



Manutenção e Optimização de Equipamentos Electromecânicos
Zona industrial da Predrulha
Coimbra – 239 431 827
www.seb.pt

Optimização de Sistemas Eléctricos de Força Motriz Motor de indução trifásico



Baker Explorer 4000

Elaborado para:

Equipamento: MOTOR DE 18,5KW (VENTILADOR DE RECUPERAÇÃO)

Data da intervenção:

Pedido Por:

1. Objectivo

A presente análise, enquadrada no novo serviço integrado da SEB de manutenção e optimização de accionamento electromecânicos – *Smart Service* - visa identificar as reais condições de funcionamento do motor de um ventilador industrial, incluindo a sua carga, a sua temperatura de funcionamento e a qualidade da alimentação, bem como, com base nessa informação, propor medidas conducentes ao melhoramento do seu funcionamento em termos de rendimento e factor de potência.

2. Sistema Analisado

Este relatório diz respeito a um ventilador industrial. O sistema é accionado por um motor de indução trifásico de 18.5 kW, 4 pólos, com rotor em gaiola de esquilo, alimentado directamente da rede. O ventilador apresenta uma válvula de estrangulamento à entrada (ou seja, à saída do forno).

O presente documento diz respeito à intervenção nº

3. Aquisição e Análise de Dados

Nesta secção, faz-se uma caracterização geral do motor analisado, sendo apresentadas as principais grandezas eléctricas e mecânicas monitorizadas e, com base nestas, discutidas diferentes medidas de optimização em termos técnico-económicos, incluindo o potencial de poupança e o tempo de retorno do investimento.

3.1 Caracterização Geral do Motor Analisado Na Tabela I, apresentam-se as características gerais do motor monitorizado.

Tabela I

Características Gerais do Motor Monitorizado

Tensão de Alimentação (V)	380
Ligação dos Enrolamentos Estatóricos para 400 V	Triângulo
Intensidade de Corrente (A)	38
Potência Nominal (kW)	18.5
Velocidade (rpm)	1470
Factor de Potência	0,82
Frequência (Hz)	50
Regime Anual de Funcionamento (h)	8000
Marca	Rabor
Modelo	13000180N
Ano de Fabrico	n/d
Tipo de Aplicação	Ventilator Industrial

3.2 Metodologia e Equipamento Utilizado na Monitorização

As tensões e correntes eléctricas aos terminais do motor foram adquiridas e processadas por meio de um equipamento de análise e diagnóstico de motores (*Baker Explorer*). As medidas tiveram lugar no dia 16 de Abril, tendo sido repetidas 10 vezes para a situação em que a válvula de estrangulamento estava fechada e 10 vezes para a situação em que a válvula de estrangulamento se encontrava aberta. A título complementar foi ainda utilizado um taquímetro estroboscópico para medir a velocidade angular do motor e uma câmara termográfica para registar a distribuição da temperatura na carcaça do mesmo. Os resultados das diferentes medidas foram devidamente correlacionados com o objectivo de estimar com elevado grau de precisão o nível de carga do motor, que servirá de fundamento às propostas de medidas de optimização do sistema.

3.3 Resultados Obtidos

Nesta secção, são apresentados os resultados da auditoria realizada. Na Fig. 1, apresenta-se uma fotografia e a imagem termográfica do motor em funcionamento normal e equilíbrio térmico, na situação em que a válvula de estrangulamento se encontrava fechada.

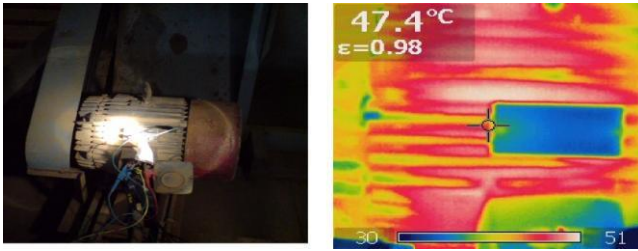


Fig. 1. Fotografia e imagem termográfica do motor analisado (válvula de estrangulamento fechada).

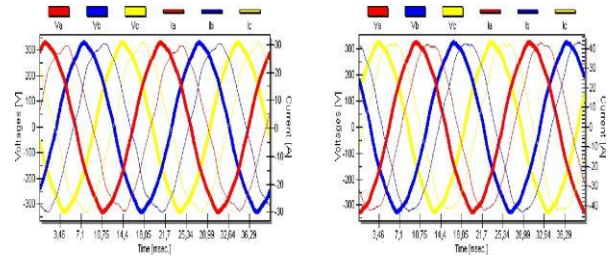
Na Tabela II e III, apresentam-se alguns dos dados registados e calculados pelo equipamento *Baker Explorer*, para as duas situações de funcionamento

Tensão Média de Alimentação (V)	389.26
Intensidade Média de Corrente (A)	21.05
Potência Activa (kW)	8.37
Velocidade (r.p.m.)	1487.77
Factor de Potência	0,59
Binário de Carga (N.m)	49.30
Nível de Carga (%)	41.19
Desequilíbrio de Tensão (%)	0.2
Desequilíbrio de Corrente (%)	1.01
Distorção Harmónica Total (%)	2.46
Diagnóstico de problemas no rotor (db)	-49.74

Tabela II
Dados Fornecidos pelo Equipamento *Baker Explorer* (Válvula de estrangulamento aberta).

Tensão Média de Alimentação (V)	385.17
Intensidade Média de Corrente (A)	30.59
Potência Activa (kW)	15.7
Velocidade (r.p.m.)	1475.74
Factor de Potência	0.77
Binário de Carga (N.m)	93.38
Nível de Carga (%)	77.38
Desequilíbrio de Tensão (%)	0.27
Desequilíbrio de Corrente (%)	0.8
Distorção Harmónica Total (%)	2.31
Diagnóstico de problemas no rotor (db)	-53.28

Nas Figs. 2, 3, 4 e 5, apresentam-se alguns gráficos relativos às grandezas enunciadas nas tabelas anteriores.



Válvula fechada

Válvula aberta

Fig. 2. Formas de onda das tensões e correntes.

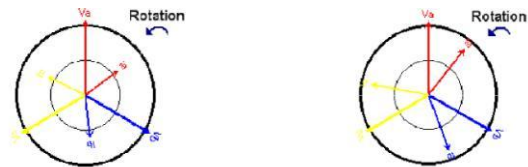


Fig. 3. Diagrama fasorial das tensões e correntes.

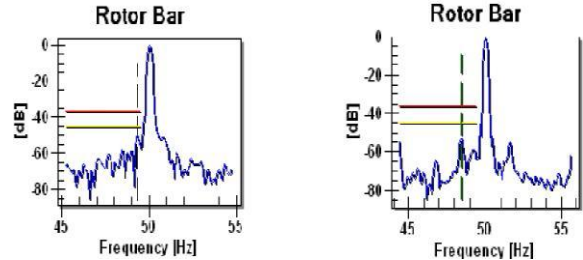


Fig. 4. Análise das barras rotóricas.

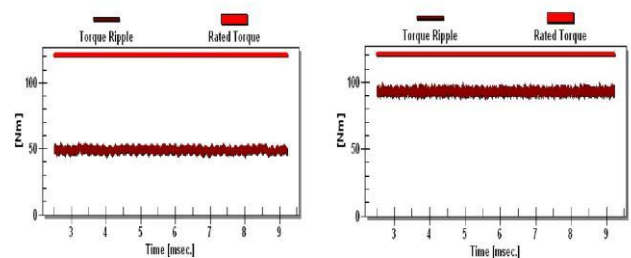


Fig. 5. Evolução do binário durante 10 minutos.

3.4 Análise dos Resultados

Válvula de estrangulamento Fechada

Através da análise termográfica pode-se concluir que o motor funciona com um nível de carga inferior ao nominal (para o qual se encontra dimensionado), não só pelo facto do ponto mais quente (aproximadamente 47°C) ser significativamente inferior ao esperado em motores de classe F a funcionar à carga nominal (que, para o nível de potência em questão atingem entre 70 e 80°C), mas também pelo facto do gradiente térmico ser muito reduzido. Pela imagem termográficas, é possível concluir que a carga do motor deverá rondar os 58-67%. O ponto de carga medido apresenta um factor de potência a rondar os 0.59. Como o factor de potência nominal do motor é de 0.82, pode-se dizer que, aparentemente, o motor está a operar a 72% da sua carga nominal, uma vez que este método conduz a uma sobrestimação da carga. Pelo método das correntes consumidas pelo motor (sobrestimação da carga) obtém-se um valor para o nível de carga de 55%. No entanto, estes métodos apresentam valores de carga sobrestimados. Todavia, é possível dizer que o nível de carga é inferior a 55%.

Tal facto é reforçado pelo valor de carga estimado pelo Baker Explorer de 41%. No entanto, este último valor, calculado pelo método do binário no entreferro, pode ter um erro significativo devido ao facto de se considerar um valor médio para as perdas por atrito e ventilação e de se considerar um valor fixo para a resistência dos enrolamentos, que na realidade varia com o nível de carga do motor devido à influência que este último tem na sua temperatura interna. Existem ainda mais fontes de erro, que não serão aqui mencionadas. Todavia, é certo que o valor

estimado é sobrestimado. No entanto, com base nestes quatro indicadores, pode-se, com alguma certeza, afirmar que a carga real do motor em regime permanente é inferior a 41%.

De forma a apurar com mais rigor o nível de carga do motor, aplicou-se ainda o método do deslizamento (que resulta num valor de carga subestimado) e o método da potência absorvida (que resulta num valor sobrestimado). Pelo método do deslizamento, com correcção do nível de tensão, obtém-se uma carga de 38%. Pelo método da potência absorvida obtém-se uma carga de 41%. Pelo exposto, pode-se concluir que a carga do motor se encontra entre na gama [38 41]%. Assume-se uma carga de 40%. Com base neste pressuposto, o rendimento actual do motor ronda os 84%.

Válvula de estrangulamento Aberta

O ponto de carga medido apresenta um factor de potência a rondar os 0.77. Como o factor de potência nominal do motor é de 0.82, pode-se dizer que, aparentemente, o motor está a operar à 94% da sua carga nominal, uma vez que este método conduz a uma sobrestimação da carga. Pelo método das correntes consumidas pelo motor (sobrestimação da carga) se obtém um valor para o nível de carga de 81%. Tal facto é reforçado pelo valor de carga estimado pelo Baker Explorer de 77%. Todavia, este último valor, calculado pelo método do binário no entreferro, pode ter um erro significativo devido ao facto de se considerar um valor médio para as perdas por atrito e ventilação e de se considerar um valor fixo para a resistência dos enrolamentos, que na realidade varia com o nível de carga do motor devido à influência que este último tem na sua temperatura interna. Existem ainda mais fontes de erro, que não serão aqui mencionadas. Todavia, é certo que o valor estimado é sobrestimado. No

entanto, com base nestes dois indicadores, pode-se, com alguma certeza, afirmar que a carga real do motor em regime permanente é inferior a 77%.

De forma a apurar com mais rigor o nível de carga do motor, aplicou-se ainda o método do deslizamento (que resulta num valor de carga subestimado) e o método da potência absorvida (que resulta num valor sobrestimado). Pelo método do deslizamento, com correcção do nível de tensão, obtém-se uma carga de 77%. Pelo método da potência absorvida obtém-se uma carga de 77%. Pelo exposto, pode-se concluir que a carga do motor se encontra em 77%. Com base neste pressuposto, o rendimento actual do motor ronda os 90%.

No que concerne à qualidade da energia/alimentação, pode-se concluir que é bom, uma vez que o nível de desequilíbrio das tensões e correntes, os desfasamentos entre tensões e correntes e a distorção harmónica total, se encontram dentro dos parâmetros considerados normais.

Em relação a problemas nas barras rotóricas, o sistema de diagnóstico do equipamento *Baker Explorer* não registou qualquer problema.

Não nos foi possível ter uma estimativa exacta do perfil diário do estrangulamento, visto que, existe uma temperatura pretendida que se cifra nos 450°C no interior do forno, ou seja, quando a temperatura está acima deste valor o estrangulamento abre gradualmente, quando está abaixo o estrangulamento fecha gradualmente. Como alguns factores que intervêm neste processo são de certa forma aleatórios, ou seja, não se conseguem controlar como é o caso da temperatura ambiente torna-se muito difícil definir um perfil. Assim, as nossas propostas de melhoramento terão como base a situação em que a válvula do estrangulamento está totalmente aberta. Ou seja, com o motor a 77% da carga do motor e 90% de rendimento.

4. Propostas para Melhoramento do Funcionamento do Motor Analisado

Pelo exposto na secção anterior, conclui-se que o motor não está sobredimensionado. Assim, a nossa empresa propõe as seguintes soluções:

- **Solução A:** Substituição do motor existente por um motor de classe IE2 (motor de alto rendimento) de 15 kW. Neste caso, o motor funcionaria a 95% da carga nominal, com um rendimento de 91,8% e um factor de potência de 0,83. Considerando 8000 horas de funcionamento por ano, estima-se uma poupança anual entre 354 €/ano e 505 €/ano, para 0,07 €/kWh e 0,1 €/kWh, respectivamente. Tendo em conta que o seu custo o tempo de recuperação do investimento, seria de 21 a 30 meses.

Solução B: Instalação de um variador electrónico de velocidade (VEV). Neste caso, em vez da válvula de estrangulamento pode-se colocar um VEV a realizar o controlo da velocidade em função da temperatura. Como já existe um sensor de temperatura no processo, é relativamente fácil implementar um sistema de controlo com o VEV (actualmente, todos os VEVs incorporam um controlador PI/PID). Portanto, haverá um potencial de poupança de energia associado ao VEV, assim como uma melhoria no controlo da temperatura do forno. Na Fig.6, evidencia-se o potencial de poupança energética típico associado à substituição de válvulas de estrangulamento (à saída ou à entrada) por um VEV para efeito de controlo de caudal.

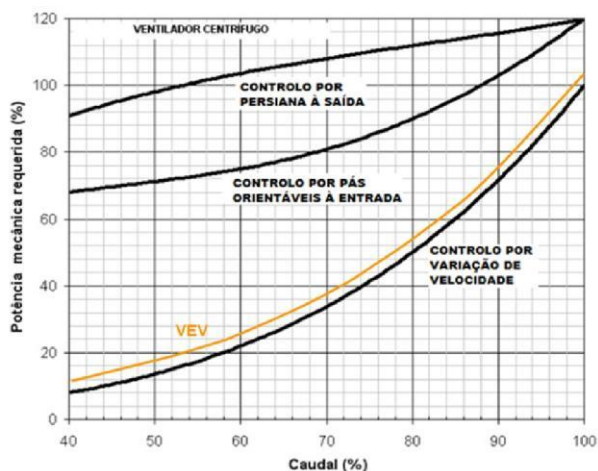


Fig. 6. Potência mecânica requerida por um ventilador centrífugo para diferentes métodos de controlo de caudal.

No entanto, para que o funcionamento do motor com VEV seja uma solução eficaz (sem que o motor avarie num curto prazo de tempo), devido aos impactos negativos do VEV ao nível dos isolamentos e dos rolamentos do motor, deve-se proceder a uma beneficiação do motor, procedendo também à colocação de rolamentos isolados. Ou em alternativa, adquirir um motor novo com rolamentos isolados. O tempo de recuperação do investimento, seria de aproximadamente 24 meses.

- **Solução C:** A rebobinagem do motor para 400V, seguida da optimização dos enrolamentos estáticos para 77% da carga. Neste caso, iriam obter-se ganhos significativos de rendimento e melhorias de factor de potência, sendo, no entanto difíceis de contabilizar. Todavia, pode-se apontar para um tempo de retorno de investimento nunca inferior a 30 meses.

5. Conclusões

Pelo exposto, para o motor analisado, recomenda-se que passe a funcionar com variação de velocidade. No entanto, não se recomenda a introdução de um VEV sem antes se fazer a beneficiação do motor, para que o tempo de vida útil do motor não seja muito reduzido,

evitando assim uma paragem não programada.

A melhor solução, apesar de dispendiosa, seria a substituição do motor existente por um motor de alto rendimento e, complementarmente, a instalação de um VEV.