores Típicos de B

Planos verticais e cilindros de grandes dimensões	5.22
Planos horizontais virados para cima	6.12
Cilindros horizontais	4.32

Valores Típicos de E

Aço oxidado	0.4	0.7
Alumínio polido (comercial)	0.1	
Alumínio oxidado (comercial)	0.2	0.3
Refractários	0.4	0.8
Aço pintado	0.8	0.9

Poder Calorífico [kJ/kg]

Combustível	PCS	PCI
Gasóleo	45 700	43 750
'Burner' óleo	44 100	42 160
'Thin' fuelóleo	43 300	41 200
'Thick' fuelóleo	42 600	40 570
GPL	50 015	46 046
Gás Natural	49 975	45 110

Calor Específico**cp [kJ / kg °C]**

Combustíveis líquidos	2.1
Propano líquido	2.5
Butano líquido	2.4
Carvão	1.3
Ar	1
Gases de combustão	1.1
Água	4.186
Aço	0.5
Tijolo refractário	1.0
Betão	0.8
Amianto	0.9
Cortiça	2.0
Termofluido	2.5
Argila	1.0
Vidro	1.2

4 - Tecnologias para a Eficiência Energética

Nesta secção apresentam-se algumas das potenciais economias de energia mais frequentemente detectadas na indústria portuguesa. As medidas foram agrupadas em duas categorias distintas:

4.1 - 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.

4.2 - Tecnologias energéticas

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.

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. *Aproveitamento de combustíveis ou fontes de calor residuais*
6. *Substituição da queima de combustíveis por Gás Natural*
7. *Dimensionamento correcto das instalações energéticas*
8. *Eliminação de más utilizações de ar comprimido*
9. *Eliminação das fugas de ar comprimido*
10. *Recuperação da energia térmica em compressores de ar*
11. *Substituição de motores convencionais por motores de alto rendimento*
12. *Instalação VEV's*
13. *Alteração da opção tarifária*
14. *Deslastre de cargas*
15. *Compensação do factor de potência*
16. *Optimização e controlo da iluminação*
17. *Melhor aproveitamento das condições de iluminação natural*
18. *Implementação de sistemas de gestão de energia*
19. *Instalação de sistemas de cogeração*

4.2.1 - Geradores de Calor

Um dos sectores de maior consumo na indústria é a central térmica, podendo afirmar-se que os geradores de calor são uma presença quase constante na maioria das instalações industriais.

As instalações de caldeiras na indústria e no comércio variam muito de capacidade, indo desde poucas centenas de quilos de vapor por hora até capacidades acima de cinquenta mil quilos.

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.

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, e muitos outros.

Ao abordar o tema dos geradores de calor surgem alguns termos que convirá definir desde já:

Superfície de Aquecimento: é toda a parte metálica que é banhada, por um lado, pelo fluido quente (gases de combustão), ou até mesmo sujeita à radiação da chama, e por outro pelo fluido a aquecer.

Timbre: é a pressão máxima (pressão de cálculo) que não pode ser ultrapassada durante o funcionamento do gerador.

Tubular: Conjunto de tubos do gerador onde circulam os gases de combustão, ou o fluido a aquecer, conforme o tipo de gerador.

Espelhos, tampos, ou chapas dos tubulares: nos geradores horizontais, de corpo cilíndrico, esta designação refere-se às chapas onde se encontram ligados, por soldadura ou expansão os tubos de fumo.

Tambores, barriletes ou colectores: no caso das caldeiras de tubos de água, é neste local que os tubos se encontram ligados.

Câmara de Inversão: é o local onde é feita a inversão dos gases quentes resultantes da combustão.

Capacidade do gerador: é o volume total de todas as partes internas do gerador sujeitas a pressão.

Ao identificar e especificar um gerador de calor, as características que devem ser referidas são:

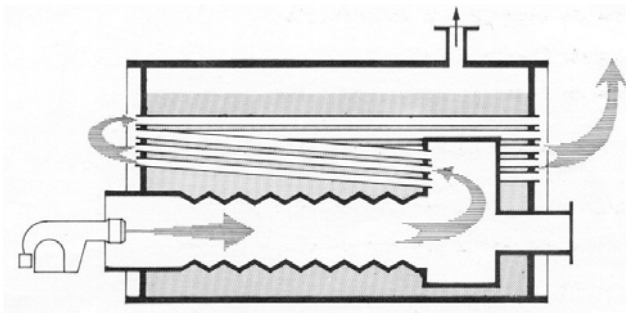
- Natureza do fluido a aquecer;
- Timbre e pressão de serviço;
- Capacidade;
- Superfície de aquecimento;

-
- Potência térmica;
 - Temperatura do fluido a aquecer;
 - Combustível a queimar;
 - Rendimento térmico.

Tipos de geradores

Pirotubulares

Também designado por caldeira de tubos de fumo, é normalmente horizontal e de forma cilíndrica, que tal como o nome indica, é dentro dos tubos que passa o fluido quente, ou seja os gases de combustão, como se pode visualizar nas figuras seguintes.



Este tipo de caldeiras tem por base os aperfeiçoamentos efectuados nas primitivas e bem conhecidas caldeiras tipo 'Lancaster', caldeiras de corpo cilíndrico, tubo de fogo interior e revestidas a refractário e nas caldeiras semitubulares também revestidas a refractário.

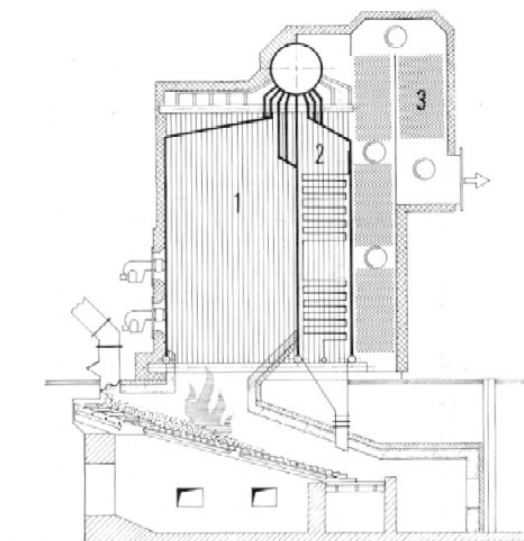
Estas caldeiras têm, normalmente, um grande volume de água no seu interior, sendo utilizadas em indústrias com grandes pedidos de ponta e cargas irregulares.

Este tipo de gerador ocupa um lugar importante nos diversos tipos de indústria, assim como no aquecimento ambiente de grandes edifícios de serviços, devido à sua grande aptidão para os mais diversos serviços, utilizando-se na produção de:

- Água quente (temperatura máxima de 110°C)
- Água sobreaquecida (com temperaturas acima dos 110°C e pressões de serviço superiores a 0.5 bar)
- Vapor saturado de baixa pressão (pressão de serviço até 0.5 bar)
- Vapor saturado ou sobreaquecido com pressões máximas na ordem dos 30 bar e temperaturas de sobreaquecimento máximas de 420°C)

Aquotubulares

Também designadas por caldeiras de tubos de água, que tal como o próprio nome indica dentro dos tubos circula água, que irá ser aquecida até ser tornar vapor saturado, água sobreaquecida, ou mesmo vapor sobreaquecido. O fluido aquecedor circula pelo exterior das paredes ou feixes tubulares.



Legenda:

1 – Câmara de Combustão

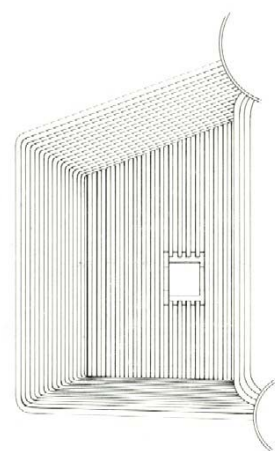
2 – Sobreaquecedor

3 – Economizador

Na figura anterior é apresentada uma caldeira de tubos de água aquecida por um combustível sólido, podendo ser também aquecida por outro tipo de combustível.

Como se verifica facilmente pela figura anterior, estas caldeiras são de construção bastante diferente das caldeiras de tubos de fumo.

A câmara de combustão é formada, normalmente, por paredes tubulares, com formato mais ou menos rectangular, como se pode verificar na figura ao lado.



Em qualquer dos casos as caldeiras encontram-se sob a acção da chama resultante da queima de um combustível.

Este tipo de caldeira é normalmente mais caro em relação às caldeiras pirotubulares, para o mesmo débito de vapor e pressão.

Alterações do rendimento da caldeira

Quando se opera com caldeiras com alta eficiência térmica obtêm-se custos mínimos. Por isso vamos examinar 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:

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

Os cálculos incluídos baseiam-se no valor calorífico bruto do combustível.

Sempre que se considerar o poder calorífico de combustíveis ou o rendimento de caldeiras é importante esclarecer antes se estes se baseiam em valores inferiores ou superiores.

É essencial atender-se à diferença entre esses termos. Todos os combustíveis contêm hidrogénio e, quando queimados, há formação de água sob a forma de vapor. O calor latente desse vapor não é recuperado a menos que ocorra condensação:

- o poder calorífico superior (PCS) inclui toda a quantidade de calor disponível;
- o poder calorífico inferior (PCI) é obtido excluindo-se o calor latente da evaporação.

Assim, quando se usa na equação anterior:

- o poder calorífico superior, a perda nos gases de exaustão, inclui o calor latente do vapor;
- o poder calorífico inferior, essa perda de calor é excluída.

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 combustão deve ser apenas a necessária para assegurar a combustão completa do gás 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 gás deixará de queimar 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 ou recorrendo aos valores dos gráficos das figuras abaixo representadas.

Nesses gráficos, o volume dos produtos secos do gás de exaustão é medido à temperatura ambiente. As perdas baseiam-se no valor calorífico bruto do gás combustível.

Os gráficos não mostram as perdas quando se opera com insuficiência de ar de combustão.

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 a dois factores contraditórios:

- Por um lado se o excesso de ar é pequeno, o combustível não é completamente queimado, aparecendo nos gases de combustão 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%.

PARÂMETROS	VALORES ACONSELHADOS
Teor de O ₂ (%)	1.5 – 2.5
Teor de CO ₂ (%)	9 - 11
Teor de CO (mg/Nm ³)*	< 244
Excesso de ar de combustão (%)	5 - 15

* Valores corrigidos a 8% de O₂

Equipamentos portáteis, relativamente baratos, para análise dos gases de exaustão e medição da sua temperatura 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.

Quando se usam equipamentos de teste dos gases de exaustão, é importante considerar as instruções do fabricante e que a manutenção dos instrumentos seja adequada. É necessário, por exemplo, assegurar que as amostras de gás não venham a ser diluídas por entrada accidental de ar, o que causaria resultados errados. Deve haver drenagem adequada do tubo. A colheita da amostragem deve ser feita próximo da caldeira e a possibilidade de estratificação dos gases verificada colhendo-se as amostras em diversos pontos da secção transversal da corrente de gás.

Caldeiras antigas em instalações de alvenaria podem apresentar dificuldade em se evitar a entrada de ar e apenas pessoas com bastante experiência devem ser encarregadas desses testes.

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 de aquecimento a gás.

A formação de fuligem deve ser permanentemente evitada. Se, no entanto, os tubos ficarem sujos, por exemplo devido à operação errada durante o acendimento com múltiplos combustíveis, as perdas de chaminé (tiragem) serão aumentadas. As despesas de limpeza são rapidamente compensadas pela economia de combustível daí resultante.

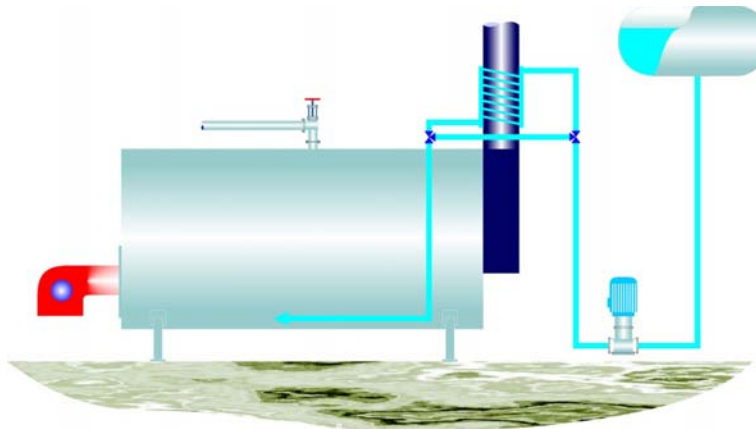
Devem conhecer-se as recomendações do fabricante sobre a frequência de limpeza da caldeira.

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.

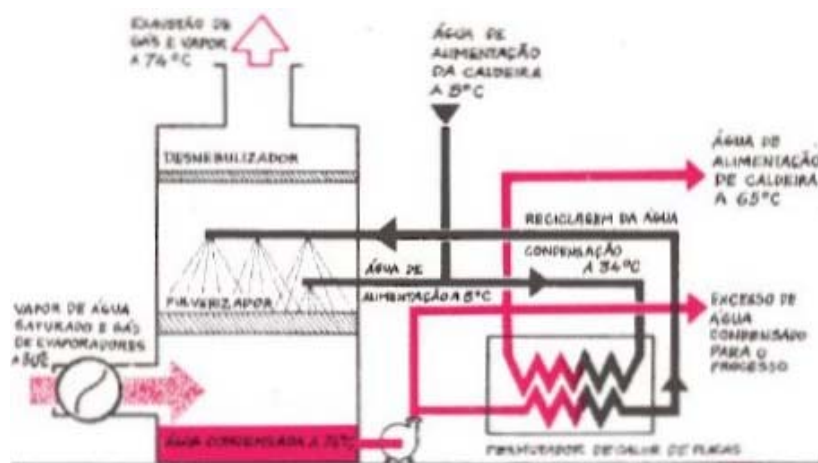
Seguem-se alguns sistemas:

Economizadores – são aquecedores de água de alimentação que podem poupar até 5% de combustível e são particularmente apropriados para uso em caldeiras a gás.



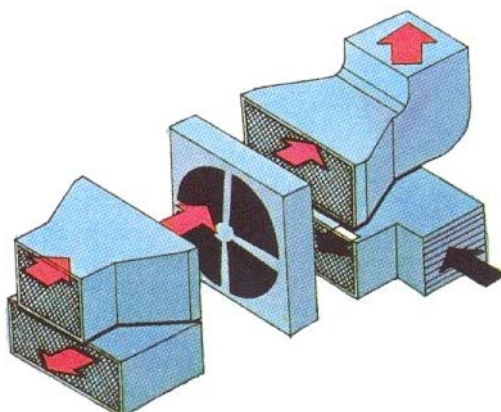
Para emprego em caldeiras com uso alternativo de dois tipos de combustível, o economizador pode ser desactivado durante o uso do outro combustível.

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.



Em caldeiras para uso alternativo de dois tipos de combustível, este equipamento pode ser desactivado durante o emprego de outro combustível.

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 aquecimento da 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 ainda economia 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, entretanto, ser muito mais elevadas em caldeiras mais velhas, 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

As caldeiras devem ser drenadas para remoção de depósitos de sais que se acumularam no fundo e para evitar depósitos nos tubos e arrastamento de poluidores para a tubagem de vapor. Para evitar perda desnecessária de calor, as drenagens devem ser no menor número possível, compatível com a manutenção do nível recomendado de sólidos em suspensão.

A perda de calor devido a descarga de fundo está indicada na figura que se segue. Parte dessa perda 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 companhias de tratamento de água.

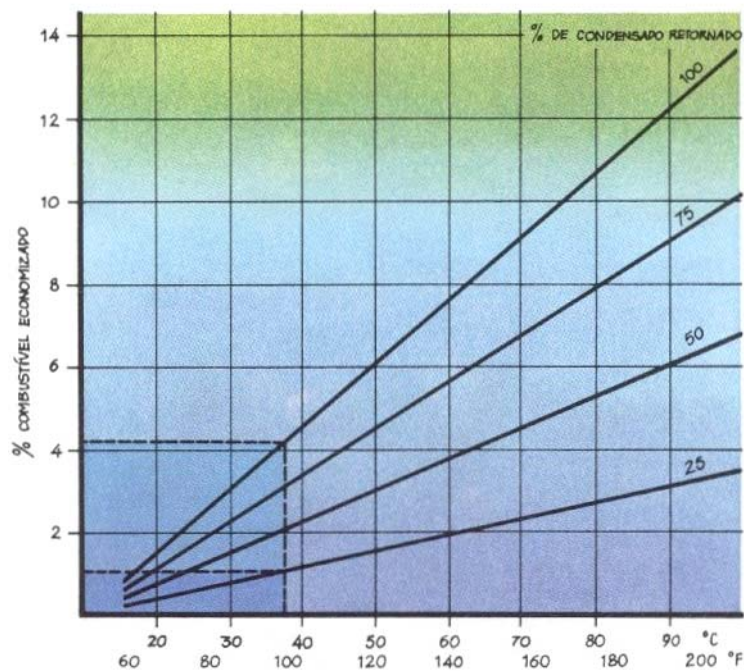
Recuperação do condensado

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).

Deve recuperar-se o máximo de condensado 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.

A economia resultante da elevação da temperatura pela recuperação do condensado pode ser observada na figura que adiante se apresenta.



Nos casos em que é possível a contaminação da água de alimentação, por exemplo, no retorno de condensado, pode conseguir-se 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. Pode, também, elevar-se a temperatura acima desse valor.

Operações de manutenção em caldeiras

- 1 – 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.
- 2 – Deve manter-se um registo permanente dos dados de desempenho da caldeira de modo que os sinais de mau funcionamento possam ser detectadas com antecedência.
- 3 – Deve medir-se a água de alimentação.
- 4 – 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 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.
- 5 – 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.
- 6 – 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.
- 7 – A rotina de limpeza e conservação da casa de caldeiras deve ser melhorada, o que, provavelmente, criará melhores condições de trabalho.
- 8 – 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.
- 9 – 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.
- 10 – Fugas de vapor e ar comprimido devem ser prontamente reparadas pois desperdiçam energia e representam causas potenciais de acidentes.
- 11 – Dedicar atenção especial aos operadores da caldeira. É falsa economia empregar mão-de-obra de nível excessivamente baixo 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.

4.2.2 - Distribuição de vapor e água quente

As caldeiras de vapor não devem funcionar a 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 valor 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 inspeção periódica do isolamento térmico deve ser implantada, providenciando-se a troca imediata quando necessária. Atenção especial deve ser dedicada a novos equipamentos ou a tubagens em que se tenha realizado conserto ou 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 grande diâmetro 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 que podem ser generalizados no seguinte exemplo:

Numa conduta não isolada com 1 metro de comprimento, 80 mm de diâmetro nominal e transportando vapor a uma temperatura de 175 °C (0.9 Mpa [9.0 bar_g]), verificam-se perdas térmicas, através das suas paredes, correspondentes a 486 m³/ano de gás natural, correspondendo a cerca de 17 contos/ano, estando a funcionar 5 760 horas ano e 42.5 contos/ano por cada válvula não isolada e com o mesmo diâmetro nominal.

4.2.3 - 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 desperdícios de 13 378 m³/ano de gás natural equivalentes a cerca de 470 contos/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:

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

Sendo:

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

4.2.4 - Dimensionamento Correcto de Instalações Eléctricas

A ligação à rede eléctrica de alimentação (rede do distribuidor) pode ser efectuada a vários níveis de tensão (tensão de entrega). A tensão de entrega a um consumidor industrial situa-se em geral ao nível da média tensão (MT), sendo por isso necessária a instalação de postos de transformação (PT's), a fim de possibilitar o abastecimento aos centros de consumo em baixa tensão (BT).

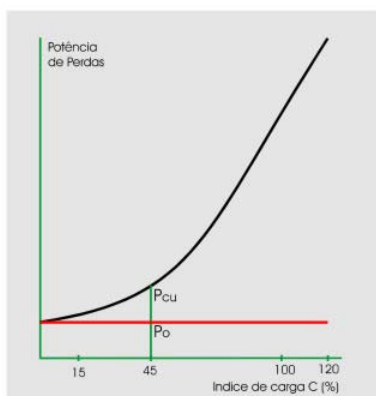
A rede de uma instalação industrial é normalmente constituída pelo conjunto dos quadros eléctricos equipados com equipamentos de medidas, comando e protecção, pela rede de cabos eléctricos e dispositivos auxiliares que permitem estabelecer a interligação da entrada da energia eléctrica com os múltiplos receptores – motores, aparelhos de iluminação, aparelhos electrodomésticos, etc.

A concepção dos circuitos eléctricos apresenta-se, assim, como uma área onde é possível tomar medidas no âmbito da Utilização Racional de Energia, para tal, ao estabelecer-se uma rede eléctrica, deve procurar garantir-se que:

- A extensão dos circuitos que alimentam os diversos equipamentos seja a menor possível. Garante-se assim a minimização das perdas em linha, a redução das quedas de tensão e economias significativas em cabos, aparelhagem de protecção e comando e dispositivos auxiliares;
- A repartição das cargas pelos circuitos deve ser efectuada tendo em consideração a sua correcta utilização final;
- Distribuição equitativa pelas três fases;
- A fiabilidade do fornecimento de energia aos receptores seja elevada, isto é, que a ocorrência de avarias provoque interrupção de serviço do menor número possível de receptores.

Estes são apenas alguns pontos onde é possível actuar para melhorar o desempenho energético de uma instalação fabril ou de um edifício.

Perdas nos Transformadores



Os transformadores actuais, apesar de terem rendimentos elevados (>95%), apresentam dois tipos de perdas:

Perdas no ferro, P_o : praticamente constantes pelo que devem ser desligados sempre que não estejam de serviço.

Perdas no cobre, P_{cu} : aumentam fortemente com o regime de carga.

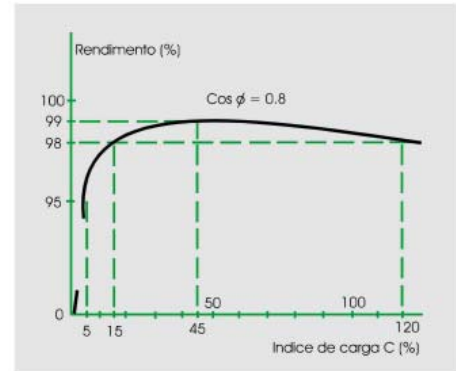
Independentemente do facto das perdas dos transformadores aumentarem com o índice de carga **C**, o seu rendimento não sofre grandes alterações. Apresenta um valor máximo numa situação em que as perdas no ferro **P_o** igualem as perdas no cobre **P_{cu}** , o que corresponde ao índice ótimo de carga **$C_{\text{ótimo}}$** .

Depreende-se então que os transformadores não devam trabalhar perto da sua potência nominal, pois o valor máximo de rendimento é atingido com um índice de carga de aproximadamente 0.45.

Dimensionamento do Posto de Transformação

A escolha dos transformadores a instalar nos PT's deverá ter em atenção alguns aspectos importantes que se descrevem seguidamente.

- A potência nominal do transformador deve ser aproximadamente o dobro da potência pedida pela rede a alimentar, correspondendo a um índice médio de carga de aproximadamente 0.45 a 0.5.
- Os transformadores a instalar devem ser de fabricação recente.
- Nas grandes unidades industriais, com cargas de elevada potência e alguma dispersão em superfície, é mais vantajosa a instalação de transformadores próximo dos receptores mais importantes, integrados por uma rede de média tensão, de preferência com dupla alimentação.
- Em instalações onde a continuidade de serviço seja fundamental, devem ser utilizados bancos de dois ou mais transformadores dimensionados de modo a que o índice médio de carga global seja de 0.5.



Ao dimensionar uma instalação eléctrica deve ter-se sempre presente a opção de instalar um transformador ou um grupo de transformadores, na tabela seguinte apresentam-se as vantagens e desvantagens na utilização de um transformador ou dois transformadores.

Características	Análise das Opções
1 Transformador com Potência Nominal de forma a $C_{med}=0.45$	<p>Vantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Menores perdas traduzidas em custos de exploração baixos ➤ Boa adaptação a futuras ampliações ➤ Boa capacidade de adaptação a regimes de funcionamento em sobrecarga <p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Não garante continuidade de serviço em caso de avaria
2 Transformadores com Potência Nominal de forma a que o C_{med} de cada um seja 0.8, sendo o Global de $C_{med}=0.45$	<p>Vantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Menores perdas traduzidas em custos de exploração baixos ➤ Boa adaptação a futuras ampliações ➤ Boa capacidade de adaptação a regimes de funcionamento em sobrecarga ➤ Garantia de continuidade de serviço em caso de avaria <p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maior custo inicial em transformadores e aparelhagem ➤ Mais espaço ocupado

Localização do Posto de Transformação – PT

Se uma instalação é alimentada em média tensão, deverá tomar-se como critério base a localização do PT o mais próximo possível do centro de gravidade das cargas. Consegue-se desta forma uma redução significativa das perdas e da queda de tensão na rede.

Dimensionamento de cabos

As exigências funcionais da instalação industrial, a organização do processo produtivo e a sua própria configuração determinam quantitativamente a natureza dos consumos e a forma como se repartem ao longo dos períodos de laboração.

Ao estabelecer-se uma rede eléctrica, devem ser tidos em conta os seguintes aspectos:

- A extensão dos circuitos que alimentam os diversos equipamentos deve ser a menor possível, reduzindo as perdas em linhas, as quedas de tensão e o investimento em cabos.
- Dimensionar a secção do cabo em função da secção económica S_F , desde que o acréscimo de investimento na instalação seja recuperado em tempo útil pelas economias de energia obtidas através da redução das perdas de energia.

$$S_F = I \times \sqrt{\left(\frac{a \times N \times \rho \times H \times 10^{-3}}{A \times B} \right)}$$

em que:

- I : intensidade de corrente [A]
- a : preço da energia eléctrica [\$/kWh]
- ρ : resistividade do condutor [$\Omega\text{mm}^2/\text{km}$]
- N : número de condutores
- H : número de horas de funcionamento anual
- B : custo do cabo por mm^2 e por km
- A : taxa de amortização $\left(A = \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1} \right)$
- i : taxa de juro
- n : tempo de amortização [anos]

4.2.5 - Ar Comprimido

Realizar trabalho implica obrigatoriamente a utilização de energia. Actualmente muito se fala de fontes de energia (energia primária) - petróleo, hidroelectricidade, carvão, gás natural, energia solar, energia nuclear - neste documento iremos preocupar-nos particularmente com uma forma de energia final - **o ar comprimido**. Para diversos processos industriais a melhor opção, como força e/ou meio de controlo, é o ar comprimido. Infelizmente no nosso país poucos gestores e técnicos encaram o ar comprimido como uma forma de energia, que deverá ser utilizada racionalmente de modo a rentabilizar o processo produtivo. O objectivo deste documento é apresentar alguma informação sobre os equipamentos constituintes das instalações de ar comprimido, o seu dimensionamento e utilização tendo sempre em consideração o binómio qualidade do ar comprimido/consumo de energia.

Aplicação do ar comprimido

O ar comprimido é utilizado actualmente em larga escala nos mais diversos processos porque apresenta inúmeras vantagens das quais se destacam:

- O ar encontra-se disponível gratuitamente para ser utilizado e após a realização do trabalho não requer tubagem de retorno como, por exemplo, o óleo hidráulico.
- É armazenado facilmente sendo possível dispor de elevadas quantidades de energia para utilizar em determinado instante.
- As fugas de ar no sistema, embora sejam um desperdício e portanto uma situação indesejável, não constituem, no entanto, qualquer risco sério.
- Facilmente é controlado.
- Pode ser utilizado para obter movimento linear e rotativo para largas gamas de força e velocidade.
- Pode ser utilizado tanto como meio de medição e de actuação para executar funções complicadas de controlo.
- Pode ser utilizado como meio de agressão (decapagem com areia) e de protecção (lubrificação de rolamentos).

Elementos principais numa instalação de produção de ar comprimido

Os principais elementos constituintes dos sistemas de produção de ar comprimido são os seguintes:

- ar
- compressores
- arrefecedores (intermédio, posterior)
- secadores (frigoríficos, adsorção, absorção)
- reservatório de armazenamento de ar comprimido
- rede de distribuição
- filtros
- lubrificadores
- reguladores de pressão

O equipamento standard para as instalações de compressores de ar de deslocamento positivo devem incluir um filtro de aspiração, um arrefecedor posterior e um reservatório de ar. Em muitas instalações, particularmente com certos compressores rotativos, é necessário instalar silenciadores de aspiração e possivelmente também de descarga.

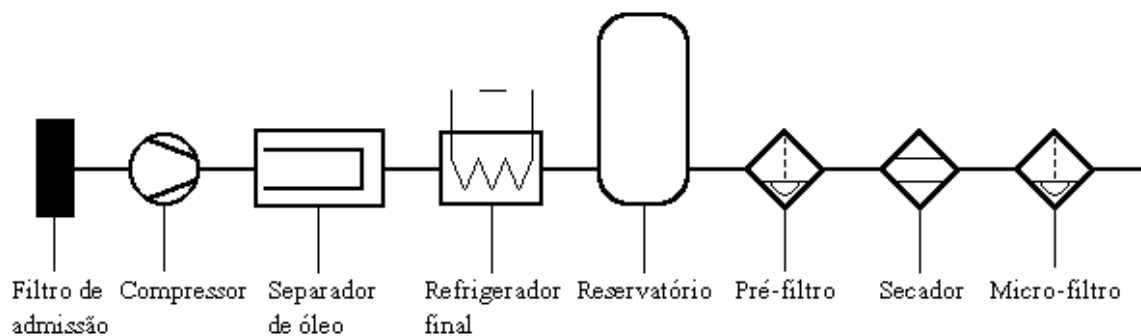


Figura 1 - Esquema de instalação de produção de ar comprimido.

Os compressores alternativos podem necessitar igualmente de um silenciador de aspiração, não com o objectivo de reduzir o ruído mas, sim para amortecer as pulsações.

Os compressores dinâmicos não exigem a instalação de reservatório de ar e o uso de arrefecedores posteriores dependerá da aplicação específica. Devem ser instalados filtros de aspiração e por vezes é necessário incluir silenciadores de aspiração.

Compressores

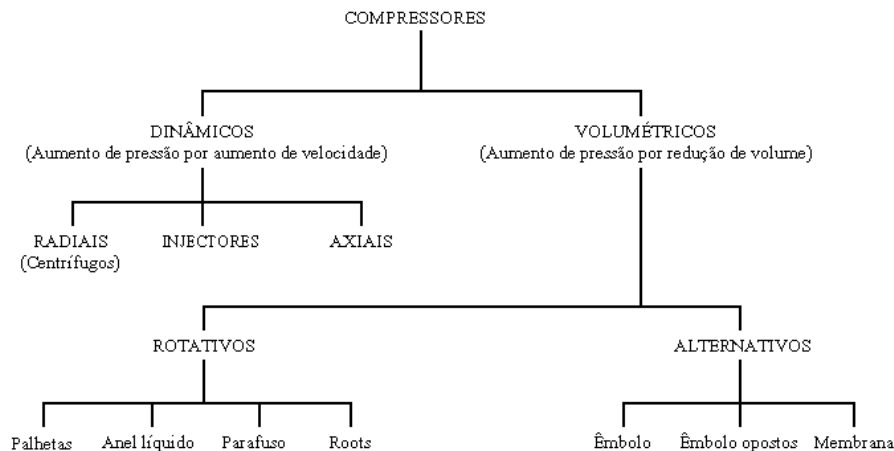
O desenvolvimento dos compressores acompanhou paralelamente o crescimento e as necessidades da indústria para ir ao encontro dos diferentes requisitos de volumes e pressões.

Os compressores podem ser classificados segundo:

- o tipo de tecnologia
- gama de débito
- pressão de descarga
- número de andares de compressão
- tipo de refrigeração (ar ou água)
- lubrificação (com ou sem)

Quanto ao tipo de tecnologia, existem dois grupos básicos de compressores:

- dinâmicos
- volumétricos



Nos **compressores dinâmicos** o ar é acelerado até uma determinada velocidade e conduzido para um difusor que converte a energia cinética em pressão. Existem três tipos de compressores dinâmicos que se distinguem basicamente pelo método como imprimem velocidade ao ar:

- radiais (centrífugos)
- axiais
- injectores

Nos **compressores volumétricos** o ar é encerrado num espaço e a compressão é realizada por intermédio da redução do volume do espaço. Este método de compressão é realizado em dois tipos de compressores:

- alternativos
- rotativos

Os compressores alternativos aspiram uma quantidade de ar (normalmente à pressão atmosférica) num espaço de tempo enquanto que, os compressores rotativos aspiram continuamente ar.

Os compressores volumétricos, mais precisamente os de êmbolo e de parafuso são os mais difundidos e utilizados, cobrindo uma vasta gama de volumes e pressões, pelo que lhes iremos dedicar especial atenção.

Compressores	Capacidades	Processo
- êmbolo	Cobre uma vasta gama de volumes e pressões	O elemento básico dos compressores alternativos é um cilindro único que comprime numa face do êmbolo (simplex efeito). Uma unidade que comprime em ambas as faces do êmbolo (duplo efeito), consiste em dois elementos básicos de simplex efeito operando em paralelo. Os compressores alternativos poderão ter um andar (compressão num único cilindro) ou diversos andares (compressão sucessiva em diversos cilindros). O maior número de compressores de êmbolo existentes no mercado têm 1 e 2 andares.
.1 andar	Até 10 bar, normalmente utilizados para pressões até 7 bar.	
.2 andares	Até 70 bar, normalmente utilizados para pressões entre 6 a 9 bar.	
.>2 andares	até 2 100 bar	
- parafuso	Para volumes até 44 000 m ³ /h	Engrenagem de dois rotores helicoidais (macho e fêmea) que giram em sentidos opostos. O desenho dos rotores é tal que o espaço livre entre eles vai diminuindo axialmente e, deste modo, o ar encerrado entre os rotores é comprimido por redução do volume.
.1 andar	Até 9 bar	
.2 andares	Até 18 bar	

Nos **compressores de parafuso** cerca de 85 a 90% da potência é consumida pelo rotor macho e os restantes 10 a 15% pelo rotor fêmea. Existem compressores de parafuso não lubrificados que produzem ar comprimido isento de óleo através da utilização de engrenagens de sincronização externas para os rotores macho e fêmea. Ao não existir fricção entre os rotores e a carcaça, não se requer lubrificação no interior da câmara de compressão. A utilização de compressores não lubrificados não elimina a necessidade da filtragem do ar e o investimento inicial e os custos de exploração são substancialmente superiores relativamente aos lubrificados.

Não há que recear pela presença de óleo no interior do compressor, tanto mais que o óleo desempenha três funções nobres: arrefece o ar durante a compressão, veda os rotores e lubrifica-os. Há, sim, que impedir a presença de óleo na rede de distribuição através da instalação de elementos filtrantes que actualmente permitem obter o grau de limpeza que se pretenda.

Nos compressores de parafuso primitivos o rotor macho tinha 4 lóbulos e o rotor fêmea 6 lóbulos. Actualmente existem no mercado compressores em que o rotor macho tem 5 lóbulos continuando o rotor fêmea com 6 lóbulos. Esta inovação aumentou o caudal para uma mesma potência instalada e ao aproximar a rotação do macho à rotação da fêmea, alargou significativamente a longevidade dos rolamentos. Como consequência da alteração introduzida o consumo específico de energia (kWh/m³) diminuiu.

Localização da instalação

Os compressores deverão ser instalados numa sala ou edifício à parte, de um modo simples e prático, com baixos custos de instalação e funcionamento.

Uma instalação compressora necessita de cabelagens e tubagens para a electricidade, água de refrigeração, ar de aspiração e comprimido, devendo ser instalada de forma a que cada tubagem e cabo sejam facilmente acessíveis para reparações e ajustes.

Actualmente instalam-se os compressores com os equipamentos auxiliares e as tubagens de aspiração, o arrefecedor posterior (aftercooler) e, frequentemente, também os reservatórios, como unidades independentes, possibilitando parar uma unidade para manutenção ou operação sem afectar o serviço prestado por outra unidade.

A aspiração dos compressores de reduzida capacidade realiza-se, normalmente, na própria sala de compressores, enquanto que, para os de maior dimensão a aspiração efectua-se no exterior da sala.

Deve efectuar-se a aspiração exterior a pelo menos três metros de altitude e sempre a um nível superior ao telhado para evitar reflexões do ruído. No extremo da tubagem de aspiração deve instalar-se uma malha protectora e uma campânula.

Se a aspiração é realizada no interior da sala, requer-se a existência de uma ventilação adequada.

É aconselhável a existência de uma tubagem de aspiração independente por compressor, não sendo recomendada a instalação de um colector de aspiração comum.

No sistema de aspiração a queda de pressão e a temperatura devem ser o mais baixas possíveis. Por cada 10 milibares de queda de pressão, ou incremento da temperatura de 3°C no ar de aspiração, reduz-se a capacidade do compressor em 1%.

Arrefecedores

Os arrefecedores diminuem a temperatura do ar comprimido provocando a condensação de vapor de água e drenam os condensados, preferencialmente com purga automática.

Normalmente é utilizado como elemento refrigerante o ar ou a água. Embora a água possua uma melhor capacidade de refrigeração, só é normalmente utilizada, quando o próprio compressor a utiliza como refrigerante.

Arrefecedores

Arrefecedores	Posicionamento	Função
- Intermédio (Intercooler)	Entre dois andares de compressão	-Diminuir a temperatura de descarga do ar para valores próximos à do ar de aspiração. -Diminuir o volume do ar a admitir no andar seguinte. -Provocar a primeira condensação de vapor de água e a sua eliminação para o exterior.
- Posterior (Aftercooler)	Imediatamente após a compressão	-Condensar o vapor de água por intermédio da diminuição da temperatura do ar comprimido. Os condensados são separados e conduzidos para o exterior. Na maioria das instalações, são os únicos equipamentos com esta função específica. Neste caso, a temperatura do ar comprimido à saída do arrefecedor posterior deve ser inferior à temperatura verificada em qualquer ponto do sistema de ar comprimido. É necessário instalar purgadores e separadores de água ao longo da rede de distribuição para drenarem o vapor de água que eventualmente condense

O arrefecimento do ar comprimido reduz, evidentemente, o seu volume por unidade de massa e, portanto, reduz também o seu conteúdo energético. Esta situação não representa uma perda real de potência porque o ar sofreria um arrefecimento natural ao longo das tubagens.

Secadores

A instalação de secadores tem como finalidade reduzir o ponto de orvalho do ar comprimido para valores compatíveis com a temperatura ambiente e com a sua aplicação.

A instalação de secadores que proporcionam um baixo teor de humidade apresentam, nos sistemas de ar comprimido, as seguintes vantagens:

- Redução até 30% do custo de instalação da rede de ar, pela não necessidade de dispositivos de eliminação de água.
- Redução até 25% dos gastos com a manutenção da rede, válvulas, ferramentas, devido ao risco mínimo de corrosão.
- Menores riscos de fugas de ar devidas à corrosão.
- Evita-se o arraste de lubrificante nas ferramentas.
- Maior qualidade dos produtos tratados no caso de aplicações sensíveis à água.
- Minimiza-se o risco de congelação em tubagens exteriores.
- Obtêm-se um ponto de orvalho constante, independentemente da carga.

Para rentabilizar o processo de secagem, requer-se um tratamento prévio do ar comprimido para que o mesmo cumpra as seguintes condições:

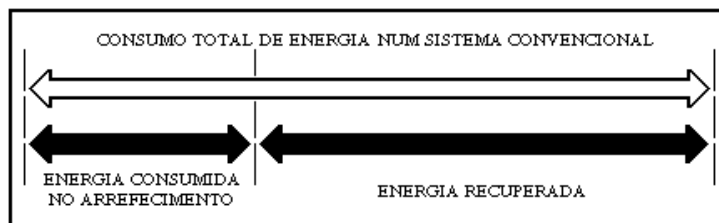
- temperatura inferior a 35^o C (com o arrefecedor posterior consegue-se, normalmente, cumprir este requisito).
- isenção de óleo (é conseguido com a colocação de um filtro).
- isenção de partículas sólidas (é conseguido com a colocação de um filtro à entrada do secador)

Secadores

Secadores	Pontos de Orvalho Requeridos	Processo
- de refrigeração	1,5 a 3 ^o C	O vapor de água contido no ar é parcialmente eliminado através da diminuição da temperatura para valores inferiores ao ponto de orvalho, provocando conseqüentemente, a condensação da água. A maioria dos secadores de refrigeração incluem um sistema de recuperação de energia mediante o arrefecimento prévio do ar de entrada pelo ar de saída.

- absorção	-	Passagem do ar comprimido por substâncias que reagem quimicamente com o vapor de água. <u>Não é recomendável a utilização de secadores de absorção</u> porque a reacção do vapor de água com as substâncias absorventes liberta gases ácidos.
- de adsorção	-20 a -70° C	Retenção da água pela passagem do ar comprimido através de substâncias com capacidade adsorvente como sejam, a silicagel, a alumina activada e seiva molecular. Estas substâncias, sólidas e extremamente porosas (dessecantes), atraem e retêm moléculas líquidas e gasosas até ao momento que são aquecidas ou expostas à passagem de um gás secador.

Num **secador de refrigeração** convencional a temperatura do ar de entrada é de 30-35° C e, com um sistema de recuperação, é arrefecido pelo ar comprimido de saída do secador para valores da ordem dos 20° C. Seguidamente o ar sofre no evaporador uma redução da temperatura para cerca de 3° C. Finalmente o ar comprimido de saída recebe calor do ar de entrada, adquirindo aproximadamente 21° C. Este sistema reduz a capacidade necessária do equipamento de frio para menos de metade com a consequente economia de energia.



Outro sistema de arrefecimento, utilizado principalmente para elevados caudais de ar comprimido, utiliza um circuito intermédio de água para arrefecer o ar. O ar contacta com serpentinas, nas quais circula água que foi previamente arrefecida por intermédio de um circuito de freon. Estes são os chamados secadores-congeladores.

Nos secadores de adsorção a secagem efectua-se de forma bastante rápida, normalmente bastam tempos de contacto do ar comprimido com o material entre 0,1 e 0,5 segundos. Este tipo de secador é constituído por duas unidades semelhantes: uma efectua a secagem enquanto a outra se regenera (libertação da água acumulada na substância adsorvente). A regeneração pode ser realizada a frio ou a quente. No processo a frio as substâncias adsorventes são atravessadas por 7% a 17% de ar seco derivado do caudal principal de ar comprimido seco. Este processo provoca uma perda significativa de caudal de ar comprimido que, poderá não ser tolerada. No processo a quente as substâncias adsorventes são aquecidas por intermédio de resistências eléctricas e a água é expulsa com ar que provém do próprio caudal de ar comprimido seco, representando cerca de 1% de perda de caudal. Este processo de regeneração pode também ser realizado pela ventilação forçada de ar atmosférico previamente aquecido.

Seleção de secadores

A selecção de secadores é, em primeiro lugar, realizada de acordo com as características do ar comprimido à entrada do secador e com o ponto de orvalho que se deseja atingir, tendo em conta os seus posteriores utilizadores. As características primordiais para esta primeira escolha são:

- Débito em ar livre.
- Perda de carga introduzida.
- Temperatura ambiente e de entrada do ar comprimido mais desfavoráveis.
- Pressão de serviço.
- Ponto de orvalho desejado.

Após esta primeira selecção é necessário realizar uma análise cuidada aos custos de exploração e de instalação para cada solução entretanto encontrada, como sejam:

- Consumos energéticos.
- A necessidade ou não de serviços auxiliares (electricidade, vapor, ar comprimido do próprio caudal principal e ar externo). Consumos energéticos e perdas de caudal de ar comprimido provocadas por estes serviços.
- Custo da manutenção.
- Investimento necessário.

Após esta análise estaremos em condições de seleccionar o secador que cumpre os requisitos técnicos e apresenta a melhor relação entre os custos de exploração e o investimento.

Reservatório de ar comprimido

O reservatório de ar comprimido é instalado imediatamente depois do arrefecedor posterior e tem as seguintes funções:

- Armazenar o ar comprimido necessário para suprir as pontas de consumo que excedam a capacidade do compressor.
- Aumentar o arrefecimento do ar comprimido e recolher condensados e óleo.
- Amortecer as variações de pressão na rede de distribuição.
- Evitar os ciclos de carga e vazio ou paragem do compressor demasiado curtos.
- Amortecer a pulsação do ar comprimido produzido em compressores alternativos

Os reservatórios deverão ser instalados, sempre que possível, no exterior da central de ar comprimido, num local fresco para facilitar o arrefecimento do ar e aumentar a condensação do vapor de água.

Volume do reservatório

As dimensões do reservatório dependem do débito do compressor, do sistema de regulação de caudal, da pressão de trabalho e das variações previstas no consumo de ar.

Para as pressões de trabalho mais vulgares , entre 7 e 9 bar, admitem-se como volumes orientadores de base os apresentados no quadro seguinte.

CONDIÇÕES	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m ³)
- consumos homogéneos - regulação carga parcial-vazio	um décimo do débito do compressor expresso em m ³ /min
- consumos irregulares - regulação automática	igual ao débito do compressor expresso em m ³ /min

Rede de distribuição

A rede de distribuição tem como função transportar o ar comprimido para os diversos utilizadores com a mínima introdução de perdas de carga e de fugas. Para evitar a ocorrência de excessivas perdas de carga e fugas, a rede de distribuição deve ter a mínima extensão possível, a quantidade necessária e suficiente de acessórios e o diâmetro das condutas adequado.

As redes de distribuição devem ser dimensionadas de modo a que as perdas de carga entre a unidade compressora e o ponto de consumo mais afastado não excedam os 0,3 bar. Para instalações que cobram áreas bastante grandes é admissível uma perda de carga superior, no entanto esta nunca deverá ultrapassar os 0,5 bar.

As perdas de carga devem-se a determinados factores e elementos que provocam resistência ao movimento do ar, dos quais se destacam os seguintes:

- a velocidade na secção da conduta
- as uniões
- as soldaduras
- a rugosidade do interior das condutas
- as curvas e os ângulos da rede
- os acessórios
- as válvulas

As perdas de carga ao longo da rede de distribuição afectam consideravelmente o rendimento da instalação. Por exemplo, se um compressor, devido aos excessos de perdas de carga, trabalhar a 9 bar absolutos em vez de 8 bar absolutos como seria desejável e correcto, temos um incremento de 5,7% no consumo de energia. O cálculo do aumento do consumo é realizado de uma forma simples através da aplicação da fórmula:

$$\left(\frac{\log P_2}{\log P_1} - 1\right) \times 100 = \text{Acréscimo no consumo de energia}$$

onde: P_1 - Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga mínima

P_2 - Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga excessiva

É importante ter a noção de que a perda de carga varia substancialmente com o diâmetro adoptado da tubagem. Por exemplo, para um determinado caudal, a redução do diâmetro numa tubagem para metade, provoca um incremento da velocidade do ar comprimido e, a perda de carga aumenta 39 vezes.

As velocidades admissíveis nas linhas de ar têm como valores normais entre os 6 e 10 m/s, que são suficientemente baixos para não criar excessivas perdas de carga e dificultar a separação da água. Nos ramais de tubagem curtos admitem-se maiores velocidades porque, sendo curtos, não produzem uma excessiva queda de pressão.

RECOMENDAÇÕES PARA UMA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Seleção criteriosa do compressor

A selecção do compressor deve ser realizada de um modo criterioso em virtude de ser o equipamento que, numa instalação de produção de ar comprimido, apresenta custos de exploração muito elevados, principalmente energéticos. Verifica-se frequentemente que os compressores instalados estão sobredimensionados para as necessidades reais de ar comprimido provocando um acréscimo no consumo de energia.

Tomando como exemplo uma instalação com um consumo máximo de ar comprimido de 840 m³/h a 7 bar e que a regulação do compressor seja carga-vazio.

Capacidade do compressor	1200 m ³ /h	1098 m ³ /h	1278 m ³ /h
Potência do motor	110 kW	132 kW	160 kW
Rendimento do motor	94%	95%	95%
Tempo de funcionamento considerado	6000 horas		
Tempo em carga	5400 horas	4500 horas	3944 horas
Tempo em vazio	600 horas	1500 horas	2056 horas
Energia consumida em carga	646 000 kWh	632 000 kWh	657 000 kWh
Energia consumida em vazio	18 000 kWh	53 000 kWh	86 000 kWh
Energia consumida	663 000 kWh	685 000 kWh	743 000 kWh
Factura energética anual	41 106 €	42 470 €	46 066 €

Como se pode constatar, verifica-se um aumento substancial da factura energética à medida que se adopta um compressor de maior capacidade para suprir as mesmas necessidades de utilização do ar comprimido.

Recuperação de energia térmica do compressor

A energia mecânica utilizada no ciclo de compressão é transformada em calor e, apenas 4% dessa energia permanece no ar comprimido. As perdas por radiação representam 2% e os restantes 94%, que geralmente são dissipados nos sistemas de refrigeração, podem ser teoricamente recuperados. Na prática é possível recuperar até 80% da energia consumida pelo compressor, na forma de água quente com 50^o-80^o C ou ar quente com 50^o-60^o C, permitindo a sua aplicação em águas quentes sanitárias, sistemas de aquecimento e acondicionamento ambiente, alimentação de caldeiras, etc..

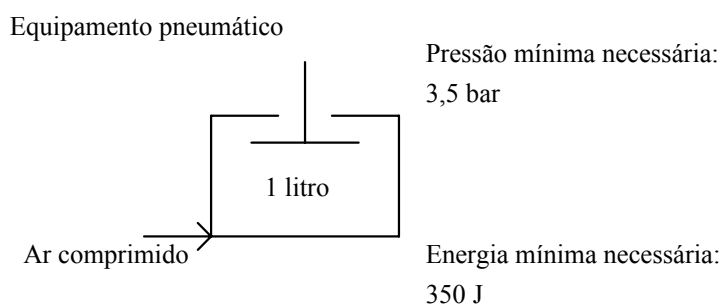
O capital investido na instalação do sistema de recuperação de calor é normalmente amortizado num período inferior a 18 meses.

Exemplo de um compressor refrigerado a ar produz 183 l/s de ar comprimido a 7 bar.

Calor dissipado a plena carga	66 kW
Calor recuperável	53 kW
Tempo de funcionamento	2 000 h/ano
Quantidade de calor recuperável	106 000 kWh/ano
Preço da energia que substitui	0,062 €/kWh (energia eléctrica)
Economia anual	6 572 €

Produção de ar comprimido com a pressão mínima necessária

A pressão necessária ao funcionamento do equipamento pneumático não é forçosamente igual à pressão da rede. Um equipamento que funcione a uma pressão inferior à da rede pode provocar uma economia de energia apreciável, com a condição de ser alimentado através de uma válvula de expansão. No entanto, a solução que apresenta melhor eficiência energética é a produção do ar comprimido à pressão mínima necessária para o funcionamento dos equipamentos pneumáticos conforme pode ser verificado no exemplo apresentado.



	Compressão a 7 bar	Compressão a 3,5 bar	Compressão a 7 bar + válvula de expansão para 3,5 bar
Energia mássica fornecida pelo compressor [1]	174 000 J/kg	125 600 J/kg	174 000 J/kg
Massa de ar utilizada pelo pistão [2]	9,52.10 ⁻³ kg	5,41.10 ⁻³ kg	5,41.10 ⁻³ kg
Energia despendida na compressão [1],[2]	1 650 J	680 J	940 J
Rendimento: Energia necessária/ Energia despendida	21 %	51,5 %	37%

Se possui equipamentos pneumáticos com pressões de trabalho distintas (por ex.: 7 bar e 3,5 bar), opte pela instalação de dois sistemas de produção de ar comprimido distintos.

Descentralização da produção de ar comprimido

A rede de distribuição deve ser o menos extensa possível. No caso de uma rede de distribuição muito extensa é aconselhável adoptar uma produção de ar comprimido descentralizada, através da instalação de dois ou mais compressores o mais próximo possível dos pontos de consumo. Através da adopção desta técnica reduz-se as perdas de carga apreciáveis que se verificam em redes de distribuição demasiadamente longas.

Redução de fugas

Deve ter presente que as fugas representam um acréscimo significativo na factura energética, como pode constatar pelo exemplo apresentado.

Uma instalação com:

- 40 fugas de \varnothing 1 mm
- 4 fugas de \varnothing 3 mm

Funcionando:

- 6 000 horas/ano
- pressão de trabalho = 6 bar
- custo médio do kWh = 0,062 €

Pela análise do quadro apresentado podemos obter a:

- potência requerida para compensar as fugas de \varnothing 1mm = $40 \times 0,3 = 12$ kW
- potência requerida para compensar as fugas de \varnothing 3mm = $4 \times 3,1 = 12,4$ kW

Diâmetro do furo	Caudal de ar a 6 bar		Potência requerida para compressão
	l/s	m ³ /min	kW
mm			
1	1	0,06	0,3
3	10	0,6	3,1
5	27	1,62	8,3
10	105	6,3	33

Donde:

- .Acréscimo anual no consumo de energia = $24,4 \times 6000 = 146\,400$ kWh/ano

Representando um acréscimo na factura energética da empresa de:

$$146\,400 \text{ kWh/ano} \times 0,062 \text{ €} = \mathbf{9\,076,8 \text{ €}}$$

Os custos inerentes à eliminação ou redução da quantidade de caudal de ar comprimido perdido para o exterior são insignificantes relativamente às economias de energia produzidas com essa acção.

Multiplicação das condutas de distribuição

Uma conduta de distribuição de ar comprimido muito extensa provoca perdas de carga elevadas ou seja, reduz a eficiência energética global do sistema. A instalação de uma conduta paralela reduz as perdas de carga obtendo-se economias de energia que poderão atingir valores apreciáveis.

Uma perda de carga de 0,6 bar provoca um acréscimo de 4,2 % no consumo de energia para a compressão. Com a instalação de uma conduta paralela, com características idênticas, para transporte de ar comprimido a diversos equipamentos anteriormente conectados a uma só conduta, o caudal transportado é dividido por dois e as perdas de carga são divididas por 4, obtendo-se uma perda de carga de 0,15 bar. O acréscimo no consumo de energia devido às perdas de carga, que na situação inicial era de 4,2 %, é reduzido para 1,1%.

A adopção de uma rede de distribuição em anel é aconselhável em virtude de provocar o mesmo efeito, ou seja, a divisão de caudais de ar comprimido por diversos ramais de conduta com a consequente redução das perdas de carga verificadas.

Sobredimensionamento do diâmetro das tubagens

O diâmetro das condutas constituintes da rede de distribuição devem ser dimensionadas com folga suficiente para absorver futuros incrementos no consumo de ar, sem necessitar de realizar modificações importantes. O custo de instalação de tubagens de raiz é muito pequeno comparado com o custo correspondente a modificações ou substituições importantes na rede de ar. O sobredimensionamento dos diâmetros reduz substancialmente as perdas de carga.

Instalação de reservatórios de ar comprimido junto de grandes consumidores instantâneos

A instalação de um reservatório de grande capacidade, quando se verificam picos de consumo muito elevados, possibilita recorrer a um compressor de pequena capacidade. O compressor descarrega ar comprimido para o reservatório durante períodos de tempo extensos, enquanto que o reservatório descarrega grandes caudais durante períodos de tempo curtos. A colocação do reservatório nas proximidades dos pontos de consumo com essas características, reduz as perdas de carga que advêm do transporte ao longo de muitos metros de tubagem de grandes caudais de ar comprimido.

Aplicação de arrancadores suaves no motor eléctrico de compressores de ar

Actualmente na maioria das indústrias os motores eléctricos são os principais consumidores de energia eléctrica e muitos deles apresentam durante o arranque desempenhos desfavoráveis de binário e intensidade de corrente originados por arrancadores clássicos de tensão reduzida (estrela-triângulo ou auto-transformador). Como alternativa os arrancadores electrónicos suaves do tipo estado sólido fornecem um arranque suave ou um arranque gradual por aplicação de tensões variáveis progressivas obtendo-se correntes de arranque limitadas e binários de arranque convenientes. Permitindo assim, economizar energia no funcionamento de motores eléctricos, por aplicação, em cada momento, da tensão adequada relativamente ao estado de carga, ou seja ajustam o consumo do motor à carga, em cada instante.

Apresenta-se em seguida um exemplo de uma instalação onde foi implementado um arrancador suave num motor eléctrico de um compressor de ar do tipo parafuso, com um motor eléctrico com uma potência de 75 kW.

Antes da introdução do arrancador suave, o funcionamento deste motor, ainda que devidamente dimensionado para o sistema mecânico associado, era perfeitamente aleatório, sendo condicionado pela optimização do número de horas de funcionamento e pelo consumo de ar comprimido, o que se repercutia num número elevado de arranques por hora, que conduzia a pontas de arranque com bastante periodicidade.

Os resultados obtidos encontram-se na tabela seguinte, onde se pode constatar uma economia de energia activa insignificante tal como os fabricantes indicam, de onde se conclui que a implementação do “soft-starter” neste motor eléctrico, justifica-se pelos arranques e paragens suaves e uniformes, que se traduzem num menor desgaste mecânico e consequentemente menores custos de manutenção.

Motor do compressor de ar	Consumo médio de energia activa (kWh/h)	Arranques (nº/h)
Sem "soft-starter"	77,1	0,95
Com "soft-starter"	76,4	0,55
Economias (%)	0,8	42,0

Unidades de pressão

PRESSÃO	
1 psi	$6,865 \times 10^3$ Pa (Pascal)
1 atm	$0,1013 \times 10^6$ Pa (Pascal)
1 bar	$0,100 \times 10^6$ Pa (Pascal)
1 kg/cm ²	$0,098 \times 10^6$ Pa (Pascal)

4.2.6 - Força Motriz

O grau de desenvolvimento tecnológico alcançado na sociedade industrial actual, tanto nas instalações industriais como nas dos serviços ou domésticos, não seria possível sem a presença maciça de uma máquina, que na sua maravilhosa simplicidade e robustez, solucionou o problema de gerar movimento e energia mecânica onde necessário. Estamos a falar do motor eléctrico de corrente alternada. A ausência desta máquina de elementos submetidos a fricção possibilita o alcance de uma grande duração sem grandes necessidades de manutenção, quando dimensionada e usada adequadamente. Por outro lado, uma percentagem muito grande da energia eléctrica consumida mundialmente é devida a estes motores, constituindo hoje uma importante linha de investigação a redução de perdas nestes motores como meio de reduzir o respectivo consumo energético.

A versatilidade e universalidade do emprego do motor eléctrico de corrente alternada passa também pelos controladores electrónicos de velocidade. A electrónica de potência, graças ao desenvolvimento de excelentes semicondutores como o rectificador de silício controlado nas suas diversas variantes e dos transístores bipolares permitiu o fabrico de equipamentos muito eficientes de produção de ondas de corrente alterna com frequência e tensão controladas (convertidores de frequência), que aplicadas ao motor, tanto síncrono como assíncrono, fazem dele uma máquina quase tão versátil, para o controle de binário e velocidade, como o motor eléctrico de corrente contínua. Este teve, em consequência, uma redução drástica no seu emprego devido ao preço mais elevado e necessidade de manutenção devido ao desgaste do conjunto colector/escovas.

De entre todos os destinos da electricidade, a sua transformação em energia mecânica é pois um dos dados mais importantes e graças aos convertidores de frequência consegue-se que esta energia mecânica se produza com motores eléctricos convencionais, de uma forma altamente controlada e flexível. Atingem-se, deste modo, as melhores prestações de eficiência, redução da contaminação ambiental e melhoria da qualidade.

Do ponto de vista do consumo de electricidade, os motores apresentam-se como as cargas mais importantes usadas em vários sectores e com uma vasta gama de aplicação de que são exemplos os ventiladores, compressores, bombas, moinhos, elevadores, transportadores, etc... Desta vasta gama de aplicações podem inferir-se significativas economias de energia eléctrica, sendo portanto desejável a utilização de tecnologias mais eficientes, capazes de reduzir o consumo de electricidade em força motriz. Estas tecnologias incluem os motores de elevado rendimento, os variadores electrónicos de velocidade (VEV's) e a melhoria dos sistemas mecânicos de transmissão, entre outros.

O consumo de electricidade pelos motores eléctricos é influenciado por diversos factores onde se incluem: a eficiência e o controlo da velocidade do motor, a qualidade da rede de alimentação, a presença de harmónicos, o dimensionamento dos sistemas, a rede de distribuição, os sistemas

mecânicos de transmissão, as práticas de manutenção e a eficiência do dispositivo utilizador final (ventilador, bomba, etc.).

Motores eléctricos

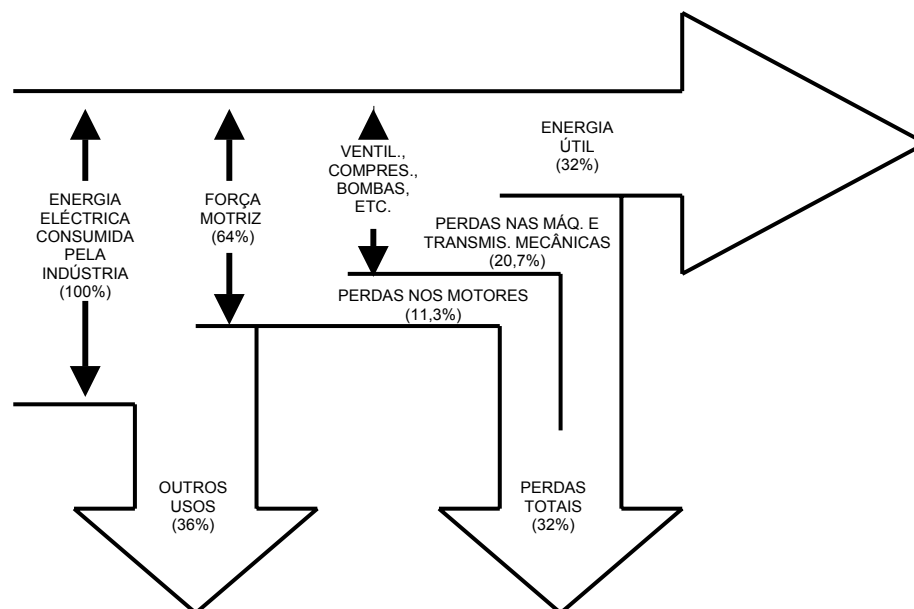
Os motores eléctricos efectuam a conversão da energia eléctrica recebida da rede em energia mecânica no seu veio, por intermédio das interacções electromagnéticas e mecânicas entre os enrolamentos e os materiais magnéticos do rotor e estator.

O accionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores eléctricos é um assunto de extraordinária importância económica nacional. No campo dos accionamentos industriais, avalia-se que cerca de 70% da energia eléctrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica através de motores eléctricos, da qual apenas metade é energia útil. Este facto, resultante de uma escolha pouco criteriosa do equipamento instalado, transforma o campo de aplicação dos motores eléctricos numa área onde os potenciais de economias de energia são significativos.

Os motores eléctricos são classificados de corrente contínua (DC), de corrente alternada síncronos (AC) e de corrente alternada assíncronos ou de indução (AC). Na indústria, o motor AC de indução do tipo gaiola de esquilo possui a maior capacidade instalada.

Os motores de indução converteram-se no tipo de motor mais utilizado na indústria. Comparando com o motor de corrente contínua, o motor de indução tem como vantagem a sua simplicidade, que se traduz em baixo custo e máxima eficácia com manutenção mínima. O rendimento é elevado para média e máxima carga e pode assegurar-se um bom factor de potência com uma selecção correcta.

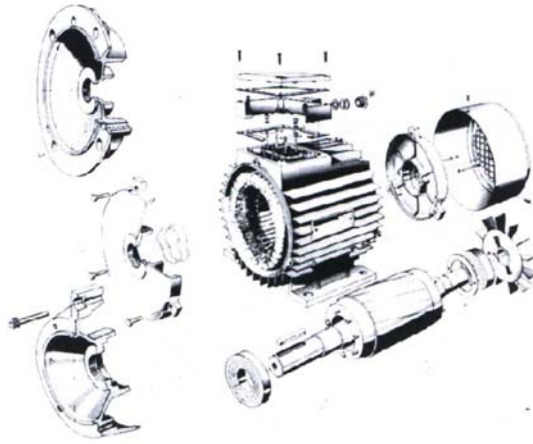
São utilizados em várias aplicações, tais como: bombas, ventiladores, compressores, misturadores, moinhos, guinchos, elevadores, tapetes rolantes, teares, enroladores, máquinas-ferramentas, tracção, etc..



Basicamente os motores assíncronos de corrente alternada, também chamados de motores de indução, são constituídos pelos seguintes elementos:

- um circuito magnético fixo, constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator;

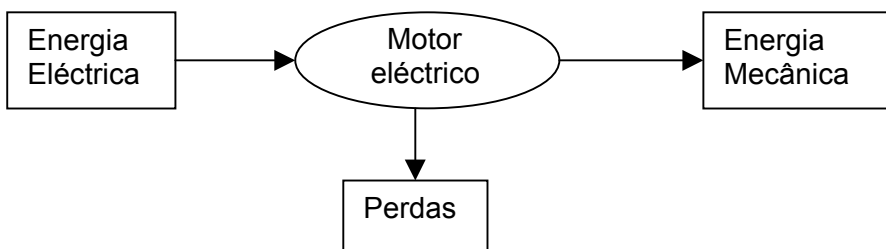
- bobinas (sendo o número de grupos variável, consoante o tipo de motor monofásico ou polifásico), localizadas em cavas abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada;
- um rotor constituído por um núcleo ferromagnético, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator.



O rotor, parte móvel do motor, é apoiado num veio, que por sua vez transmite à carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o rotor e o estator) é bastante reduzido, de forma a reduzir a corrente em vazio e portanto, as perdas, mas também para aumentar o factor de potência em vazio.

A partir do momento em que os enrolamentos localizados nas cavas do estator são sujeitos a uma corrente alternada, gera-se um campo magnético no estator, e, conseqüentemente, no rotor surge uma força electromotriz (f.e.m.) induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. A f.e.m. induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor, que tende a opor-se à causa que lhe deu origem, criando, assim, um movimento giratório no rotor. O nome deste tipo de motor, “motor de indução”, deriva deste princípio de funcionamento.

O motor eléctrico transforma, então, a energia eléctrica fornecida pela rede em energia mecânica e uma reduzida percentagem em perdas.



As perdas, que são inerentes ao processo de transformação, são quantificadas através do rendimento. O rendimento de um motor é igual à potência mecânica disponível no veio do motor a dividir pela potência eléctrica fornecida ao motor:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}} (\%)$$

A potência mecânica traduz-se basicamente, no binário que o motor gera no veio do rotor. Da interação entre o campo girante e as correntes induzidas resulta o binário motriz, T.

$$T = K \cdot B_e \cdot B_r \cdot \text{sen}\alpha$$

T – binário

K – constante

B_e - indução magnética criada pelo estator

B_r – indução magnética criada pelo rotor

α - ângulo entre B_e e B_r

Como a potência eléctrica é igual à potência mecânica mais as perdas, o rendimento pode também ser dado pela expressão :

$$\eta = \frac{(P_{el} - \text{Perdas})}{P_{el}}$$

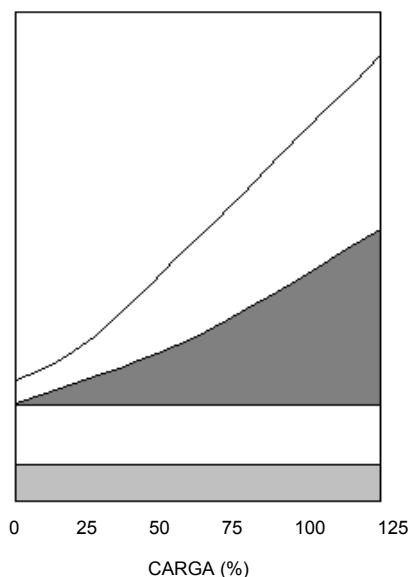
As perdas num motor de indução correspondem à energia que não é convertida em trabalho útil, e que é transformada em calor. Por isso, as perdas não só contribuem para a redução do rendimento do motor, mas também vão provocar um aumento de temperatura do motor. Um aumento excessivo de temperatura pode conduzir a uma redução substancial da vida do motor.

As perdas num motor podem ser classificadas nos seguintes tipos:

- **Perdas no cobre por efeito de Joule**- estas perdas nos condutores de cobre dos enrolamentos do estator e na gaiola do rotor, devem-se à passagem da corrente, sendo proporcionais ao quadrado da corrente e ao valor da resistência.
- **Perdas magnéticas no ferro** – as perdas no ferro estão associadas à variação no tempo do fluxo magnético, produzindo correntes induzidas no ferro (correntes de Foucault) e perdas por histerese (associadas aos ciclos de magnetização do ferro). Estas perdas são aproximadamente proporcionais ao quadrado da densidade do fluxo magnético.
- **Perdas mecânicas** – estas perdas derivam do atrito nos rolamentos e da ventilação do motor (ventilador propriamente dito e o atrito cinético do rotor com o ar envolvente).
- **Perdas extraviadas** – Estas perdas também conhecidas como perdas suplementares estão associadas a imperfeições no fabrico dos motores, nomeadamente às distorções do entreferro, às irregularidades na densidade de fluxo magnético no entreferro e à distribuição não uniforme da corrente dos condutores.

As perdas magnéticas e as perdas mecânicas são praticamente constantes, não variando com a carga. Pelo contrário, as perdas no cobre e as perdas extraviadas mostram um crescimento substancial (quadrático) com o aumento da carga. A distribuição das perdas condiciona a variação de rendimento com a carga.

Devido às perdas constantes (soma das perdas magnéticas e das perdas mecânicas), o rendimento dos motores de indução cai substancialmente para cargas inferiores a 50% da carga nominal. Entre 50% e 100% da carga o rendimento dos motores de indução permanece aproximadamente constante. O ponto de máximo rendimento ocorre normalmente entre 75 e 100% da carga, dependendo do projecto do motor.



A velocidade de sincronismo de um motor de indução (ou assíncrono) é essencialmente determinada pela frequência da energia fornecida ao motor e pelo número de pares de pólos existentes no estator. Neste tipo de motores, a velocidade de rotação do rotor é sempre inferior à do campo magnético girante, daí a designação de motor assíncrono.

A velocidade de sincronismo, em rotações por minuto (r.p.m.), exprime-se pela seguinte expressão:

$$V_g = \frac{60 \cdot f}{n}$$

V_g - velocidade de sincronismo (r.p.m.)
 f - frequência da tensão de alimentação
 n - número de pares de pólos

Da interacção entre o campo girante e as correntes induzidas, resulta o binário motriz. Existe, pois, uma diferença entre a velocidade do campo girante e a velocidade de sincronismo do rotor, pois esta é a velocidade sem carga. À medida que se incrementa a carga no motor, a velocidade diminui um pouco, consoante uma quantidade conhecida como escorregamento s . Haverá sempre algum escorregamento entre o campo girante e o rotor, pois, caso contrário, deixaria de haver correntes induzidas e o binário seria nulo. O escorregamento é definido pela seguinte expressão:

$$s = \frac{V_g - V}{V}$$

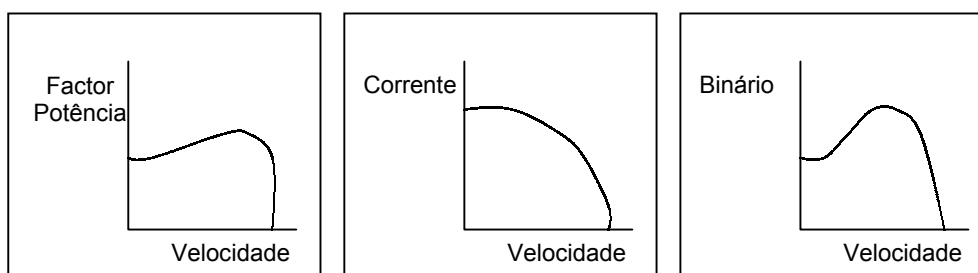
s - escorregamento
 V - velocidade do motor (r.p.m.)

O deslizamento é determinado pela característica binário/velocidade do motor, embora a maioria dos motores se construa sob standards similares.

Na tabela seguinte estão representados os valores típicos para as velocidades de sincronismo, para uma frequência da rede de 50Hz.

Número de pólos	2	4	6	8	10	12	16	24	48
Velocidade de sincronismo	3000	1500	1000	750	600	500	375	250	125

São apresentadas de seguida as principais curvas do motor de indução, no intuito de visualizar o comportamento dos vários fenómenos de uma forma geral.



Os motores assíncronos estão reservados para certos tipos de accionamentos, tais como:

- Accionamentos de potências altas ou muito altas;
- Accionamentos com grande precisão na velocidade;
- Accionamentos com muitas horas de funcionamento em que se primazia a eficiência energética.

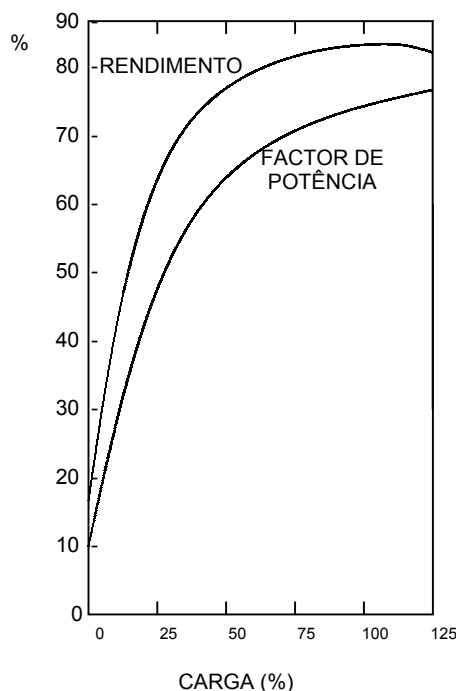
Os custos elevados da energia eléctrica põem na ordem do dia a eficiência dos motores. Deve salientar-se que, uma boa parte dos motores em funcionamento não se encontram devidamente dimensionados ao sistema acoplado, trabalhando em regime de carga parcial ou variável ao longo do tempo, de que são exemplos os que estão associados a ventiladores, bombas, correias transportadoras, máquinas pneumáticas, etc..

Muitas vezes ainda que funcionando, o motor eléctrico, em condições adequadas, existem outras perdas no sistema de potência contíguo. Para aumentar a eficiência dos sistemas de potência industriais têm sido desenvolvidas várias tecnologias que incluem os motores eléctricos de elevado rendimento, os variadores electrónicos de velocidade (VEV's), a optimização dos sistemas de transmissão mecânicos, a melhoria da performance dos dispositivos utilizadores finais (bombas, ventiladores,...), etc..

Sobredimensionamento de motores

O sobredimensionamento de motores de indução é uma situação muito frequente na indústria em Portugal, devido à utilização sistemática de factores de segurança muito elevados no dimensionamento desses motores. Como muitas vezes não se sabe com rigor qual vai ser a carga que o motor vai ter de vencer, opta-se por sobredimensionar aquele e, por vezes, também o dispositivo actuado pelo motor (por exemplo, a bomba ligada ao motor). O sobredimensionamento excessivo (superior a 30%) dos motores de indução acarreta as seguintes desvantagens:

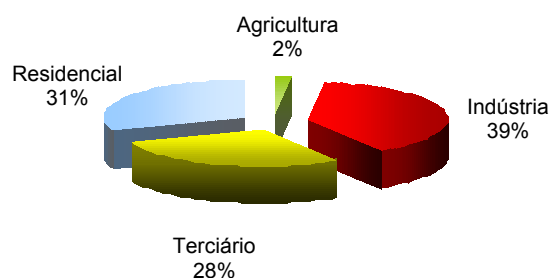
- Investimento inicial maior na aquisição do motor e na aparelhagem de comando e protecção do motor.
- Degradação do rendimento do motor, conduzindo a maiores custos de funcionamento da instalação.
- Degradação do factor de potência da instalação, com o conseqüente aumento dos custos na factura de energia eléctrica ou na necessidade de aquisição de equipamentos para compensar o factor de potência. O factor de potência decresce continuamente com a diminuição da carga. Os motores sobredimensionados são a principal causa do reduzido factor de potência de algumas instalações industriais em Portugal.



Caracterização da utilização de motores na indústria em Portugal

Dada a importância do consumo em força motriz no consumo total de electricidade na indústria, é seguidamente apresentada a caracterização da utilização de motores no ano de referência de 1996.

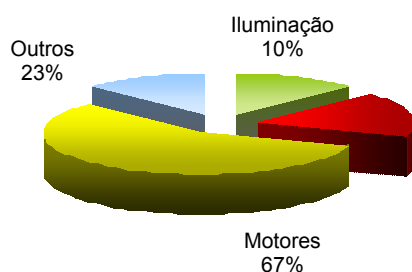
A figura que se segue, representa a desagregação do consumo de electricidade em Portugal naquele ano, nos principais sectores de actividade. Nestes, o consumo foi de 12864 GWh na indústria, 9037 GWh no sector terciário, 10198 GWh no sector residencial e 643 GWh na agricultura.



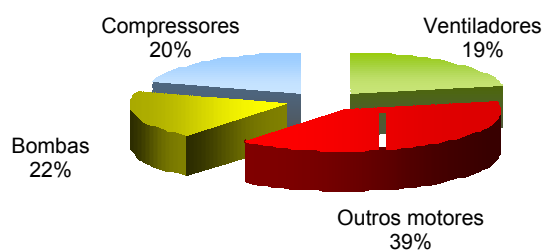
Ao nível industrial, encontra-se representado na tabela seguinte a desagregação dos consumos de energia eléctrica por sector industrial no mesmo ano de referência.

Sector Industrial	Consumo (GWh)
Alimentação, bebidas e tabaco	1344
Têxteis, vestuário, calçado e curtumes	2118
Madeira e cortiça	783
Papel, artes gráficas e publicações	1806
Química, plásticos e borracha	2290
Produtos minerais não metálicos	1858
Metalurgia de base	758
Fabric. de prod. metál. e máq., equipam. e mat. Transporte	1200
Outras indústrias transformadoras	177
Indústrias extractivas e outras	530

Como já foi referido, os motores eléctricos são os principais responsáveis pelo consumo de electricidade na indústria em Portugal. Na figura seguinte, apresenta-se a desagregação dos consumos eléctricos pelas principais cargas na indústria, onde se constata que cerca de 67% da electricidade utilizada é para alimentar motores eléctricos.



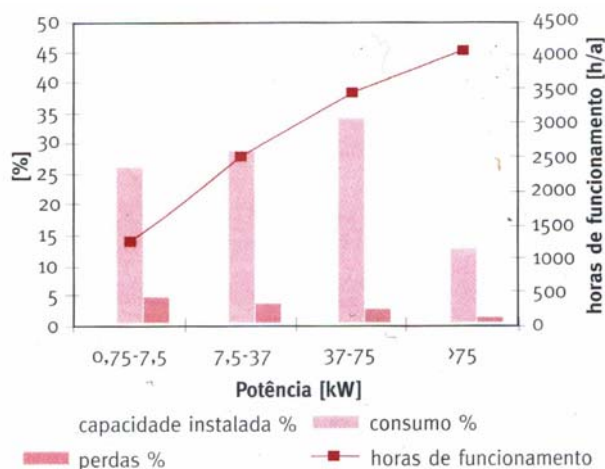
Os motores eléctricos são utilizados numa vasta gama de aplicações, principalmente na movimentação de fluídos em bombas, compressores e ventiladores. A figura que se segue representa a desagregação do consumo de electricidade dos motores pelas principais utilizações finais na indústria.



Como pode ver-se na figura anterior, as cargas de movimentação de fluídos (bombas, ventiladores e compressores) são responsáveis pela maior parte do consumo de electricidade dos motores, representando 61% do consumo total de força motriz na indústria.

É importante salientar que cerca de 90% do consumo dos motores é devido a motores de indução trifásicos, sendo os restantes 10% principalmente constituídos por motores DC. Estes dados, bem como os que se apresentam a seguir têm por base a análise de auditorias feitas em diversos sectores e alguns dados facultados pelos fabricantes de motores eléctricos, sendo assumido um factor de carga de 60% e rendimentos típicos dos motores por gama de potência.

Na figura seguinte, apresenta-se a capacidade instalada, o consumo de electricidade, as perdas e o número de horas médio de funcionamento dos motores, por gama de potência, na indústria em Portugal. Deve ser salientado que o número de horas de funcionamento tem valores muito diferentes consoante o tipo de indústria, variando desde valores superiores a 8000 horas por ano em indústrias de processo contínuo (por exemplo, as indústrias químicas e as celulosas), até valores na ordem das 2000 horas nas indústrias ligeiras com um único turno.



Sendo os motores a carga eléctrica mais importante na indústria, com uma utilização numa vasta gama de aplicações, a elevada percentagem de energia eléctrica consumida por aqueles faz com que representem um dos principais potenciais de poupança de energia eléctrica. É, portanto, desejável a utilização de tecnologias mais eficientes, capazes de reduzir o consumo de electricidade em força motriz e em muitos casos capazes de melhorar a qualidade do serviço.

Accionamentos de velocidade variável

A máquina motora por excelência, mundialmente utilizada, é o motor eléctrico de indução, dadas as suas conhecidas características gerais de robustez, construção normalizada, baixo preço e todas as restantes e bem conhecidas propriedades que não vamos aqui relembrar, por ser desnecessário. Os problemas principais neste tipo de máquinas, que poderão ter maior ou menor relevância de acordo com as aplicações específicas, são os que respeitam as características de arranque e o controlo (regulação) de velocidade.

Embora se possam encontrar algumas soluções construtivas que, em relação ao motor mais utilizado (o designado motor de rotor em curto-circuito ou gaiola de esquilo) melhorem as características do arranque como motores de dupla ou tripla gaiola, e se possam prever vários sistemas de arranque clássicos como arranque por comutação estrela-triângulo, por auto-transformador, por intermédio de resistências rotóricas sólidas ou líquidas, etc., ou ainda recorrer à utilização de motores de rotor bobinado, tais sistemas, embora por vezes de custo não muito significativo, têm possibilidades limitadas, não satisfazendo para grande parte das aplicações e introduzindo, por outro lado, adicionais e por vezes significativas perdas de energia.

O problema da regulação da velocidade tem sido, por vezes, o de mais difícil solução obrigando, em muitos casos, o recurso ao emprego de motores especiais de corrente contínua, de preço superior, conservação mais dispendiosa e aplicação mais difícil pelas suas características construtivas (colectores e escovas), em locais industriais de certo modo poluídos, como acontece em muitas indústrias químicas, de cimento, de papel, minas, captação de águas, esgotos, etc.. Outros métodos convencionais de controlo de velocidade de um motor, por via da interposição entre este e a carga de diversos tipos de dispositivos, tais como caixas de velocidade com engrenagens, sistemas de correia com polias de diâmetro variável, embraiagens excêntricas de disco seco, transmissões hidráulicas e embraiagens electromagnéticas, estão a cair em desuso devido a serem soluções volumosas, nalguns casos de baixo rendimento (exemplos dos dois últimos tipos) e necessitarem de manutenção periódica. A única área em que ainda é viável a utilização destas soluções é nas aplicações de pequena potência.

Um outro factor cada vez mais actual e pertinente, que vem merecendo a atenção dos fabricantes e utilizadores é a premente necessidade de economizar energia.

Variadores electrónicos de velocidade

Aos variadores de velocidade está destinado um papel extremamente relevante na economia directa de energia.

A grande maioria dos motores utilizados na indústria são motores de corrente alterna com velocidade aproximadamente constante. Uma grande parte das aplicações em que se utiliza força motriz beneficiaria, em termos de consumo de electricidade e desempenho global, se a velocidade do motor se ajustasse às necessidades do processo. Isto é especialmente verdade em novas aplicações que podem tirar partido do controlo preciso de velocidade. Os potenciais benefícios da variação da velocidade incluem uma melhoria da produtividade e qualidade dos produtos, menos desgaste nos componentes mecânicos e uma poupança substancial de energia.

Recentemente, os variadores electrónicos de velocidade (VEV's) têm-se tornado mais atractivos do ponto de vista económico, de desempenho e fiabilidade, fornecendo maiores possibilidades de amortização rápida dos respectivos custos e de poupança energética. A rentabilidade dos variadores depende da potência do motor a controlar e do tipo de aplicação. No entanto, há outros factores que influenciam a rentabilidade dos variadores, como o número de horas de funcionamento e o regime de carga do motor (quanto mais variável for o regime de carga, maior o potencial de poupança).

Caracterização dos VEV's

Devido ao progresso verificado nas últimas décadas nos domínios da microelectrónica e electrónica de potência, os variadores electrónicos de velocidade (VEV's) vieram alargar substancialmente a gama de aplicações em que é vantajosa a variação de velocidade dos motores de corrente alterna. Além da possibilidade de regulação de velocidade, os VEV's, também chamados fontes de frequência variável (ou conversores de frequência) substituem, com enormes vantagens, todos os sistemas até agora utilizados para o arranque dos motores de indução. Normalmente, estes aparelhos convertem a frequência (50 Hz) e a tensão fixas da rede, em valores ajustáveis, apropriados às características do motor. Como é sabido, neste tipo de motores é a frequência que determina a sua velocidade pela conhecida expressão:

$$V = \frac{60 \times F}{P}$$

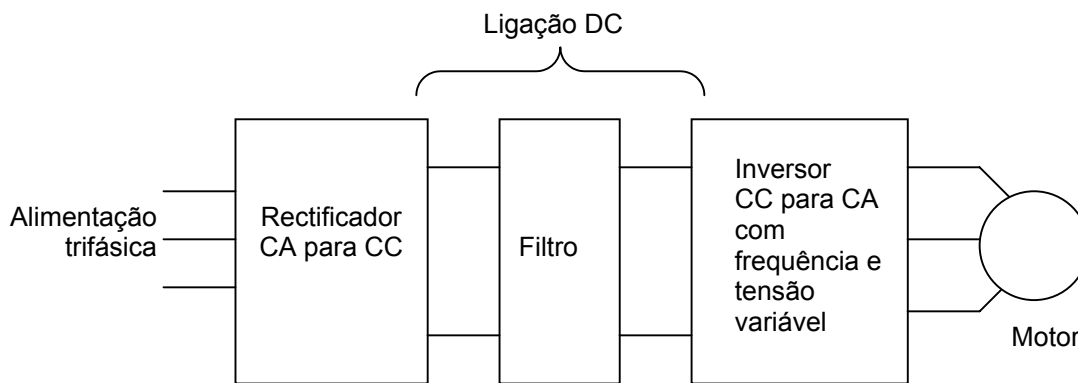
sendo: V = a velocidade (r.p.m.)

F = a frequência

P = o número de pares de pólos

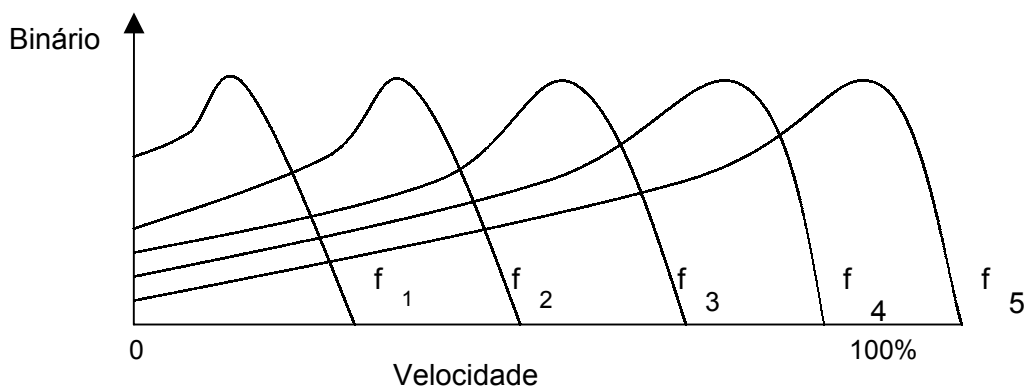
Este último é um valor constante (de construção), como é sabido. O variador de frequência controla a frequência (F) e a tensão aplicadas ao motor e portanto a velocidade (V), que é proporcional ao valor de frequência.

Normalmente, os VEV's convertem a tensão da rede de 50 Hz numa tensão contínua e em seguida sintetizam uma frequência variável sob controlo externo do utilizador que pode ir de 0 a 150 Hz consoante o tipo de aplicações. Devido à sua flexibilidade, alto rendimento, elevada fiabilidade e custo decrescentes, os VEV's têm vindo a aumentar significativamente a sua penetração no mercado. Há diversos tipos de configurações no circuito electrónico dos VEV's, consoante o tipo de motor e a gama de potência. Os tipos mais comuns de VEV's utilizam inversores na configuração esquemática na figura que se segue.



No andar de entrada a alimentação trifásica é convertida em tensão contínua, seguindo-se um andar de filtragem. No andar de saída um inversor converte a tensão contínua numa tensão trifásica de frequência e amplitude ajustáveis.

A velocidade do motor é proporcional à frequência de saída de modo que o ajuste de frequência permite controlar a velocidade do motor. Quando se pretende que o binário máximo permaneça constante quando a velocidade varia, a amplitude da tensão produzida varia linearmente com a frequência (excepto a baixa velocidade, em que a tensão é subida para compensar a queda de tensão resistiva no motor). Estas características permitem não só regular continuamente a velocidade mas também efectuar arranque suaves. Estes além de diminuir substancialmente a corrente de arranque, reduzem também o desgaste no equipamento mecânico accionado.



Um aspecto importante que distingue os inversores da rede trifásica consiste na ausência de caminho de retorno para a energia reactiva que habitualmente oscila entre a fonte e a carga num sistema sinusoidal. Assim, é o próprio inversor que tem que funcionar como fonte reactiva para o motor. O esquema utilizado consiste em proporcionar um caminho para a circulação de corrente entre duas fases do motor para que estas possam permutar a energia armazenada entre si em vez de cada uma delas o fazer com a rede.

O rendimento dos VEV's deve ser entendido como o rendimento global do conjunto inversor+motor, que é o produto dos rendimentos individuais dos dois, sendo o motor afectado neste caso pela presença de harmónicos. Na generalidade das situações o valor registado para a velocidade e a carga nominais oscila entre os 80 e 90%, ainda que sejam possíveis rendimentos típicos de VEV's de 95-97% à plena carga, que decrescem lentamente à medida que a carga se reduz. Para velocidades inferiores à nominal mas com um binário constante os rendimentos entre 70 e 80% a 20% da velocidade nominal para as montagens VSI e CSI e entre 60 e 70% para a PWM, com maiores perdas de comutação.

As cargas de bombagem, por exemplo, nas quais as necessidades em binário decrescem com a velocidade, fazem baixar bastante o rendimento dos VEV's. Isto acontece porque em situação de baixa velocidade e binário reduzido tanto o motor como o inversor funcionam com rendimentos

pequenos. O VEV pode chegar a valores de rendimento da ordem dos 15% para 20% da velocidade, mas a esta velocidade uma bomba não desenvolve mais do que 1% da potência nominal de saída.

Assim, em termos de potência nominal, as perdas estão longe de ser significativas e a importância relativa do baixo rendimento a baixa velocidade é diminuta. Além disso, é preciso lembrar que os métodos alternativos ao VEV são ainda menos eficientes neste regime (por exemplo, o motor com rotor bobinado e reóstato líquido).

A rentabilidade da utilização de VEV's no controlo de caudais está sobretudo dependente do número de horas de funcionamento da instalação, do regime de carga (quanto menor é a carga, maior é o potencial de conservação) e da potência em jogo. O custo por kW dos VEV's diminui à medida que a capacidade aumenta. Este facto deriva de que, se considerarmos dois VEV's do mesmo tipo, por exemplo um de 25 kW e outro de 50 kW, só os andares de potência são diferentes, sendo os circuitos de controlo semelhantes.

Um exemplo de aplicação destes reguladores de velocidade encontra-se nos ventiladores de fornos, os quais, geralmente estão sobredimensionados para ter uma ampla margem de regulação. Mediante a aplicação de variadores de frequência aos motores destes ventiladores podem conseguir-se economias de 40-50% de consumo eléctrico dos mesmos, com períodos de retorno do investimento francamente atractivos.

Um outro exemplo de possibilidade de controlo proporcionada por VEV's encontra-se, como já se referiu, em sistemas de bombagem, onde é prática habitual um dimensionamento que não é o mais adequado. Um sistema que se destina a debitar um certo caudal e a vencer uma determinada altura é normalmente sobredimensionada em termos de qualquer daquelas variáveis, para que a instalação venha a funcionar "do lado da segurança" em relação a regimes que vai encontrar na sua vida útil. A altura a vencer pelo caudal bombado é determinada por excesso porque a parcela devida a eventuais perdas de carga por fricção nas tubagens é obtida com o auxílio de coeficientes já de si tendentes ao sobredimensionamento, sendo no fim atribuída ainda uma percentagem adicional para aumentar a segurança do cálculo. Como resultado desta prática comum acontece que tanto o caudal como a altura são sobreestimados no projecto, pelo que a curva real de funcionamento do sistema passa a funcionar com alturas menores para o mesmo caudal, e a bomba escolhida só poderá funcionar nas condições de referência desde que haja um processo de introdução de perdas por atrito adicionais, o que é normalmente conseguido com válvulas de estrangulamento de caudal.

Dado que a potência mecânica solicitada ao motor é proporcional ao produto da altura pelo caudal a dividir pelo rendimento da bomba, a potência desperdiçada é proporcional ao produto do caudal de referência pela diferença de alturas (entre aquela a que poderá funcionar com o caudal referido, após o estrangulamento, e a altura resultante do dimensionamento que terá que vencer) a dividir pelo rendimento da bomba. Há estimativas que situam as perdas devidas ao estrangulamento de caudais de 20% de toda a energia consumida pelos sistemas de bombagem. Donde se infere que sistemas de controlo de caudais de fluidos como o atrás citado são ineficientes, sobretudo quando o sistema é usado bastante abaixo da capacidade nominal ou funciona a cargas bastante variáveis em regime de operação contínua, pelo que uma alternativa a esta prática pode, pois, ser a regulação de caudal por velocidade regulável da bomba, conduzindo a rendimentos bastante superiores (é típico passar-se de 31% para 72%) e, conseqüentemente, a menores consumos de energia.

O tempo de amortização de um VEV aplicado a uma bomba varia bastante de caso para caso. Um valor entre um e três anos parece razoável tendo em atenção os parâmetros actuais que condicionam a rentabilidade do investimento. Mas é de esperar que este valor baixe se os preços da energia aumentarem (ainda que não seja esta a tendência actual) e também prosseguir a tendência para o embaratecimento da tecnologia dos VEVs.

Tipos de variadores electrónicos de velocidade

Os principais tipos de VEVs são:

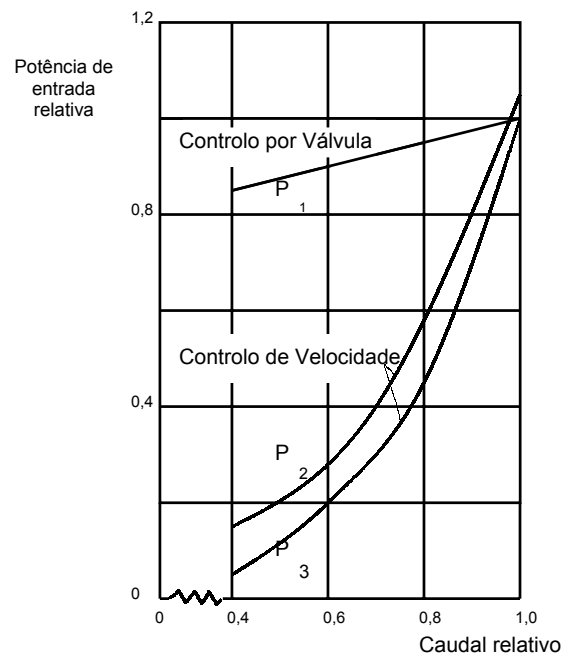
- Inversor por fonte de tensão (VSI, "*Voltage Source Inverter*"): Este tipo de montagem pode ser encarado como aproximação a uma fonte de tensão trifásica, desprezando o efeito dos harmónicos, e a saída respectiva pode ser usada para alimentar directamente o motor sem nenhuma forma de controlo em malha fechada. No andar de saída é produzida uma onda de tipo quadrado. Este tipo de VEV tem sido progressivamente abandonado devido aos harmónicos gerados e ao baixo factor de potência quando a carga é reduzida.
- Modulação por largura de impulso (PWM, "*Pulse Width Modulated VSI*"): No andar de saída é sintetizada uma sinusóide de amplitude e frequência variável através da comutação a frequência elevada de uma tensão contínua, permitindo obter uma tensão de amplitude e frequência variável. Tal como na montagem VSI, também a PWM pode ser encarada como aproximação a uma fonte de tensão trifásica, desprezando o efeito dos harmónicos, e a saída respectiva pode ser usada para alimentar directamente o motor sem nenhuma forma de controlo em malha fechada. A indutância do motor funciona como filtro sendo a corrente praticamente sinusoidal. Devido ao bom factor de potência (em qualquer regime de carga) e ao baixo conteúdo de harmónicos, os VEVs com PWM dominam largamente o mercado para aplicações até algumas centenas de kW. Na gama até 1000 kW, o tipo predominante utiliza a modulação por largura de impulso com saída a transístores/IGBTs.
- Inversor por fonte de corrente (CSI, "*Current Source Inverter*") : este tipo, juntamente com o VSI e o PWM, constituem um dos três tipos mais comuns de montagem de inversores. A alimentação trifásica é convertida em corrente contínua, sendo depois filtrada numa indutância que fornece uma corrente constante ao inversor. Este, por sua vez, vai gerar uma corrente que aproxima a sinusóide por patamares. Este tipo de VEV é simples e robusto, sendo sobretudo utilizado em motores de indução na gama 150 kW a 750 kW. É apropriado em aplicações em que se pretende recuperação de energia na frenagem do motor. Apresenta, contudo, um baixo factor de potência quando a carga é reduzida.
- VEVs para motores de indução de rotor bobinado: neste tipo de motores, em vez de se controlar a velocidade, através da ligação de uma resistência variável ao rotor (o que conduz a perdas elevadas), é possível utilizar VEVs ligados ao rotor do motor, que devolvem à rede a energia que seria de outro modo dissipada. Podem ser usados VEVs tipo *Kramer* estático ou *Scherbius* estático. Estes VEV's apresentam a vantagem de só terem que estar dimensionados para a variação de velocidade pretendida. Por exemplo, num motor de rotor bobinado de 375 kW, se a velocidade variar entre 70% e 100% da velocidade nominal, o VEV necessita apenas de ter uma capacidade de 110 kW.
- Inversores com comutação pela carga: em motores síncronos acima de 750 kW é utilizado o VEV com inversor comutado pela carga. Esta configuração permite simplificar consideravelmente o andar de saída do VEV, pois a força contra-electromotriz do motor síncrono é utilizada para comutar naturalmente os interruptores electrónicos (tiristores) do inversor. Para motores síncronos de pequena e média potência é possível utilizar VEVs com PWM ou com inversor por fonte de corrente.
- Cicloconversores: em aplicações de grande potência (> 750kW) e baixa gama de velocidades é recomendável o uso de cicloconversores. Neste tipo de VEVs os 50 Hz da rede são convertidos directamente numa frequência variável (tipicamente 0 – 25 Hz), através da comutação sequencial da tensão trifásica por um grande número de interruptores electrónicos (tiristores). O cicloconversor permite obter velocidades muito baixas (sem recurso a caixas de velocidade) com binários elevados, sendo recomendável a sua aplicação em fornos de cimento rotativos, moinhos de grandes dimensões e trens de laminagem.

Em resumo, o uso de um ou outro tipo de VEVs dos referidos atrás depende da aplicação do motor ou motores. Alguns sistemas são capazes de controlar vários motores, embora com uma curta gama de velocidades, e outros apenas um motor, mas com uma ampla gama de velocidades.

Campos de aplicação

As aplicações com maior potencial para conservação de energia são as bombas, ventiladores e compressores. Estes tipos de cargas, associadas à movimentação de fluidos por acção centrífuga, representam cerca de 60 % das aplicações da força motriz na indústria, sendo aquela percentagem ainda mais significativa nas indústrias de papel, refinarias e outras indústrias químicas. Acontece, geralmente, que as potências fixadas para os motores eléctricos de accionamento destes equipamentos são normalmente determinadas em relação aos caudais nominais. Todavia, em grande parte das aplicações correntes, esses caudais precisam ser reguláveis ao longo dos processos de utilização e, para isso, há que recorrer ao emprego de dispositivos de estrangulamento – válvulas, *dampers* e acessórios similares, para obter a a variação dos mesmos. Tais dispositivos cumprem normalmente as funções desejadas, mas em equivalente poupança de energia consumida (face à introdução simultânea de perdas consideráveis).

Por exemplo, na figura seguinte está representada a variação de potência eléctrica necessária para controlar o caudal de uma bomba. Usando uma válvula convencional, verifica-se que reduzindo o caudal, a potência absorvida pouco decresce. Se, pelo contrário, a redução do caudal é conseguida através da redução de velocidade da bomba, então a potência absorvida decresce fortemente.



- P₁ : Controlo por válvula
- P₂ : Controlo de velocidade incluindo perdas no VEV
- P₃ : Controlo de velocidade sem perdas no VEV – controlo

Portanto, o único método eficaz de poupança passa pela variação da velocidade da bomba, ou seja, do respectivo motor de accionamento, para se obterem as variações dos débitos desejados, com consumo proporcional da potência. É de salientar que, neste tipo de equipamento, tal como nos ventiladores, existe uma relação de tipo aproximadamente cúbica entre a velocidade de rotação e a potência mecânica absorvida, enquanto que o caudal é aproximadamente

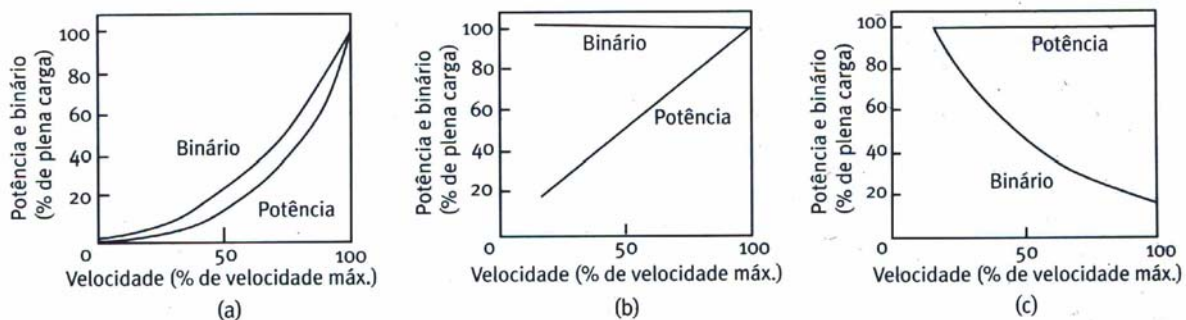
proporcional à velocidade de rotação. Donde se infere que, reduzindo, por exemplo, o caudal em 20%, o consumo de energia eléctrica pode ser reduzido a metade. Logo, este é um dos campos de aplicação onde os variadores de velocidade têm actualmente uma função relevante.

O potencial de poupança energética ao diminuir a velocidade na carga depende pois, das características da mesma. Basicamente, as cargas classificam-se em três tipos: binário variável, binário constante e potência constante.

Binário variável – As leis fundamentais que gerem o funcionamento dos ventiladores e das bombas mostram que estas aplicações têm um grande potencial de economia de energia. As leis associadas indicam que o binário (ou pressão) varia com o quadrado da velocidade e a potência com o cubo da velocidade, sendo o caudal proporcional à velocidade. Reduzindo a velocidade da carga, vê-se que, para mudanças relativamente pequenas de velocidade produz-se uma grande diminuição na potência absorvida.

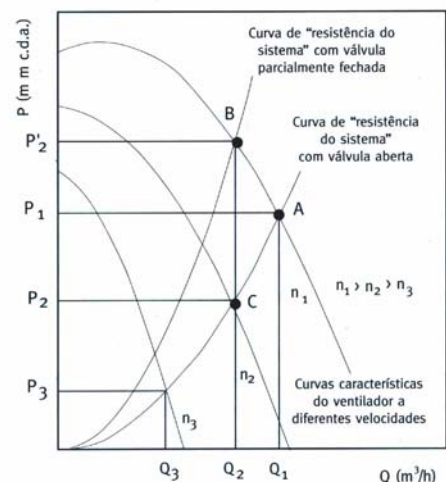
Binário constante – Para aplicações nas quais se produzem deslocamentos efectivos (compressores de ar, tapetes transportadores, agitadores, aplastadores e bobinadoras), o binário não varia com a velocidade e a potência é directamente proporcional ao trabalho útil realizado. Embora as potenciais poupanças de energia que se consigam reduzindo a velocidade não sejam tão importantes como para as aplicações que se regem pela lei do quadrado do binário, merece a pena prestar atenção a este tipo de aplicações, já que, reduzindo a metade a velocidade de uma carga do binário constante pode reduzir-se igualmente a metade do consumo de energia.

Potência constante – Este tipo de característica da carga dá-se onde a potência não varia com a velocidade e o binário é inversamente proporcional à velocidade. As aplicações deste tipo são, por exemplo, máquinas-ferramenta e bobinadoras.

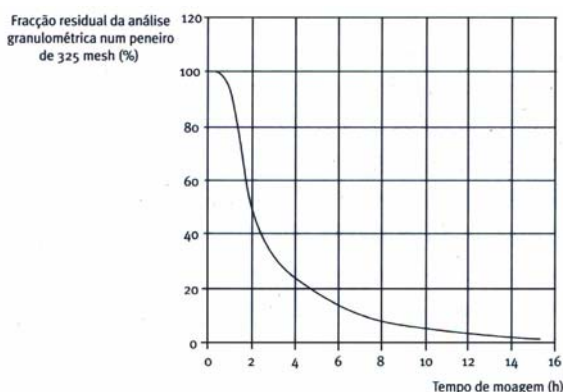


Dos três tipos de carga mencionados, observa-se que as poupanças mais importantes se obtêm nas cargas de binário quadrático, onde uma pequena diminuição da velocidade supõe uma grande diminuição na potência absorvida pelo motor (reduzindo, por exemplo, a velocidade em 20%, o consumo de energia eléctrica pode ser reduzido a metade).

A figura que se segue, representa dois processos de controlo de caudal num ventilador. O ponto de funcionamento do sistema deriva da intersecção da curva característica do ventilador com as “resistências do sistema”. Se se pretende diminuir o caudal Q (e aumentar a pressão p), correspondente ao ponto de funcionamento A, fechando parcialmente uma válvula intercalada no sistema, isso traduz-se num aumento da resistência deste, isto é, a aumentar o valor de k na equação $p=kQ^2$ ou a deslocar a parábola no sentido inverso ao dos ponteiros do relógio, que faz deslocar o ponto de funcionamento para B. Alternativamente, reduzindo a velocidade do motor/ventilador, o ponto de funcionamento desloca-se para



C, produzindo uma redução de caudal semelhante ao obtido no ponto B. Contudo, no primeiro caso, há um desperdício de potência relativamente à redução de velocidade, proporcional ao caudal e à diferença de pressão entre os pontos B e C (atendendo a que potência absorvida = pressão x caudal volumétrico).



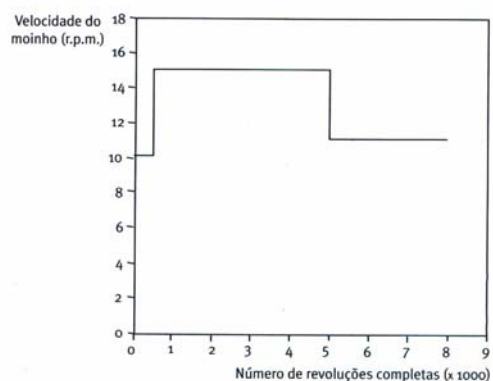
Os VEVs também podem ser utilizados para economizar energia em aplicações específicas de processo, para além das correspondentes a serviços auxiliares (ventilação, condicionamento de ar, bombagem, etc.). Um exemplo de uma aplicação destas, no âmbito das tecnologias de processo, consiste na utilização de variadores de frequência em motores de moinhos descontínuos de preparação da pasta, na indústria cerâmica, que permitem o ajuste da velocidade de rotação dos moinhos em função da curva de moagem da matéria-prima (isto é, por forma a manter as condições óptimas de moagem ou a optimização da relação

granulometrias óptimas = função (velocidade de rotação)).

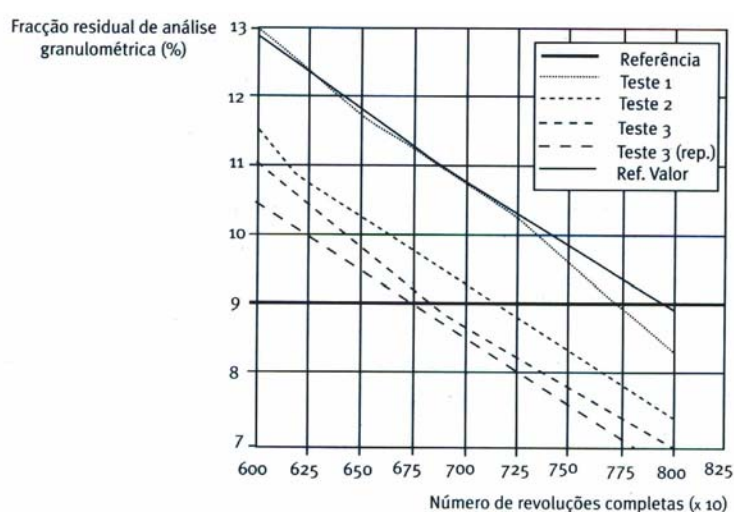
Para estabelecer as condições óptimas de operação, é necessário determinar as melhores velocidades do moinho para cada uma das zonas da curva de cominuição do material, para as quais a acção de moagem do material moente é máxima, aumentando deste modo a eficácia do processo. É intuitivamente claro que, mantendo uma velocidade constante no moinho durante todo o ciclo de moagem (o que normalmente acontece nos sistemas convencionais de moinhos não equipados com conversores de frequência), não é possível ajustar a acção de moagem às dimensões que o material assume com o decorrer da operação.

Uma acção adequada na regulação da velocidade de um moinho, com base num critério de desenvolvimento da acção de moagem, na qual predomine numa primeira fase o esmagamento ou a quebra do material a moer de dimensões maiores pela queda do material moente (normalmente, estes moinhos são do tipo de bolas, sendo a sílica ou a “alubite” os tipos de materiais mais usuais destas), e numa segunda e última fase predomine o atrito (pelo recíproco rolamento das bolas umas sobre as outras) de modo a homogeneizar as dimensões finais, tornará possível aumentar o rendimento do processo com economias de energia e do tempo de moagem.

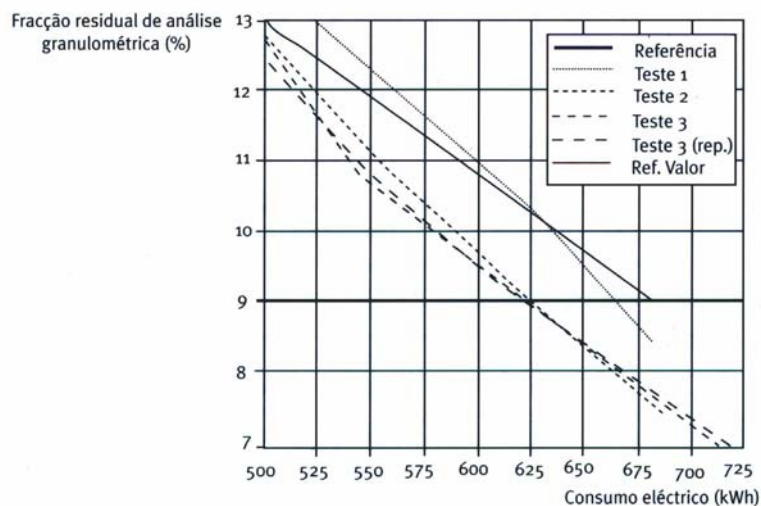
Estes decréscimos nos consumos energéticos (eléctricos) e no tempo de moagem decorrentes da aplicação de variadores electrónicos de velocidade têm sido comprovados por alguns resultados experimentais. Em testes de moagem realizados com velocidades variáveis num determinado moinho, por exemplo, os melhores resultados foram obtidos com uma curva, na qual, depois de uma fase inicial de 10 r.p.m. para as primeiras 500 revoluções do moinho, a moagem foi conduzida a 15 r.p.m. durante 5000 revoluções e, posteriormente, a 11 r.p.m. até à obtenção das dimensões adequadas. Este procedimento encontra-se visualizado na figura seguinte, para o caso de moagem de material para obtenção de uma pasta utilizada no fabrico de pavimento em grés branco por monocozedura (Características principais do moinho: 38 000 l de capacidade; Material moente – sílica; Revestimento interno – borracha; Potência do motor – 110 kW; N.º total de revoluções – 8 000; Velocidade usual (antes da aplicação do VEV) – 13,8 r.p.m.; Tempo de moagem – 9,67 h (9h40min); Fração residual do peneiro a 45µm (ASTM325 mesh) – 9%; Produção – 26 500 kg de pasta com um teor médio de água de 32%).



Os dados da figura acima ilustram o comportamento da fracção residual num peneiro de 325 *mesh* da pasta produzida no moinho, sob diferentes condições de velocidade (após a instalação de um VEV) na sua operação, em função do número de revoluções completas por forma a serem avaliadas as melhores condições operatórias.



Constata-se que o teste que conduziu aos melhores resultados está representado pela curva 3, em que a fracção residual de referência, obtida por peneiração, foi atingida com 6 750 revoluções em vez das 8 000 iniciais (quando o moinho ainda não tinha aplicado o VEV). Na figura seguinte, está representado o comportamento da fracção residual obtida por peneiração em função da energia consumida pelo moinho.



A correspondência entre este último gráfico e o precedente é agora clara. Atingindo a fracção residual de peneiração com menos revoluções, significa melhor utilização da energia consumida, e daí as economias de energia resultantes.

Estes testes revelaram que as melhores condições de moagem originaram uma redução de 13,6% no tempo de moagem (equivalente a 1h 20min) e uma redução de 8,9% no consumo de energia (equivalente a 60 kWh) em comparação com as condições de referência. Contudo, de acordo com resultados já verificados noutros países (sobretudo em Espanha e Itália, os dois principais produtores da União Europeia de pavimento e revestimento cerâmicos) são possíveis reduções superiores, quer do consumo de energia eléctrica, quer do tempo de moagem, sendo típicos valores da ordem de 10 a 25%, dependendo principalmente das matérias-primas a moer e da relação entre a carga de material e a carga de moente, além de que é possível melhorar a qualidade do produto final, tudo isto com a vantagem de uma maior flexibilidade no processamento de diferentes materiais.

Existem basicamente três vantagens fundamentais que podem ser obtidas com a aplicação de um variador electrónico de velocidade a um moinho de bolas descontínuo de preparação de pasta:

- Arranque gradual do moinho que torna possível a eliminação de picos de corrente.
- O motor pode ser conectado a uma transmissão via junta rígida em vez de junta viscosa, permitindo durante todo o ciclo de moagem a redução de fricção.
- A acção de moagem pode ser ajustada adequando-se às dimensões que o material assume com o avanço do processo, obtendo-se uma optimização do ciclo de moagem.

Na prática, os benefícios obtidos resultam essencialmente em vantagens adicionais no que respeita a ganhos energéticos e de operação do equipamento entre as quais se destacam:

- Menor consumo de energia eléctrica
- Menor tempo de moagem
- Aumento da produtividade
- Possibilidade de utilização da energia eléctrica durante períodos de tempo economicamente favoráveis e/ou maior disponibilidade daquela forma de energia para outras utilizações
- Melhoria na correcção do factor de potência do motor do moinho
- Maior simplicidade do equipamento e da maquinaria
- Menor desgaste das partes de transmissão mecânica

O custo médio destes sistemas de controle de velocidade de moagem em moinhos de bolas depende da potência instalada e da capacidade do moinho, sendo aqueles normalmente viáveis apenas para moinhos de capacidade superior a 35 000 litros. De salientar que esta medida também pode implicar uma redução dos custos operatórios, já que em alguns casos, a redução do tempo de moagem pode tornar possível o uso de material moente de baixa densidade (sílica em vez de “alubite”, mantendo-se a produtividade da operação de moagem a níveis aceitáveis e com economias consideráveis nos custos desses materiais, o que, por outro lado, aumenta a competitividade do produto. Noutros casos, uma menor granulometria do material também é possível, o que pode conduzir a melhorias na qualidade do produto final, como já foi referido, sem que isso implique aumentos do tempo de moagem, do consumo energético do moinho e dos custos de produção.

É de salientar que, as aplicações de VEVs não se esgotam nos exemplos a que se fez referência, quer em termos de equipamentos, quer em termos de tipos de indústrias.

Principais benefícios

As vantagens proporcionadas pela aplicação dos VEVs a motores eléctricos na indústria, em geral, podem resumir-se a :

-
- economias de energia até 50% ou mais, com um valor médio de 20 – 25%
 - redução das pontas de potência, proporcionada pelos arranques suaves que permitem efectuar
 - prolongamento da duração do motor
 - melhoria do factor de potência, com reflexo no $\cos\phi$ da instalação e conseqüente redução da energia reactiva e, eventualmente, da correspondente parcela da factura energética
 - aumento da produtividade
 - capacidade de “by- pass” perante falhas do variador
 - amplas gamas de velocidade, binário e potência
 - melhoria do processo de controlo e portanto da qualidade do produto; e
 - diminuição da quantidade das partes mecânicas – os VEVs possuem normalmente diversos tipos de protecções para o motor (contra curto- circuitos, sobreintensidades, falta de fase, etc.) que deixam assim de ser adquiridas isoladamente, e oferecem uma enorme flexibilidade de colocação (contrariamente aos processos convencionais de regulação de velocidade, que implicam a interposição do variador de velocidade entre o motor e a carga) e são mais compactos, o que faz com que a sua aplicação no melhoramento do rendimento de processos já existentes não ofereça problemas de implantação – podem ser facilmente integrados em sistemas automáticos de gestão de produção, porquanto vêm preparados com diversos tipos de entradas (0 – 1V, 0 – 5 V, 4 – 20 mA) que permitem o seu controlo por computador externo responsável pela condução do processo industrial.

Não obstante todas as vantagens apontadas, a aplicação de VEVs também pode dar lugar a alguns efeitos indesejáveis, nomeadamente poluição harmónica que tende a aumentar as perdas nos motores. No caso de motores alimentados a partir de VEVs, os regimes de baixa velocidade são caracterizados por quebra na ventilação a par da circulação de correntes harmónicas, típicas do funcionamento dos VEVs. Esta situação provoca uma elevação da temperatura de funcionamento dos motores, quando o regime de velocidade baixa se prolonga. Esta produção indesejável de harmónicos (tanto para o motor como para a rede) pode, pois, reflectir-e num baixo factor de potência e em interferências electromagnéticas. A mitigação destes efeitos pode implicar investimentos adicionais que devem ser considerados na avaliação económica do investimento.

Uma avaliação económica do investimento em VEVs requer normalmente os seguintes passos:

- Determinação do diagrama de carga do equipamento em cujo motor eléctrico se pretende aplicar o VEV. Este passo obriga a uma mediação do respectivo caudal ao longo do tempo.
- Com base na potência instalada e no diagrama de carga é possível determinar para cada regime de carga qual a potência economizada, relativamente ao dispositivo regulador de caudal actual. A quantidade de energia eléctrica economizada por ano resulta da soma da energia poupada (potência poupada vezes o número de horas de duração) em cada regime de carga. Se o regime de carga se reduz a um pequeno número de caudais (4 ou menos) poderá ser vantajoso considerar um motor com várias velocidades.
- Determinação do custo total do VEV, incluindo instalação e eventuais medidas requeridas para supressão de harmónicos e interferências. Em aplicações novas pode descontar-se o custo do arrancador e das protecções do motor implementados pelo VEV.
- O período de recuperação do investimento é calculado a partir da divisão do valor do investimento obtido do 3.º passo pelo valor da economia de energia estimada no 2.º passo.

Arrancadores suaves

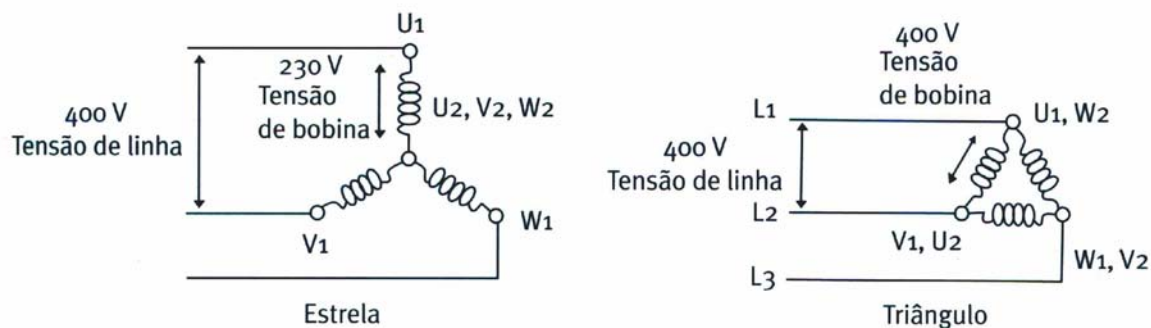
Noa ambientes industriais automatizados de hoje, os motores eléctricos são os principais consumidores de energia eléctrica, produzindo a energia mecânica responsável pelos diversos accionamentos eléctricos, constituindo, por isso, o tipo de arranque adequado dos motores de indução, uma medida de utilização racional de energia.

A corrente de arranque em ligação directa para um motor de indução pode ser seis ou sete vezes a corrente normal à plena carga. Nalgumas circunstâncias – e especialmente para os motores

mais pequenos – esta elevada corrente de arranque é aceitável, mas para máquinas maiores, o requisito feito ao sistema eléctrico local poderá ser demasiado grande e a tensão nos enrolamentos do motor poderá ser excessiva.

Os motores assíncronos trifásicos apresentam durante o arranque desempenhos desfavoráveis de binário e de intensidade de corrente originados por arrancadores clássicos de tensão reduzida, de que são exemplos o arranque estrela – triângulo ou o arranque por auto – transformador e que se repercutem em elevadas perdas energéticas.

Na maioria dos motores de indução trifásicos, os extremos das bobinas de cada fase são levados aos terminais e, portanto, a máquina pode ligar-se em estrela ou em triângulo. Na ligação em estrela, a tensão através da bobina de cada fase reduz-se em 58% relativamente à ligação em triângulo; o motor apresenta, portanto, uma impedância mais alta à alimentação e a corrente de arranque está limitada a um terço da corrente de arranque para ligação em triângulo. A totalidade do binário – e, portanto, o consumo da potência – só se desenvolve quando se realiza a comutação para triângulo. Esta comutação de estrela a triângulo pode realizar-se com um contactor temporizado.



De forma a corrigir estes desempenhos, estabelecendo-se as melhores condições de funcionamento, utilizam-se cada vez mais os controladores de estado sólido, que substituem os tradicionais arrancadores do tipo electromecânico.

Caracterização de “soft – starters”

Os arrancadores electrónicos suaves são uma alternativa que utiliza um dispositivo simples, tal como um triac para retardar o disparo de cada ciclo de tensão e portanto reduzir a tensão eficaz aplicada ao motor.

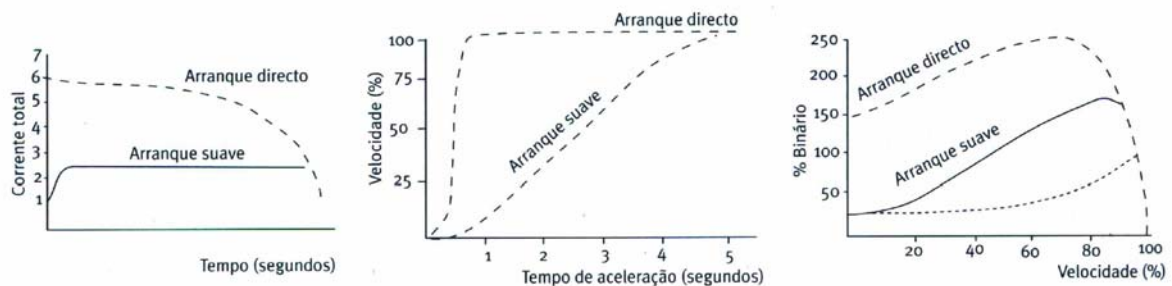
À parte de uma pequena poupança de energia durante a rampa de subida, os arrancadores suaves não reduzem a energia que o motor consome. No entanto, reduzem o desgaste mecânico durante o arranque e a paragem, permitindo a poupança de energia desligando os motores com maior frequência.

Os arrancadores do tipo estado sólido fornecem um arranque suave ou um arranque gradual por aplicação de tensões variáveis progressivas, obtendo-se correntes de arranque limitadas a binários de arranque convenientes. Permitem, por isso, poupar energia no funcionamento dos motores eléctricos, por aplicação, em cada momento, da tensão adequada relativamente ao estado da carga, ou seja, ajustar o consumo do motor à carga, em cada instante. Oferecem também a possibilidade de escolha de três modos diferentes de arranque programado: o arranque suave, a limitação de corrente de arranque ou o arranque à tensão plena.

Além destes modos de arranque, o controlador de estado sólido permite também o ajuste do tempo da rampa de arranque suave, ou do valor máximo da corrente limite por selecção das características de arranque, optimizando deste modo todo o processo.

A figura seguinte ilustra a comparação de valores típicos, respectivamente:

- Correntes de arranque (arranque directo e com controlador) em relação à intensidade nominal.
- Tempos de aceleração (arranque directo e com controlador).
- Binário de arranque (arranque directo e com controlador).

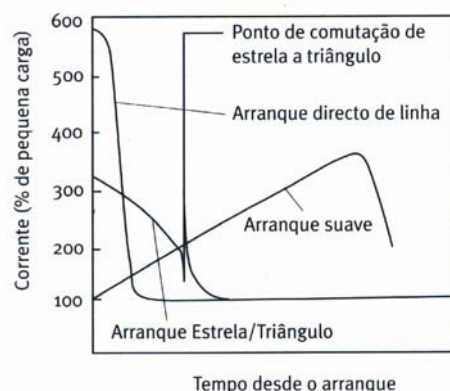


As principais vantagens do uso de controladores de estado sólido são a eliminação do ponto de transição de corrente e o tempo requerido para atingir a tensão nominal que pode ser ajustado na gama de aproximadamente 2 a 30 segundos. O resultado que se obtém é a anulação de picos de corrente quando o controlador está correctamente adaptado às características da carga.

Muitos arrancadores suaves incorporam actualmente uma característica de optimização de energia para proporcionar poupanças energéticas adicionais quando se funciona durante longos períodos a muito baixa carga. Em unidades maiores é habitual comutar o arrancador suave logo que o motor está a funcionar em plena carga para prevenir as perdas de potência dos tiristores ou *triacs* no equipamento.

A figura seguinte compara a corrente durante o arranque com um típico estrela/ triângulo, ligação directa e arrancadores suaves.

Outras funções disponíveis em arrancadores electrónicos suaves incluem protecção adicional ao motor como falta de fase, curto – circuitos, ruptura de uma linha, elevação de temperatura, tec..



Principais alterações e vantagens

Entre as variadas aplicações dos controladores de arranque, apresentam-se algumas das mais típicas:

- Maquinaria têxtil: impede a ruptura do fio ou fibra
- Telas transportadoras: evitam danos nos materiais que transportam
- Bombas: eliminam os golpes de ariete
- Ventiladores e centrifugadores: devido à sua elevada inércia e baixo binário
- Compressores
- Trituradores e agitadores nos processos químicos
- Moinhos, guas e guinchos

Entre as principais vantagens da utilização dos “soft- starters” conducentes a economias destacam-se:

- Arranque suave/ paragem suave
- Menores desgastes mecânicos
- Poupança de energia
- Corrente de arranque limitada
- Menores picos de corrente
- Menos paragens de produção
- Menores necessidades de reparação e manutenção

Motores de alto rendimento

No pós- guerra até ao princípio dos anos 70, houve a tendência para desenhar motores mais compactos, tirando partido do desenvolvimento de isolantes que podiam trabalhar a temperaturas mais elevadas. Estes motores usavam menos cobre e menos ferro, sendo portanto, mais baratos, embora as perdas fossem mais elevadas. O maior aquecimento do motor era tolerado por novos isolantes, nomeadamente vernizes que podem trabalhar a temperaturas mais elevadas.

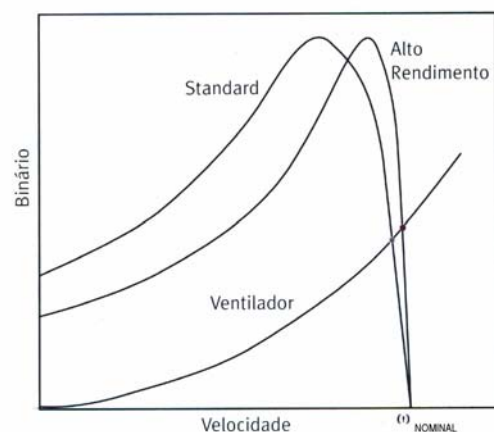
Com a crise petrolífera dos anos 70 e conseqüente aumento dos preços de energia, são introduzidos no mercado motores de alto rendimento, cuja utilização se pode traduzir em poupanças significativas nos custos de funcionamento do motor, poupanças essas que compensam o maior custo inicial de um motor eficiente relativamente aos motores standard. Relativamente aos motores standard, os motores de alto rendimento apresentam tipicamente menos 30% - 50% de perdas.

As técnicas utilizadas para aumentar o rendimento dos motores incluem: aumento da secção dos condutores no estator para redução das perdas de condução; aumento do comprimento do circuito magnético para reduzir a densidade de fluxo magnético, tendo em vista a redução das perdas magnéticas; uso de lâminas de chapa magnética mais finas e com materiais de melhores características (ciclo de histerese mais estreito e maior resistividade) para igualmente reduzir as perdas magnéticas; redução da potência de ventilação (uma vez que as perdas do motor de alto rendimento são menores) e utilização de rolamentos com baixo atrito; optimização do entreferro, tendo em vista a sua redução e a melhoria do acabamento das superfícies para diminuir as correntes de magnetização necessárias e as perdas extraviadas.

Os motores de alto rendimento são pois mais volumosos e mais caros que os motores standard, pois usam maior quantidade de matérias-primas, sendo também, algumas destas de superior qualidade. Tipicamente, os motores de alto rendimento têm um acréscimo de preço de 25-30% relativamente aos motores *standard*.

Os motores de alto rendimento, por terem menores perdas funcionam normalmente a mais baixa temperatura, o que conduz a uma vida útil mais longa. Há, contudo, aspectos menos positivos no funcionamento de um motor de alto rendimento, que são causados pela menor resistência do rotor. Assim, à medida que a resistência do rotor diminui, verifica-se:

- Diminuição do binário de arranque, o que pode trazer problemas em cargas com elevada inércia, especialmente em situações em que se verifiquem flutuações de tensão apreciáveis. Recorde-se que o binário de arranque decresce rapidamente com a diminuição de tensão.
- Aumento da corrente de arranque, o que pode ter implicações no dimensionamento da alimentação e accionamento do motor.
- Diminuição do escorregamento, ou seja, um pequeno aumento da velocidade do motor. Por exemplo, motores de 10 hp (7,5 kW) podem apresentar velocidades à plena carga de 1 460 r.p.m. ou 1 450 r.p.m., para motores de alto

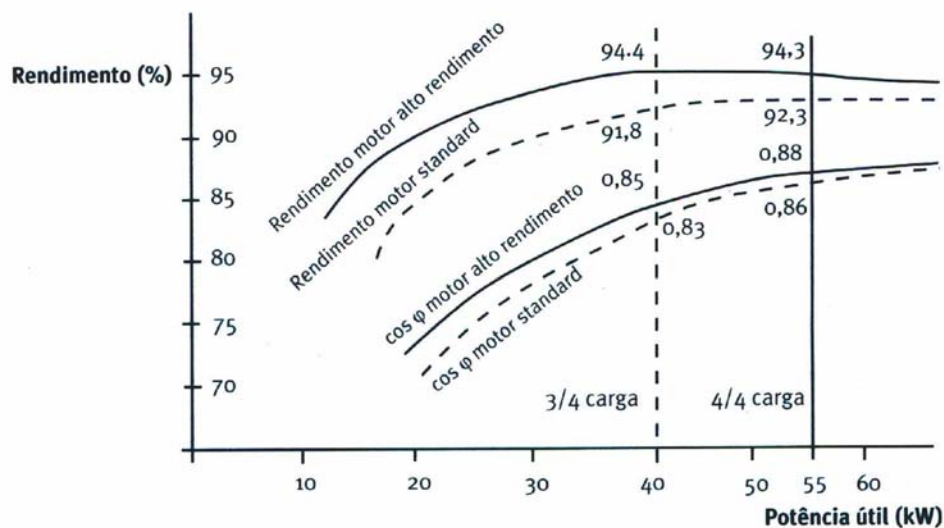


rendimento e standard respectivamente. Este facto faz com que, em aplicações tais como bombas e ventiladores, a carga e portanto o consumo suba, anulando uma parte substancial da economia obtida com a introdução do motor de alto rendimento. Recorde-se que a carga das bombas e ventiladores centrífugos cresce aproximadamente com o cubo da velocidade. Há, contudo, a possibilidade de evitar este aumento de carga através de ajustamentos na transmissão, na bomba ou sobretudo utilizando o controlo electrónico de velocidade.

Os motores de alto rendimento, com níveis de rendimento superiores aos motores standard em cerca de 2 – 6 pontos percentuais, permitem outros benefícios, tais como:

- Suportam melhor as variações de tensão e harmónicos que os motores standard
- Apresentam, normalmente, um factor de potência superior, relativamente aos motores standard
- Têm um modo de operação mais silencioso, devido à menor potência de ventilação requerida.

Na figura seguinte são indicadas as curvas de rendimento e factor de potência para as versões standard e de alto rendimento, de um motor de 55 kW.



A associação europeia de fabricantes de motores (CEMEP) e a Comissão Europeia concordaram com a definição de 3 classes de rendimentos (Classe I, Classe II e Classe III) de motores trifásicos de indução de 2 e 4 pólos, cujos valores de rendimento mínimo para a Classe I e Classe II estão representados na tabela seguinte.

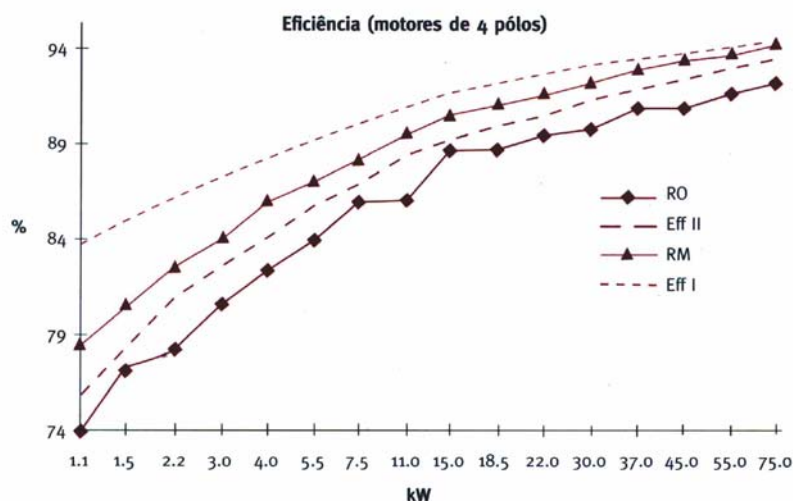
Os motores de Classe III correspondem aos motores standard com valores de rendimento inferiores aos valores mínimos para a classe II, que são considerados “motores de rendimento melhorado”. Os motores cujos rendimentos excedem os valores indicados para os mínimos da Classe I são considerados “motores de alto rendimento”.

A figura anterior mostra a distribuição para a gama de potências (1,1 – 75 kW) dos rendimentos mínimos para as classes I e II e dos rendimentos médios para a Classe II (RM) e para a Classe III (RO), para os motores disponíveis no mercado europeu em 1999, disponíveis na base de dados **EuroDEEM**.

A Base de Dados EuroDEEM foi projectada pelo centro de pesquisa da Comissão Europeia (CE/JRC), com vista a reunir num só suporte as informações mais importantes sobre os motores eléctricos disponíveis no mercado, sistemas electromecatrónicos, variadores electrónicos de velocidade, acoplamentos e transmissões. Pretende-se, deste modo, possibilitar aos utilizadores uma escolha bem fundamentada em termos técnicos e económicos dos seus sistemas

motorizados. Numa primeira fase, encontra-se já realizado o módulo de selecção de motores eléctricos.

Potência KW	Min. Rend. Classe II (%)		Min. Rend. Classe II (%)	
	2 Pólos	4 Pólos	2 Pólos	4 Pólos
1,1	76,2	76,2	82,2	83,8
1,5	78,5	78,5	84,1	85,0
2,2	81,0	81,0	85,6	86,4
3,0	82,6	82,6	86,7	87,4
4,0	84,2	84,2	87,6	88,3
5,5	85,7	85,7	88,5	89,2
7,5	87,0	87,0	89,5	90,1
11,0	88,4	88,4	90,6	91,0
15,0	89,4	89,4	91,3	91,8
18,5	90,0	90,0	91,8	92,2
22,0	90,5	90,5	92,2	92,6
30,0	91,4	91,4	92,9	93,2
37,0	92,0	92,0	93,3	93,6
45,0	92,5	92,5	93,7	93,9
55,0	93,0	93,0	94,0	94,2
75,0	93,6	93,6	94,6	94,7



Avaliação económica do investimento

A avaliação económica do investimento num motor de alto rendimento pode ser feita através da determinação do tempo de recuperação do investimento ("payback time"), através da expressão:

$$\text{Payback (em anos)} = \frac{\text{Diferença no investimento}}{\text{Poupança anual}}$$

Sendo a poupança anual dada por: Poupança anual = Redução da carga x N x € / kWh

Em que

N – número de horas de funcionamento por ano
 € / kWh – preço médio da energia eléctrica
 e tendo em conta que:

$$\text{Redução da carga} = \frac{\text{Potência mecânica da carga}}{\text{Rendimento do motor standard}} - \frac{\text{Potência mecânica da carga}}{\text{Rendimento do motor de alto rendimento}}$$

As situações mais atraentes do ponto de vista económico para instalar motores de alto rendimento ocorrem nas situações seguintes:

- **Instalação de um novo equipamento ou motor.** O sobrecusto no investimento num motor de alto rendimento é de cerca de 25 – 30%. Neste tipo de situação um motor de alto rendimento é normalmente vantajoso (tempo de recuperação do investimento inferior a três anos) para um número de horas de funcionamento superior a 2 000 horas por ano uma instalação industrial. No sector terciário, devido aos preços da electricidade serem superiores, 1 000 horas por ano podem tipicamente ser suficientes para justificar a aquisição.
- **O motor existente avariou.** Se o motor existente avariou, precisa de ser rebobinado e, se tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição por um motor de alto rendimento. Com a excepção de motores pequenos (menos que 5 kW), a reparação de um motor custa cerca de 30 – 50% do preço de um motor de alto rendimento. Assim, a diferença no investimento é significativamente maior do que no caso anterior.
- **O motor existente está fortemente sobredimensionado.** Nestas condições e se o motor tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição por um motor de alto rendimento com uma potência não excedendo o máximo da potência mecânica requerida. Esta substituição é particularmente vantajosa em empresas que têm um parque numeroso de motores instalado. O motor sobredimensionado, depois de ser substituído pode servir como unidade de substituição.

A substituição de motores standard que se encontram em bom funcionamento raramente é atraente do ponto de vista económico, pois neste caso, o investimento adicional representa 100% do custo do motor de alto rendimento.

4.2.7 - Iluminação

A energia eléctrica consumida nas instalações de iluminação nos diferentes sectores de actividade (indústria, serviços e doméstico), representa aproximadamente 25% do consumo global do país, e cerca de 5% a 7% do consumo global de energia eléctrica de uma instalação industrial. Sendo portanto uma área onde a utilização de equipamentos mais eficazes se traduzirá em reduções significativas de consumos energéticos.

Assim, procura-se hoje em dia instalar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação necessários ao desempenho das actividades reduzindo quer o consumo de energia eléctrica quer os custos de manutenção dos sistemas.

Para além das questões relacionadas com as instalações de iluminação propriamente ditas, convém referir que a fonte luminosa mais barata, a iluminação natural, é normalmente desprezada na concepção dos projectos arquitectónicos de edifícios, pelo que a redução nos custos energéticos destas instalações passa necessariamente pela valorização desta componente.

A iluminação de qualquer espaço deve ser estabelecida de acordo com os critérios de quantidade e qualidade da iluminação proporcionada. Assim, deverão ser tomadas em consideração os seguintes parâmetros característicos das instalações:

- **Níveis de iluminação:** As diversas tarefas visuais desempenhadas requerem diferentes níveis de iluminação: quanto maior for o nível de detalhe ou menor for o contraste com o fundo, maior será a quantidade de luz necessária para a realização das tarefas. As instalações de iluminação devem pois proporcionar níveis de iluminação adequados quer à exigência das tarefas a desempenhar, quer às características dos utilizadores, nomeadamente a sua idade e características visuais. Nesta medida, a Comissão Internacional de Iluminação, C.I.E., recomenda níveis mínimos de iluminação para as diferentes tarefas.

- **Equilíbrio da iluminação:** Uma distribuição equilibrada da iluminação, evitando uma iluminação direccional muito difusa ou demasiado forte reduzindo assim contrastes acentuados, é um factor imprescindível para o rendimento e conforto visual dos utilizadores.
- **Encandeamento:** O encandeamento, directo ou reflectido, produz nos utilizadores sensações de desconforto que, em casos extremos, pode conduzir à total incapacidade de visão. É vulgar a ocorrência deste fenómeno nas instalações com lâmpadas fluorescentes montadas em régua desprotegidas. A sua eliminação é fácil, sendo para tal necessário a instalação nas armaduras de grelhas difusoras ou de polarizadores.
- **Restituição de cor:** O modo como a luz reproduz as cores dos objectos designa-se por restituição de cor. Uma das características importantes das lâmpadas é o seu índice de restituição de cor, factor determinante para a sua escolha em função das tarefas a desempenhar e da necessidade da criação de uma atmosfera agradável, contribuindo assim para o aumento de rendimento.

De uma forma geral, uma boa iluminação melhora a velocidade de percepção e aumenta a sensibilidade visual, pelo que os níveis de iluminação recomendados (DIN 5035) têm em conta o desempenho visual médio necessário à realização das tarefas. Deve ter-se em atenção que os valores recomendados na norma DIN 5035 são valores genéricos tendo em atenção padrões médios de iluminação relativos a cada actividade. No entanto, é necessário ter em conta as condições específicas de cada aplicação, como sejam as condições envolventes, a idade dos funcionários e as características inerentes à tarefa.

Reduzir os níveis de iluminação recomendados com a finalidade de reduzir os consumos de energia é uma medida errada, pois normalmente esta atitude traduz-se num decréscimo de produtividade, num aumento significativo de acidentes de trabalho e num aumento da fadiga dos trabalhadores.

O projecto de iluminação interior visa pois a obtenção de um nível uniforme de iluminação no espaço considerado, tendo em consideração as condições do local (implantação de máquinas, tubos, condutas, e outros equipamentos), as tarefas a executar e as características dos utilizadores.

Classificação das lâmpadas quanto ao seu índice de restituição de cor (dados gentilmente cedidos pela OSRAM)

Índice de Restituição		Tonalidade da Luz do dia > 5000 K	Tonalidade Branco 4000 K	Tonalidade Branco Quente < 3300 K
Nível 1 Muito Bom	1 A R _a 90-100	12-950 Luminux de Lux 72-965 Biolux	22-940 Luminux de Luxe 3800 K	32-930 Luminux de Luxe 3000 K
	1 B R _a 80-89	11-860 Luminux Plus 6000 K	21-840 Luminux Plus 4000 K	31-830 Luminux Plus 41-827 Luminux Interna
Nível 2 Bom	2 A R _a 70-79	10 Luz do dia 6000 K	25 Branco Universal 4000 K	
	2 B R _a 60-69		20 Branco 4000 K	
Nível 3 Aceitável Bom	R _a 40-59			30 Branco Quente 3000 K

A concepção das instalações de iluminação na óptima da utilização racional de energia, pressupõe a verificação de alguns parâmetros, essenciais para a redução dos consumos energéticos, mantendo ou melhorando as condições globais de iluminação nos espaços considerados. Assim, deve ter-se em consideração os seguintes aspectos:

- Dar prioridade à iluminação natural, mantendo sempre limpas as áreas de entrada de luz.
- Dimensionar correctamente os níveis de iluminação necessários para os locais, prevenindo níveis gerais de iluminação e níveis específicos para os diferentes postos de trabalho.

-
- Optar correctamente pelo tipo de iluminação mais adequada para os locais em questão, tendo também em atenção as necessidades de restituição de cor das tarefas a executar.
 - Utilizar sempre equipamentos de rendimento elevado, não só no que se refere ao tipo de lâmpadas como também das luminárias e seus acessórios.
 - Utilizar sistemas de controlo e comando automático nas instalações de iluminação.
 - Utilizar sempre que possível luminárias que permitam a sua integração no 'plenum' do ar condicionado.
 - Proceder regularmente às operações de limpeza e manutenção das instalações, de acordo com um plano estabelecido, e apoiados preferencialmente nos sistemas automáticos de gestão de iluminação.
 - Definir correctamente os períodos de substituição das lâmpadas, optando sempre pelo método de substituição em grupos.

Na maioria das situações o acréscimo de investimento inicial devido à utilização dos equipamentos atrás descritos é recuperado em tempo aceitável, através das economias de energia que proporcionam. Todas as soluções atrás referidas devem ser complementadas com uma correcta selecção de cores e matérias constituintes das superfícies envolventes (tectos, paredes e chão), de forma a melhorar as condições de distribuição de luz nos espaços.

O rendimento de um sistema de iluminação aumenta à medida que tornamos as salas mais claras devido à distribuição de cores nas superfícies envolventes dos espaços. Este aumento pode atingir, em sistemas de iluminação indirecta, valores na ordem dos 50%, se compararmos com a situação inicial e definida como base. O aumento de rendimento do sistema pressupõe uma diminuição do número de luminárias instaladas e conseqüentemente uma redução da potência instalada e uma diminuição do consumo energético do sistema.

Iluminação Natural

Os níveis de iluminação natural variam durante o dia e com as épocas do ano. A sua utilização como forma de iluminação dos locais de trabalho deverá ser uma das preocupações essenciais a ter em conta nos projectos de arquitectura. Através de soluções adequadas, é possível obterem-se economias de energia significativas, não só no que diz respeito à iluminação como também ao aquecimento ambiente. No entanto, a maioria das instalações industriais e de serviços auditadas não foram projectadas tendo em conta a utilização das condições de iluminação natural, e como tal torna-se necessário recorrer à utilização da iluminação eléctrica como complemento à natural. Assim, sempre que possível, os arquitectos ou projectistas deverão ter em consideração a utilização de sistemas mistos de iluminação, deverão também ser previstos processos de controlo automático, de modo a garantir um nível uniforme de iluminação.

Lâmpadas

Existem lâmpadas de diferentes tipos, umas servem para fins de iluminação, outras têm aplicações especiais. As características mais importantes duma lâmpada são:



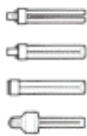






- fluxo luminoso que produz, ou seja a iluminação que dá (medido em lumen)
- a eficácia luminosa, muitas vezes designada por 'rendimento luminoso', que é a razão entre o fluxo luminoso (em lumen) produzido e a energia eléctrica (em Watt) consumida pela lâmpada
- a gama de comprimentos de onda em que lâmpada emite a radiação (em micron ou em nanometro) = restituição de cor (IRC)
- duração (em horas), ou seja o tempo de vida médio da lâmpada

Tal como os outros receptores eléctricos, as lâmpadas apresentam diferentes rendimentos ou eficiências luminosas. O seu valor é expresso em *lumens* por *watt* (*lm/W*) e representa a relação entre a quantidade de luz emitida e a quantidade de energia eléctrica absorvida.

As lâmpadas que servem para fins de iluminação emitem nos comprimentos de onda da luz visível. Mas existem lâmpadas que emitem na zona dos ultra-violetas (UV) ou seja em comprimentos de onda menores, e outras que emitem na zona dos infra-vermelhos (IV) ou seja em maiores comprimentos de onda.

As reduções do consumo de energia eléctrica nas instalações de iluminação passam pela utilização de lâmpadas de elevada eficiência luminosa, sendo para tal necessário conhecer as suas características principais de modo a realizar uma escolha criteriosa, não prejudicando a qualidade de iluminação.

Na tabela abaixo é indicado o aspecto e a eficácia média das lâmpadas para fins de iluminação, agrupadas por tipos. As lâmpadas têm uma eficácia tanto maior quanto maior for a sua potência. Em alguns tipos de lâmpadas, a eficácia pouco varia. Noutras pode ter uma forte variação.

	Tipo de Lâmpada	(lm/W)	Área de Aplicação
	Incandescentes	12	Este tipo de lâmpadas é muito utilizado, na iluminação interior, embora seja a menos eficiente e com menor duração. Da energia que consomem, só 5 o 10% se transforma em energia luminosa. Toda a outra energia se transforma em calor. Existem em diversas formas algumas delas bastante decorativas. As de fraca intensidade têm uma eficiência inferior a 10 lm/w.
	Halogéneo	15	Este tipo de lâmpadas é usado em iluminação interior. Existem lâmpadas que trabalham em corrente normal (220-240V) enquanto que outras trabalham em baixa tensão (é preciso usar um transformador para reduzir a tensão da rede). Estas últimas têm uma eficácia cerca de 15% superior às outras.
	Fluorescentes compactas	45	Muitas destas lâmpadas possuem já um balastro electrónico incorporado. As que possuem um balastro electrónico são mais eficientes do que as que possuem balastro convencional. Dependendo do tipo, os mais eficientes podem ter uma eficiência da ordem de 60 lm/w, começam a ser bastante comuns na iluminação interior.
 	Fluorescentes (tubulares) Identificam-se como T8 (diâmetro de 26 mm)	40-80	Este tipo de lâmpadas é muito usado na iluminação interior de edifícios de serviços e indústria. As lâmpadas fluorescentes precisam dum arrancador para funcionar. A maioria destas lâmpadas pode ser usada com balastro convencional ou electrónico. As que usam balastro electrónico são mais eficientes. A maioria é tubular simples (tem a forma dum tubo direito) embora existam lâmpadas circulares e em forma de "U".
 	Fluorescentes (tubulares) Identificam-se como T5 (Ø 16 mm, balastro electrónico)	75	Dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de 16m são as mais eficientes. Dependendo do tipo, as mais eficientes podem ter uma eficácia da ordem de 90 lm/w.
	Fluorescentes (Ø 26 mm, balastro electrónico)	60	Dependendo do tipo de lâmpada, os mais eficientes podem ter uma eficácia da ordem de 75 lm/w.
	Fluorescentes (Ø 26 mm, balastro convencional)	50	Dependendo do tipo de lâmpada, os mais eficientes podem ter uma eficácia da ordem de 60 lm/w.

Todas as lâmpadas fluorescentes tem um elevado rendimento luminoso, baixo consumo e vida útil longa. Duram 8 a 10 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes convencionais e economizam cerca de 85% de energia. As lâmpadas fluorescentes tubulares são lâmpadas de descarga de mercúrio em baixa pressão, sendo as lâmpadas mais indicadas para soluções de iluminação económicas. Como todas as lâmpadas de descarga, as lâmpadas fluorescentes

também não funcionam sem balastro. Depois do arranque originado pelo arrancador, a tensão na lâmpada é inferior à tensão de alimentação, a função do balastro é limitar a corrente de maneira a que a lâmpada receba a corrente adequada para o seu normal funcionamento.

As lâmpadas fluorescentes compactas reúnem o atributo extraordinário das lâmpadas fluorescentes (baixo consumo de energia) e as vantagens das lâmpadas incandescentes (forma construtiva compacta e manipulação simples). Estas lâmpadas proporcionam economias de energia significativas para além de terem uma vida útil superior. Os modelos equipados com balastro electrónicos proporcionam arranques rápidos e seguros e sem cintilações.

O tipo de lâmpadas mais indicado para a iluminação no interior de edifícios de serviços são as lâmpadas fluorescentes tubulares, podendo ser também utilizadas as lâmpadas fluorescentes compactas (CFL), sempre que se verificar um período de funcionamento contínuo superior a duas horas.

As lâmpadas mais aconselháveis para os ambientes industriais são lâmpadas de descarga, nomeadamente lâmpadas de vapor de sódio ou de mercúrio, embora se encontre em muitas empresas iluminação fluorescente.

Na iluminação exterior deverão ser utilizadas lâmpadas de iodetos metálicos ou de vapor de sódio a alta pressão, já que este tipo de lâmpadas, para a mesma potência nominal, fornece um fluxo luminoso superior às lâmpadas de vapor de mercúrio. Por vezes esta substituição pode ser directa, sendo que noutros casos é necessário substituir para além da lâmpada os componentes eléctricos (balastro e ignitor) e em casos de degradação acentuada da luminária, também se deverá proceder à sua substituição.

Deve referir-se ainda a existência de rotulagem energética aplicada ao caso específico das lâmpadas, cujos rótulos devem incluir, entre outra informação relevante, a respectiva classe de eficiência energética (classe A, mais eficiente, até à classe G, a menos eficiente).

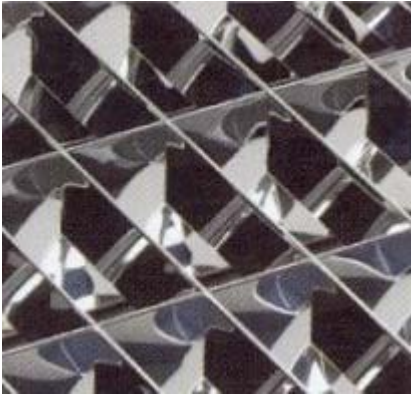
Luminárias

Em cada tipo ou sistema de iluminação, existem equipamentos com rendimentos bastante diferentes. Os mais eficientes serão aqueles que incluem não só a utilização de lâmpadas de elevada eficiência, mas também luminárias equipadas com reflectores espelhados, que permitem elevar o rendimento total do sistema.

As luminárias são equipamentos que permitem filtrar, repartir e transformar a luz das lâmpadas, compreendendo todos os acessórios necessários para as fixar, proteger e unir ao circuito de alimentação eléctrica, e como qualquer outro equipamento apresentam também um rendimento.

O rendimento de um aparelho de iluminação exprime a relação entre o fluxo total emitido pelas lâmpadas instaladas no aparelho e o fluxo efectivamente emitido pelo aparelho. Assim, quanto mais obstáculos se encontrarem entre as lâmpadas e o plano a iluminar, menor será a quantidade do fluxo luminoso dessas lâmpadas emitido pelo aparelho, e conseqüentemente menor será o seu rendimento.

Por razões conhecidas e que estão interligadas a conceitos como o conforto visual, o encandeamento e a qualidade de iluminação, os aparelhos de iluminação incluem, regra geral, um qualquer controlador de fluxo, sejam reflectores ou outros dispositivos difusores, cuja função é redireccionar todos os raios luminosos cujas trajectórias são indesejáveis. A qualidade e a forma do difusor vão afectar directamente o rendimento global da luminária, assim, aspectos como a forma, o índice de reflexão e a uniformidade da superfície do difusor são de extrema importância.



Em relação ao índice de reflexão é obvio que quanto mais clara for a cor de um corpo melhor esse corpo consegue reflectir. Desta forma um reflector 'lacado' branco terá uma reflexão superior a qualquer outro tipo de material, no entanto o 'lacado' apresenta a desvantagem do envelhecimento, deixando de ser branco e tomando tons amarelados. A utilização de um difusor em alumínio, independentemente do ambiente a que se encontra sujeito, consegue manter as suas características iniciais durante muito mais tempo. Deste modo, e do ponto de vista do longo prazo, a opção por um reflector em alumínio é a mais correcta.

No que respeita à rugosidade existem vários tipos de qualidades de alumínio, desde o alumínio com uma pureza de 99,8%, até ao alumínio com 99,9% de pureza. Este último é o que apresenta a superfície mais plana, conseguindo-se uma reflexão com maior intensidade, já que o fluxo não se dispersa.

A disposição das luminárias, assim como o seu seccionamento é também um factor bastante importante na qualidade da iluminação, devendo ser disposta para que não crie encandeamentos nos planos de trabalho, bem como para que se possa apagar uma secção sempre que a iluminação seja suficiente, permitindo pois uma redução no consumo de energia em iluminação.

Balastros

Um balastro é um dispositivo que, na sua constituição mais básica, tem duas funções primordiais:

- Limitar a corrente para valores apropriados, para que esta possa atravessar a lâmpada e produzir o efeito desejado;
- Elevar a tensão de forma a estabelecer uma diferença de potencial suficientemente elevada entre os eléctrodos para dar origem ao aparecimento de um arco eléctrico que provocará a descarga na lâmpada;

O primeiro balastro para lâmpadas fluorescentes teve origem nos anos 30. Era um balastro electromagnético constituído por um núcleo magnético de chapas laminadas envolvido por enrolamentos de cobre. Com o evoluir da tecnologia, diferentes materiais e dispositivos foram empregues, com o intuito de reduzir perdas e melhorar o rendimento.

Porém, com o constante evoluir da tecnologias e contínuos estudos na área de sistemas de iluminação, conclui-se que a operação de lâmpadas a altas frequência melhorava substancialmente a sua eficiência luminosa. Assim, e após a invenção do inversor, surge um novo conceito de balastro, o balastro electrónico.

Este tipo de balastro apresenta inúmeras vantagens sobre o balastro electromagnético. Algumas destas vantagens são apresentadas seguidamente:

- Aumento da eficiência da lâmpada, devido ao uso de altas-frequências
- Eliminação do efeito 'flicker'.
- Aumento do rendimento do balastro
- Aumento da vida útil da lâmpada
- Diminuição do ruído sonoro audível
- Diminuição das dimensões do balastro

No entanto, existem três principais desvantagens a ter em conta quando à utilização deste tipo de sistema:

- Preço relativamente elevado
- Interferências eléctricas (RFI e FM)
- Redução da fiabilidade do sistema

O desenvolvimento dos balastos electrónicos tem por base o aparecimento de novas tecnologias, e a melhor eficácia obtida nas lâmpadas de descarga (todas as lâmpadas tipo fluorescente, indução e descarga). Os balastos electrónicos convencionais convertem uma linha de tensão de 50Hz numa de alta-frequência. Neste processo salientam-se inúmeras vantagens, onde a principal é o aumento significativo da eficiência da lâmpada.

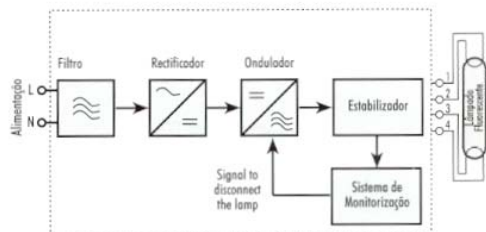
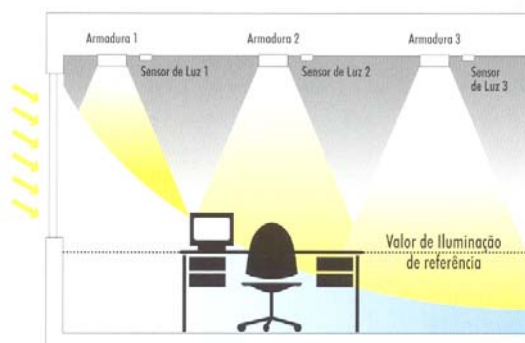


Diagrama do circuito de balastro electrónico

Tipicamente, a eficiência da lâmpada aumenta cerca 10% para frequências de operação na casa das 20KHz, quando comparadas com frequências que rondam os 50 Hz.

Os balastos electrónicos são normalmente constituídos por um andar de filtragem, um rectificador, um ondulador e um circuito de detecção de falhas (monitorização).

Os **balastos electrónicos com regulação de fluxo** permitem uma poupança de energia elevada. Numa sala com exposição solar, o fluxo necessário por parte das luminárias (luz artificial) é muito inferior às 11:00 horas do que às 18:00. É nestas situações que a utilização destes balastos se torna mais vantajosa, pois permite ter uma economia de energia elevada e consequentemente um retorno do investimento mais rápido, para além de proporcionar um conforto elevado.

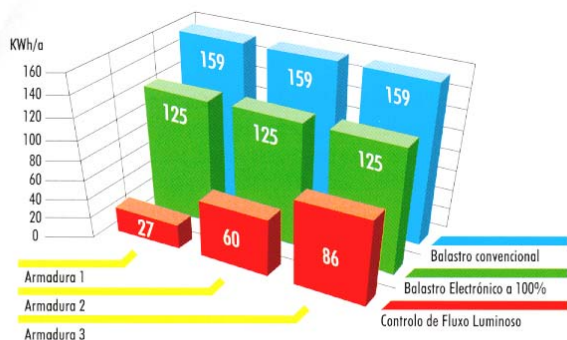


Influência da Luz natural sobre a Luz artificial

Este sistema anexado a um sistema de detecção de presenças permite uma racionalização de energia elevada que proporciona uma diminuição na factura energética.

Sistemas de Controlo de Iluminação

A iluminação deve ser utilizada apenas em níveis suficientes para as actividades que são desenvolvidas nos espaços em questão e apenas quando é necessária.



Economia de energia conseguida com a conjugação Luz natural/artificial

A utilização de sistemas de controlo da iluminação, nomeadamente reguladores de fluxo luminoso, permite que o nível de iluminação seja apenas o necessário para a actividade desenvolvida, reduzindo assim o consumo energético em iluminação. Deve salientar-se que as lâmpadas fluorescentes tubulares com balastro normal não permitem a utilização de reguladores de fluxo luminoso.

Outro dos sistemas de controlo de iluminação que permite reduzir os consumos energéticos em iluminação é a instalação de sensores de presença.

No entanto, como todos os equipamentos, os sensores de presença só funcionam eficientemente se forem bem dimensionados, ou seja, se forem bem posicionados de modo a actuarem sempre que necessário e essencialmente se a lâmpadas sobre as quais irão actuar forem incandescentes ou de halogéneo. Se se tratar de lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas, embora se

economize no consumo, aumentam os custos com as lâmpadas, uma vez que a vida útil deste tipo de lâmpadas diminui quando se acendem e apagam com frequência.

Já a utilização de relógios temporizadores ou sensores crepusculares (células fotoelétricas) na iluminação exterior permitem que a iluminação seja ligada apenas quando é necessária, evitando assim consumos de energia em horas de boa iluminação natural.

Integração da Iluminação nos Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Na concepção de edifícios dever-se-á ter em conta a necessidade de proporcionar aos utilizadores um ambiente agradável, quer a nível de iluminação quer a nível da temperatura ambiente.

Na generalidade das instalações de iluminação apenas uma pequena parte da energia radiada é luminosa (21%), sendo a maior parte emitida sob a forma de calor (79%), contribuindo assim para o aquecimento interior dos edifícios.

Assim, é importante dimensionar um sistema de climatização, não só tendo em conta as condições climáticas da região para os diferentes períodos do ano, mas também considerando as condições de iluminação.

A possibilidade de integração dos sistemas de iluminação nos de climatização ambiente, apresenta as seguintes vantagens:

- Redução da temperatura na luminária para valores na ordem dos 25 °C, o que permite otimizar as condições de emissão do fluxo luminoso;
- Permite uma melhor gestão das cargas térmicas, o que se poderá traduzir numa redução dos consumos energéticos;
- Permite uma melhoria de ordem estética, pois as tomadas de ar são as próprias armaduras, reduzindo ou eliminando as grelhas usadas nas instalações clássicas de climatização;
- Devido à instalação de tectos falsos, as condições acústicas dos espaços são francamente melhoradas.

Considerações Gerais

Compete ao projectista definir o tipo de iluminação que deverá ser instalado em determinado local (exemplo: luz fluorescente), escolhendo também o tipo de lâmpadas a utilizar (exemplo: lâmpadas tubulares de alta frequência), sua potência e restituição de cor, bem como o tipo de luminária e seus acessórios mais adequados ao local.

Esta escolha deverá ser o mais criteriosa possível, permitindo obter uma iluminação adequada às actividades a executar, com as vantagens daí inerentes, bem como obter reduções da potência eléctrica instalada provenientes da utilização de equipamentos com rendimento elevado.

A utilização de equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético traduz-se num aumento do investimento inicial, permitindo no entanto, reduzir os custos de manutenção e exploração, sendo o de maior peso referente ao consumo de energia eléctrica.

O desenvolvimento tecnológico relacionado com os sistemas de iluminação, nomeadamente no que se refere a equipamento de alta frequência apoiado em sistemas de controlo automático com regulação de fluxo luminoso, tem sido de tal forma importante que, hoje em dia, compensa substituir as instalações existentes por outras apoiadas nos novos sistemas, pois o acréscimo do investimento inicial é recuperado através das economias de energia que estes sistemas proporcionam.

Tendo em atenção os aspectos relacionados com a utilização racional de energia eléctrica e com os problemas encontrados pelos auditores ao efectuar uma auditoria energética, as instalações de iluminação devem satisfazer alguns requisitos que seguidamente se descrevem:

- Rentabilizar ao máximo as condições de iluminação natural, mantendo sempre limpas as zonas de entrada de luz;
- Utilizar a iluminação eléctrica como forma complementar da iluminação natural;
- Definição do nível de iluminação necessário à actividade a desenvolver no local, tendo em atenção as características dos utilizadores, das tarefas e do tipo de ambiente;
- Utilizar sempre lâmpadas de eficiência elevada: lâmpadas fluorescentes compactas de alta frequência em substituição das incandescentes; lâmpadas de vapor de sódio em substituição das de vapor de mercúrio; lâmpadas fluorescentes tubulares de alta frequência em substituição das standard, reduzindo assim o consumo energético para o mesmo nível de iluminação, permitindo tempos de retorno do investimento relativamente baixos;
- Utilização de Balastos Electrónicos na iluminação fluorescente: aumenta o tempo de vida útil das lâmpadas, diminui o consumo energético e anula o efeito 'flicker';
- Utilizar sistemas automáticos de controlo e comando de iluminação, tirando assim partido das condições de iluminação natural e das necessidades funcionais das instalações.
- Utilizar o método de substituição em grupo, como forma de manutenção das instalações.
- Mobilidade das armaduras, no caso de se projectar um sistema de iluminação para uma nave que não se sabe bem qual a actividade que ali vai ser exercida, deve prever-se a possibilidade das armações poderem ser mudadas consoante as necessidades.
- Seccionamento da iluminação, para que se possa apagar uma secção quando esta não for necessária.
- Iluminação Geral e local: em alguns casos é aconselhável a utilização de um tipo de iluminação geral mais 'fraca' e localmente onde seja necessário outro tipo de iluminação mais 'forte'.

Na maioria das situações verificadas, o acréscimo do custo de aquisição/substituição dos equipamentos mais eficientes é recuperado, em tempos bastante aceitáveis, pelas economias de energia que proporcionam.

Por outro lado, e tendo em consideração que uma parte significativa do consumo eléctrico em iluminação, coincide com o período de ponta do tarifário, mais fácil se torna para o gestor energético a opção pela utilização de equipamentos mais eficientes, reduzindo assim a sua factura de energia eléctrica.

4.2.8 - Sistemas de Gestão de Energia

Como já foi dito anteriormente a energia deve ser gerida como um outro qualquer factor de produção. Como tal existem alguns meios auxiliares para esta gestão, como por exemplo a existência de contadores de energia eléctrica, em cada secção produtiva no caso da indústria ou no caso dos edifícios por tipo de equipamentos (ar condicionado, iluminação, cozinha, lavandaria, etc.).

Durante o trabalho de campo de uma auditoria energética, os auditores detectam muitas vezes grandes dificuldades em fazer medições eléctricas, quer por difícil acessibilidade aos barramentos e cabos nos quadros, quer pela má identificação e estruturação dos sectores a que se destina o abastecimento de determinado quadro ou protecção.

A automação do equipamento eléctrico trás, sem dúvida, uma grande contribuição para a economia de energia, através de sistemas de controle de ponta e deslastre de cargas, sistema de gestão integrada, etc.

De uma forma geral, a utilização de equipamentos automáticos de controlo introduz substanciais vantagens ao processo produtivo, sendo amortizados através das economias de energia que proporcionam. Na maior parte das aplicações, o tempo de retorno do investimento destes equipamentos é bastante baixo.

Sistemas de Deslastre de Cargas

O investimento em sistemas de deslastre de cargas encontra-se directamente relacionado com a política do tarifário de energia eléctrica, pois cada kW que ultrapasse a potência contratada é sujeito a uma penalização.

Estes sistemas, através de algoritmos matemáticos, vão ligando e desligando os equipamentos por uma ordem pré-estabelecida de prioridades, de modo a que a potência tomada em cada instante (normalmente em intervalos de 15 minutos) não ultrapasse a potência contratada.

Os equipamentos mais adequados aos cortes de alimentação para limitar a ponta são:

- Cargas que funcionem com uma constante de tempo elevada
- Cargas que não funcionem ininterruptamente
- Equipamento não essencial:
 - Ventiladores;
 - Bombas;
 - Equipamentos de Climatização;
 - Iluminação;
 - Etc.

Sistemas de Gestão de Energia

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) tem como missão dar uma visão global e centralizada do estado de funcionamento de toda a instalação e simultaneamente, permitir a actuação sobre diversas cargas em tempo real. As motivações para a adopção de tal sistema prendem-se com:

- a optimização dos custos de exploração da instalação e de equipamentos,
- a monitorização e controlo total dos equipamentos técnicos,
- conforto dos utentes/trabalhadores,
- a contabilidade energética,
- auxílio aos serviços de manutenção.

A utilização de um SGE permite por um lado estabelecer padrões de consumo, facilitando o conhecimento dos consumos específicos dos principais sectores. Com base nesta informação, é possível estabelecer um plano de acção, atribuindo prioridades de intervenção para os sectores com consumos considerados excessivos. Possibilita também avaliar a eficiência das medidas implementadas, através de medições realizadas à posteriori, comparando-as com medições anteriores. Estes sistemas permitem ainda detectar situações menos normais através de consumos (de água, electricidade, gás ou outro combustível) não proporcionais à utilização, auxiliando assim os serviços de manutenção.

Para além das acções de monitorização, registo, tratamento de dados e contabilidade energética, estes sistemas possuem também capacidade de controlo, sendo muito utilizados para controlar cargas através de um programa horário, ou ainda para controlo automático em função de

acontecimentos (accionamento de um sensor), ou de parâmetros de gestão (deslastre da iluminação, da ventilação, bem como de água quente e/ou fria de um piso desocupado).

A experiência, baseada em casos reais, tem demonstrado que a utilização destes sistemas têm conduzido a economias significativas de energia, apesar de ser uma medida normalmente pouco valorizada, mesmo por quem a adoptou. A avaliação de sistemas de gestão de energia em funcionamento têm surpreendido, criando benefícios que conduzem a retornos do investimento da ordem dos 2 anos. Qualquer das formas, a instalação de um sistema do género deve ser precedido de um trabalho cuidadoso de especificação do sistema, no sentido de garantir a sua máxima eficácia.

Monitorização e Estabelecimento de Metas

Um dos problemas que se coloca, em matéria de gestão de energia, em muitas empresas é a falta de informação disponível sobre os consumos energéticos dos processos.

É frequente encontrarem-se em muitas empresas, determinados equipamentos ou sectores responsáveis por uma grande parte do consumo global, sem que tenham contadores instalados, o que impossibilita a determinação dos respectivos consumos específicos bem como a detecção de situações de consumos anómalos.

Deste modo, e com o objectivo de se dispor de uma informação constantemente actualizada e de possibilitar o controlo dos consumos energéticos dos diferentes sectores ou equipamentos de uma empresa, foi desenvolvido um sistema de gestão de energia denominado “*Monitoring & Targeting*” (*M&T*) o qual consiste, de uma forma geral, na monitorização constante dos valores de produção e dos consumos de energia, permitindo definir valores de referência em relação aos quais é possível detectar eventuais desvios e estabelecer, posteriormente, metas de redução dos consumos energéticos.

A implementação de um sistema de *M&T* implica determinadas tarefas, consistindo a primeira na realização de uma auditoria energética na qual é obtida a informação sobre a produção, os consumos energéticos e os factores que os influenciam. Decorrente da auditoria energética são definidos os centros de custo de energia, ou seja, os sectores ou equipamentos em que se justifica aplicar procedimentos de monitorização e de controlo.

Seguidamente, e para os casos em que for necessário, implementar-se-á aos diversos centros de custos os respectivos contadores de energia e será definido o período de monitorização ou recolha de dados. Após a instalação dos contadores, proceder-se-á a uma recolha preliminar de dados cujo objectivo é o de estabelecer os valores do consumo de energia padrão e das metas de redução dos consumos energéticos. Este consumo de energia padrão é, pois, resultante de um funcionamento da instalação nas melhores condições, pelo que um desvio significativo do seu valor alerta para a ocorrência de algo anormal, sugerindo o início de um processo de investigação com vista a detectar o motivo da anomalia e a actuar rapidamente por forma a restabelecer o valor do consumo de energia padrão.

De uma forma geral e baseado na experiência adquirida na implementação deste tipo de sistemas de gestão de energia, pode-se dizer que as economias típicas alcançadas e decorrentes exclusivamente do processo da constante monitorização e controlo dos consumos de energia reais e do consumo de energia padrão, são de 3% nos consumos eléctricos e 5% para as restantes formas de energia.