Unisanta Science and Technology, **2018, 3, December**
Published Online 2018 Vol.7 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Aplicações de Técnicas especiais para Substituição de um Agitador em Tanque de Ácido Fosfórico: Estudo de caso

Paulino Machado Gomes[1,2], José Carlos Morilla[1] , Leonardo do Espirito Santo[2,3], Rodrigo Silvério da Silveira[2,3], Cláudio Luís Magalhães Fernandes[1,2,3]

[1]**Unisanta** Universidade Santa Cecília–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Produção - PPGEProd
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil
[2]Faculdade de Tecnologia de São Vicente - **FATEF**
Av. Presidente Wilson, 1013, Itararé, São Vicente-SP, Brasil
[3]Faculdade **SENAI** de Tecnologia Mecatrônica
R. Santo André, 680, Boa Vista, São Caetano-SP, Brasil

E-mail:paulino.machado.g@gmail.com
Received april, 2018

Resumo: O presente estudo tem por objetivo, apresentar uma aplicação de *Retrofit* (substituição) em uma área industrial de produção de Ácido Fosfórico. Nos processos químicos, e na produção de Ácido Fosfórico, ocorre um aumento de temperatura, formação de lama no fundo dos tanques, por decantação e formação de cristais de rocha. Para que essa lama não ficasse sólida no fundo do tanque, foi utilizado um agitador para manter o ácido em movimento. A agitação requer um profundo conhecimento nas áreas de mecânica, hidráulica e engenharia química. O sistema de uma empresa do setor, ofereceu uma solução sob medida de acordo com as prioridades operacionais e resultados. A substituição do sistema de agitação e acionamento, resultou na otimização de recursos e maior eficiência energética, reduzindo os custos de produção e melhoria na qualidade do produto. Conclui-se que no estudo de caso apresentado, destacou-se como o principal fator para sua aprovação e investimento, a economia de energia estimada. Isto devido ao fato de que a substituição impactou diretamente no preço da tonelada do produto final, onde são agregados os custos de todos os elementos utilizados para sua fabricação.
Palavras chave: *Retrofit*; acionamento; agitador; eficiência energética; investimento, produção industrial.

Applications of special Techniques for Replacing a Stirrer in a Phosphoric Acid Tank: Case Study

Abstract: The objective of this study is to presenting an application of Retrofit in an industrial plant producing Phosphoric Acid. Replacing the Stirrer and drive system has resulted in resource optimization and increased energy efficiency, reducing production costs and improving product quality. In the chemical processes, and in the production of Phosphoric Acid, there is an increase in temperature, formation of mud at the bottom of the tanks, by decantation and formation of rock crystals. So that this mixing is not solid at the bottom of the tank, an agitator was used to keep the acid in motion. Agitation requires a deep knowledge in the areas of mechanics, hydraulics and chemical engineering. A company specialized in this sector system offered a solution tailored to operational priorities and results. It is concluded that the case study presented, highlighted as the main factor for its approval and investment was the estimated energy savings. Since it directly impacted the price of the ton of the final product, where the costs of all the elements used for its manufacture are aggregated.

Keywords: Retrofit; drive system ; stirrer; energy efficiency; investment, Industrial Production.

1. Introdução

O termo *Retrofit* é utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização (Figura 2) de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma (Figura 1). Tecnicamente consiste na adaptação tecnológica das instalações elétricas, mecânicas e dos principais equipamentos instalados nas áreas, dentre outros. Portanto, este termo refere-se a revitalizar e atualizar as instalações, através da incorporação de modernas tecnologias e equipamentos de qualidade avançada.

Copyright © 2018 ISESC.

O objetivo principal é reduzir o consumo de energia e atualizar o sistema de acionamento para atender as modificações necessárias no processo.

Neste trabalho é mostrada uma aplicação de *Retrofit* em uma planta industrial de produção de Ácido Fosfórico onde o dispositivo escolhido, foi um *drive* inversor de frequência da GE FUJI 440V para a potência de 200CV [9], que é apresentado na figura 2. Utilizado em outras aplicações com altas tensões mecânicas, conforme será descrito, este equipamento atendeu as diversas variáveis com eficiência.



Figura1. Painel da Chave de Partida Direta 4160 v. Fonte: [10]



Figura 2. Painel do *Drive* Inversor de Frequência 440V. Fonte: [10]

Como é visto na figura 3, o processo industrial em estudo se inicia em um tanque denominado Digestor (Reator).

Nesse tanque, são adicionados rocha fosfática e ácidos sulfúrico e fósforico. Os processos úmidos de produção de ácido fosfórico (H_3PO_4) partem do princípio da ação de um ácido inorgânico sobre o concentrado apatítico (produto do beneficiamento da rocha fosfática), produzindo ácido fosfórico e um sal de cálcio, dependendo do ácido utilizado.

Em processos comerciais é comum a utilização de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para reação com o concentrado, em função da geração de sulfato de cálcio ($CaSO_4$) insolúvel em água (gesso), que é facilmente filtrado. Ácidos nítrico (HNO_3) e clorídrico (HCl) podem ser usados havendo, no entanto, formação de nitrato de cálcio ($Ca(NO_3)_2$) e cloreto de cálcio ($CaCl_2$), respectivamente, sendo necessárias técnicas mais complicadas de separação.

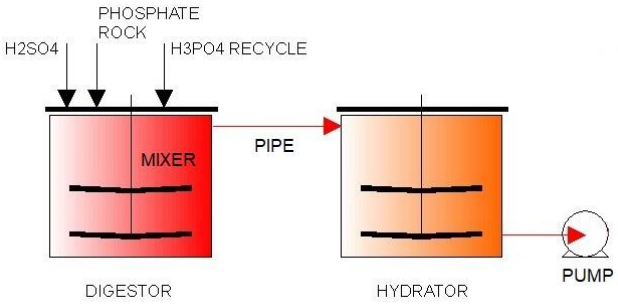


Figura 3. Diagrama do Digestor.

Com a reação química, ocorre um aumento da temperatura da solução e formação de lama, pela decantação e quebra dos cristais de rocha como é apresentado na figura 4. Na solução, ocorrem pequenas variações locais na concentração, denominadas flutuações.

O tipo mais simples de flutuação é a junção de duas moléculas (ou compostos iônicos) para formar um complexo. Alguns desses complexos dividem-se novamente, voltando à sua forma original, enquanto outros se agrupam com uma terceira molécula, continuando assim um processo de construção de uma estrutura cristalina.

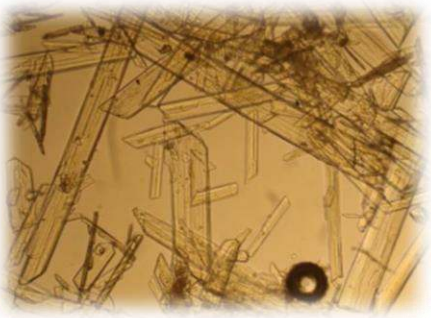


Figura 4. Cristais de gesso.

Copyright © 2018 ISESC

No digestor apresentado na figura 3, inicia-se a reação entre concentrado apatítico, ácido sulfúrico e fosfórico, obtendo-se como produto uma lama composta, basicamente, por sulfato de cálcio dihidratado (gesso) e ácido fosfórico. O produto segue por transbordo do digestor, para o Hidratador, onde se completa a formação dos cristais de sulfato de cálcio dihidratado.

Todos os reatores são contínuos e agitados por três palhetas superiores e três palhetas inferiores, cuja função é promover uma perfeita homogeneização da lama.

A agitação requer um profundo conhecimento nas áreas de mecânica, hidráulica e engenharia química.

A agitação na produção de um produto pode ser desde uma simples homogenização, á uma transferência térmica. Uma solução em agitação bem concebida, permite ao progresso uma produtividade de 10 a 50%, e por esta razão os agitadores são projetados em estreita colaboração com o cliente.

Após atingir um nível de aproximadamente 8 metros (400 m³), a polpa ácida do Digestor passa por transbordo para Hidratadores que completa a reação e o controle temperatura. Nesta etapa do processo, um bom controle de temperatura e do teor de sulfúrico livre é fundamental para boa formação de cristais de gesso de modo que estes não comprometam as próximas etapas do processo de fabricação. Baixas temperaturas na reação aumentam a viscosidade do ácido e afetam o crescimento dos cristais. Altas temperaturas podem propociar formação de hemihidratos, aumentam a taxa de corrosão do sistema e a solubilidade de impurezas que, posteriormente, precipitarão no decorrer do processo.

A concentração do ácido, conforme se pode observar nos parágrafos anteriores, é medida em termos de P_2O_5.

O cenário do mercado atual incentiva a indústria a produzir mais com menos. Sendo assim o principal fator para sua aprovação e investimento, foi a economia de energia estimada, que impactou diretamente no cálculo de preços da tonelada do produto final, onde são agregados os custos de todos os recursos utilizadas para sua fabricação. O foco é reduzir os custos de produção, melhorar a qualidade e trazer bons resultados para a organização. Para este caso estudado o sistema de uma empresa do setor oferecia uma solução sob medida de acordo com as prioridades de investimento, custos operacionais e resultados.

Estimular o uso eficiente e racional de energia elétrica e demais recursos produtivos escassos e indispensáveis ao desenvolvimento. Ampliar o volume de investimentos em eficiência energética por meio dessa modalidade de projetos significa aumentar o volume de recursos. Além disso, projetos dessa natureza indicam que as ações realizadas são eficazes e economicamente viáveis, o que assegura a sustentabilidade, estimula novos projetos e legitima os investimentos realizados.

A necessidade de fazer uso racional dos recursos naturais tem sido foco de intensas discussões na sociedade. Se no início, pensava-se que o tema "eficiência" tinha apenas aspecto ambiental, hoje se sabe que ele ultrapassa esta esfera, estando diretamente atrelado às questões econômicas e sociais [13].

As caracteristicas do projeto aprovado são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1. Características do Projeto

	CARACTERÍSTICAS DO PROJETO
1	*Potência mecânica sistema Milton Roy, 132KW com rotação*
2	*Instalação de um novo agitador contendo 2 hélices de 3 palhetas inclinadas*
3	*Substituição do acionamentodo motor, que utiliza chave de Partida direta 4160V para, acionamento e controle de velocidade através de drive inversor de frequência GE-FUJI 440V, com potência mecânica para 200 CV.*
4	*Substituição do motor assícrono de indução GE 400 CV / 4160V, WEG 175CV /440V.*
5	*Montagem em painel, com sistema de alarme e proteção, através da indicação de amperagem*

2. Materiais e Métodos

Para transformar energia mecânica em energia cinética são utilizados motores elétricos, sendo estes divididos em diversos tipos, de acordo com as suas aplicações.

A figura 5 mostra um motor elétrico tipo industrial. Sua utilização é de fundamental importância, pois proporcionam todas as movimentações de fluídos, dentro de determinados tipos de tanques com determinados tipos de produtos [1]. Neste estudo de caso foi verificada a eficiência energética obtida com a substituição do tipo de agitador, substituição do tipo de sistema de acionamento e substituição do motor.

Para o funcionamento do agitador, há a necessidade do seu acoplamento a um motor elétrico, que tem a função de transformar energia elétrica em energia mecânica.

O motor elétrico trifásico, é um equipamento que tem a função de exercer movimento mecânico dentro de um

Copyright © 2018 ISESC

processo químico industrial, possuindo determinadas aplicações de acordo com o tipo de carga acionada [2],[14].



Figura 5. Motor Assíncrono Trifásico.
Fonte: [10]

O motor elétrico trifásico necessita de uma elevada corrente de partida, em condições nominais. Se as partidas forem lentas em função de sobre carga mecânica, o motor sofrerá aquecimentos adicionais, assim os elementos de proteção contra sobrecorrente deverão atuar [14].

Para atuação correta do sistema de proteção do motor, se torna necessário o conhecimento do tempo de aceleração da aplicação, pois assim verifica-se, a carga que será acionada pelo motor, o manterá dentro das faixas exigidas pela estabilidade térmica do material isolante utilizado na sua construção [3],[14]. A figura 6 mostra um motor elétrico deste tipo acoplado a um redutor.

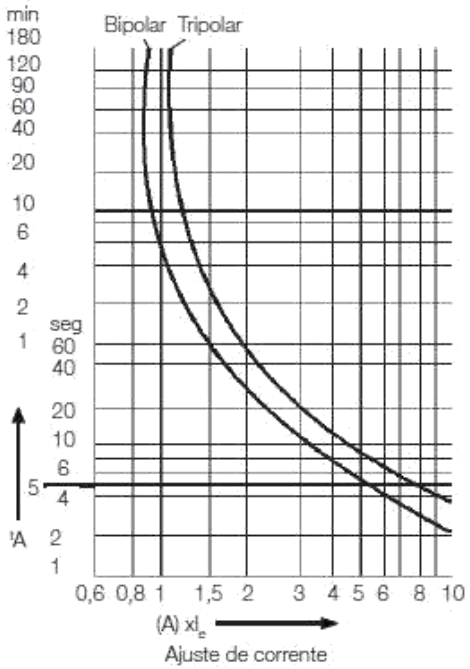


Figura 6. Motor Assíncrono e Redutor.
Fonte:[10]

O Tempo de Aceleração, é o valor de tempo em que o motor acelera de 0 até 100%, até sua velocidade nominal [6]. Esta informação é inserida nos dispositivos de proteção, pois caso o motor venha a desenvolver uma aceleração maior que a estipulada, o dispositivo atue, interrompendo o seu funcionamento. Neste trabalho estes dados foram inseridos em um drive inversor de frequência [8], que além da função de controlar a velocidade do motor elétrico trifásico do agitador no processo, também oferece proteções elétricas diversas possibilitando o seu desligamento, caso seja detectado uma anomalia em seu funcionamento [7].

O tempo de partida de um motor acoplado a uma carga é utilizado para dimensionar um dispositivo de proteção. O gráfico 1 apresenta uma curva de um relé térmico que tem a função de proteger o motor contra sobre carga, a curva é uma relação entre tempo e corrente de disparo do dispositivo [4] [14].

Gráfico 1. Curva de disparo do Rele Térmico.
Fonte: [12]



Para o dimensionamento do motor e respectivo cálculo de tempo de aceleração, são utilizadas as equações com base em referências já consolidadas, através das quais, após a realização dos cálculos torna-se possível avaliar a aplicabilidade do agitador e motor [3]. Com os dados característicos da carga, como rotação nominal, potência e momento de inércia, é possível determinar o valor do conjugado nominal do motor a ser selecionado. Através deste valor, seleciona-se em um catálogo, o motor mais adequado, devendo este possuir conjugado maior que o da respectiva carga. Após a seleção do motor, e de posse dos seus dados de rotação; conjugado nominal;

Copyright © 2018 ISESC

conjugado com o rotor bloqueado; conjugado máximo; rendimento; momento de inércia e tempo de rotor bloqueado, é possível determinar o tempo de aceleração. Com este resultado pode-se definir se o motor virá a realizar o trabalho necessário ao bom funcionamento do agitador [5],[14]. Para calcular o conjugado mecânico do agitador, utiliza-se a equação 1.

$$C_o = \frac{746.P}{\eta 2} \quad (1)$$

Sendo,
C_o– Conjugado mecânico (Kgfm)
P – Potência (cv)
η2– Rotação da carga (rpm)

No conjugado quadrático, também denominado de parabólico, o torque varia com o quadrado da rotação.

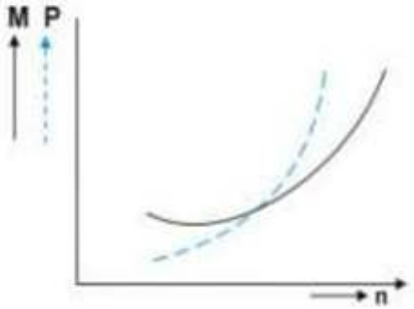
São exemplos de carga com este tipo de conjugado: bombas centrífugas, ventiladores, misturadores e compressores centrífugos. Para o cálculo do conjugado quadrático, é utilizado a equação 2.

No gráfico 2 é apresentado uma curva de carga para este tipo de conjugado.

$$Cc = C_o + (Kc.\eta^2) \quad (2)$$

Sendo,
Cc- Conjugado Resistente a carga em Nm
C_o– Conjugado mecânico Kgfm
Kc – Constante que depende da carga
η^2 - Parâmetro de conjugado.

Gráfico 2. Curva de conjugado quadrático, onde:
n = Rotação; M = Conjugado resistente; P = Potência.



3. Resultados

Os resultados serão mostrados em função de estimativa de Energia e Estimativa de Economia obtidas com o projeto.

. Estimativa de Energia

A economia de energia em virtude das substituição do motor de 4160 (400 CV), por sistema com motor de 440V (175 CV) é mostrada naTabela 2.

. Estimativa De Economia Do Valor KWh

Nos cálculos considerou-se todos os impostos e a demanda contratada no respectivo mês. A redução do consumo será ser analisada comparando o consumo do motor de 400CV com o de 175CV em função das horas operadas registradas por ambos. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativas e valores obtidos do projeto.

ÁREA	FOSFÓRICO											
Valor KWh	R$ 0,40											
Motor	Função	ATUAL (400 CV)			NOVO (175 CV)			Redução	PREVISÃO DE ECONOMIA (KWh)			
		DADOS			Potência			KWh	Mês		Ano	
		Tensão	CV	KWh	Tensão	CV	KWh		R$	US$	R$	US$
A	AGITADOR A	4160	400	292	440	175	99	193	56.132	17.541	673.587	210.496
Previsão de economia com operação de				8016	horas operadas/ano						624.939	195.293

Cálculos do motor de 400 CV		
I nominal	52	A
S	344	KVA
cos	0,85	
n	0,85	
I Serv.	47,8	
P	292	KW

Cálculos do motor de 175 CV		
I nominal	220	A
S	106	KVA
cos	0,87	
n	0,94	
I Serv.	150,00	
P	99	KW

Economia Diária	
KWh	4.634
Valor R$	R$ 1.871,07
Economia Mensal	
KWh	139.010
Valor R$	56.132,22
Economia Trimestral	
Horas/trim.	2.672
Economia R$	208.313
Economia Anual	
KWh	1.668.119
Valor R$	673.586,65

Potência Reduzida		
P	193	KW
Dados operacionais		
Dias/ano	334	
Horas/ano	8.016	

Tabela Comparativa										
Motor de 400 CV							Motor de 175 CV		Economia	
Mês / Ano	Equipamento	Leitura Atual	Leitura Anterior	Horas Operadas	Potência KW	Consumo Mensal	Motor 175 Cv	Consumo do motor Atual	Redução de consumo KWh	Valor da economia R$
OUTUBRO	HORÍMETRO	64.825,25	64.080,98	744	292	217.327	99	73.683	143.644	R$ 58.003,49
NOVEMBRO	HORÍMETRO	65.544,19	64.825,25	719	292	209.930	99	71.175	138.755	R$ 56.029,44
DEZEMBRO	HORÍMETRO	65.864,12	65.544,19	320	292	93.420	99	31.673	61.746	R$ 24.933,23
JANEIRO	HORÍMETRO	66.077,48	65.864,12	213	292	62.301	99	21.123	41.178	R$ 16.627,87

Copyright © 2018 ISESC

Verifica-se na Tabela 1 que o projeto apresentou bons resultados onde os valores economizados nos quatro meses iniciais já ultrapassam os valores estimados por um ano.

4. Discussões

A partida da unidade de ácido fosfórico na indústria onde foi implementado o projeto ocorreu em 05 de março de 1975. Na época esta indústria iniciou suas operações utilizando um método de produção com capacidade de produção de 300 ton/dia de P_2O_5. Nesse processo, classificado com hemihidrato e dihidrato, ocorre à formação de cristais hemihidratados na digestão que posteriormente eram enviados para os hidratadores onde eram convertidos em dihidratados. Essa lama posteriormente era filtrada e o ácido concentrado.

Em março de 1993 foi necessária a adaptação da planta para a implantação do processo dihidrato utilizado atualmente, mantendo-se a capacidade de P_2O_5.

O caso apresentado nesse trabalho foi aplicado em uma unidade de produção de Ácido Fosfórico. Nesta substituição o Agitador do Digestor (Reator), considerado o equipamento principal da planta, necessitava de uma atualização para atender aos indicadores de qualidade do produto, que o mercado de ácidos sinalizava.

5. Considerações finais

Em um projeto deste tipo o principal fator para sua aprovação e investimento foi a economia de energia estimada, o que impactou diretamente no cálculo de preços da tonelada do produto final, onde são agregados os custos de todos os recursos utilizadas para sua fabricação.

Cada quilowatt-hora economizado numa atividade produtiva pode ser destinado à produção de outros bens e serviços, e cada unidade monetária economizada com energia é um recurso a mais para investimentos em inovação e ganhos de produtividade.

Portanto, seja para fazer mais com os recursos de que se dispõe ou para fazer a mesma coisa com menos recursos torna-se indispensável, criação de mecanismos que estimulem o uso eficiente e racional de energia em todos os setores da empresa. O foco é reduzir os custos de produção, melhorar a qualidade e trazer bons resultados para a organização.

Em 2010, ocorreu o caso apresentado neste trabalho com a instalação de trocadores de calor com casco e tubos, aumentando a convecção forçada e a eficiência na troca térmica. Hoje a capacidade de produção, após essas mudanças tecnológicas é 550 ton/dia.

Referências

[1] Santos, R.M.V;Garcia,D.V. "Modelagem em MA-TLAB para Determinação do Rendimento de uma Bomba Centrífuga" *Unisanta Science and Technology*, 2015, 6, 2015 Vol.4 Nº2.

[2] Mattos, E.,E.; Falco, R., "Bombas Industriais" – Editora Interciência, 2. ed., p.109, 1998.

[3] WEG Technical Notes; Considerações sobre re-di-mensionamento de motores elétricos de indução" Lumiere Eletric Ed. 166.

[4] Bulgarelli, R., "Proteção Térmica de motores de in dução trifásicos industriais "Dissertação mestrado em Engenharia Poli/USPp.48, São Paulo 2006.

[5] WEG DT-6; Motores elétricos assíncronos e síncro-nos de média tensão – especificação, características e manutenção" p. 82 -87, Revisão 3, 07/2015.

[6] WEG; Linha W21 Motores Trifásicos" p.4, CAT 001.67/042007.

[7] Bulgarelli, R., Proteção Térmica de motores de indução trifásicos industriais p.48, 2006.

[8] M. Verma, D. Parker, I.I. Grinbaum, &J.Nanney ,"the leap to Electric motors and adjustable speed drives" IEEE Industry Applications Magazine November/December, p3, 2017.

[9] Y. Shakweh AEC, London, United Kingdom "Drive Types and Specifications" Copyright © 2018 Elsevier Inc, p4. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811407-0.00033-7 acesso em 20 janeiro de 2017.

[10] Technical Notes Indústria de produção; Unidade Produção Ácido Fosfórico

[11] WEG Motores Elétricos de Corrente Alternada, D43. 2002.

[12] WEG Contatores e Relés de sobrecarga Térmico RW, 4-3. 2018.

[13] WEG - Indústria + eficente, Estudo de Caso, 06-08. 2013.

[14] Santo, L.,E.; Silveria, R.S.; Garcia, D.,V.; Mario, M.,C.; Fernandes, C., L.,M. "Modelagem em MATLAB para determinar o tempo de aceleração de um motor aplicado em bomba" *Unisanta Science and Technology*, 2017, Vol.6 Nº2.

Copyright © 2018 ISESC