

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BOMBA DE POLPA DE MINÉRIO (BAUXITA)

Raimundo Anderson Carvalho Meireles, anderson3224@hotmail.com¹

Caetano Chaves Lobato, caetano25lobato@gmail.com¹

David da Silva Foinquinos, david.foinquinos@hotmail.com¹

Roger Barros da Cruz, rogerbc01@gmail.com¹

Arielly Assunção Pereira, arielly.pereira@gmail.com¹

Faculdade Estácio de Belém, Pará/Brasil,

Resumo: Este trabalho consiste em relatar e fazer análise de um caso em uma refinaria de alumínio localizada no município de Barcarena/PA. O objetivo principal foi melhorar o desempenho no sistema de bombeamento de polpa de Bauxita para os filtros Hiperbáricos. Durante o período de avaliação as bombas instaladas apresentavam baixo desempenho, em virtude de alguns fatores: oscilação na pressão dos filtros, alto número de paradas corretivas por desgastes operacionais, alto consumo de energia. Por fim, todos esses fatores convergiram em busca de soluções viáveis, por parte dos profissionais da empresa em estudo e isso nos proporcionou elaborar um estudo para justificar quais os principais parâmetros construtivos da bomba de polpa possuem influência em projetos de melhorias de eficiência energética, redução de custo operacional e produção estável, nessa área específica. As possibilidades de alcançar tais objetivos estão em aplicar bombas que apresentem a menor perda de energia hidráulica e mecânica e constituída de material de maior resistência mecânica e química, ou seja, deve-se resitir aos ataques dos compostos químicos da bauxita.

Palavras-chave: bomba centrífuga, minério de bauxita, eficiência da bomba, eficiência energética.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo consiste em relatar um caso, o qual uma mudança de uma bomba de polpa de uma empresa mineradora, trouxe grandes benefícios ao sistema de bombeamento e redução no custo operacional da bomba em função da redução no consumo de energia elétrica, peças sobressalentes e mão de obra decorrente das manutenções corretivas. Os filtros hiperbáricos são alimentados com minério de bauxita imerso em água, este possui a função de retirar uma parte da umidade da polpa de minério. Atualmente os filtros Hiperbáricos sofrem com algumas interferências em virtude da instabilidade da bomba de polpa instalada, como por exemplo: possuem muitas oscilações na vazão e aumento de umidade da bauxita o que gera problema em manter uma produção de aproximadamente 27000 ton/dia de bauxita com percentual de umidade $\leq 14\%$. Tal problema é ocasionado pela bomba de polpa, esta tem a função de bombear a polpa de bauxita até o filtro Hiperbárico, no entanto, apresenta alta taxa de manutenção não programada, aumento de troca de sobressalentes, alto custo com mão de obra e elevado consumo de energia pelo motor de acionamento.

Com isso propõem-se analisar a partir da necessidade de vazão e carga manométrica, quais as principais características das bombas influenciam no rendimento e melhora na eficiência energética, como folga entre o rotor e a carcaça, material em contato com a polpa pode influenciar no rendimento da bomba. Explicando como uma seleção adequada de materiais para o projeto de acordo com as características do fluido e sólidos em suspensão pode reduzir o custo com manutenção dessas bombas.

O equipamento o qual era utilizado antes da mudança para o novo modelo de bomba era com carcaça revestida de borracha natural e rotor de aço carbono alto cromo. As condições operacionais antes da mudança caracterizava-se por baixo rendimento, grande número de manutenções corretivas e elevado consumo de energia elétrica.

Porém, a diferença da bomba de polpa anterior para a atual estende-se além do material utilizado, pois o diâmetro do rotor é maior, pressão interna maior nos filtros, maior eficiência e menor potência de acionamento da bomba. Essas mudanças foram a solução para a troca excessiva de peças, consumo de energia e o aumento da capacidade volumétrica de polpa de bauxita que alimentam os filtros Hiperbáricos. A solução tornou-se tão proveitosa, que o rendimento dos filtros elevou-se consideravelmente, possibilitando o aumento de pressão de trabalho.

2. METODOLOGIA

O estudo deve partir de uma análise bibliográfica dos principais parâmetros impactantes no projeto de perfil da pá de rotor para bomba centrífuga e quais os parâmetros a serem adotados em um projeto de rotor para melhorar a eficiência. Com isso faz-se uma análise do estado de operação da bomba atual e busca-se no mercado uma possível substituição por modelos diferentes que contemple melhorias significativas.

2.1. Função e como operam as bombas

As bombas, ao receber energia mecânica, possuem a função de transforma-la em energia cinética e/ou pressão, ou seja, aplicar essa energia ao fluido para elevar sua velocidade e/ou pressão, esse processo é realizado através do impelidor. A depender da geometria do canal do rotor, este pode acelerar ou aumentar a pressão do fluido na saída do rotor. Nas máquinas de fluxo de ação o fluido não tem alteração na energia de pressão, já as máquinas de reação possuem a geometria de um difusor e nesse caso tem-se o aumento da pressão e diminuição da velocidade do fluido. Um exemplo de máquina de reação são as bombas centrífugas, (HENN, 2006).

O rotor ao entrar em movimento rotativo, e devido ao formato das pás, retira partícula de fluido da região de entrada das pás e com isso provoca, na entrada da bomba, uma região de baixa pressão, a qual será novamente preenchida com fluido, o reservatório de sucção deve estar em uma pressão maior e como os sistemas tendem ao equilíbrio termodinâmico, um fluxo de fluido constante e permanente é estabelecido enquanto houver operação satisfatória da máquina. Este movimento rotativo do rotor induz forças centrífugas nas partículas que serão impulsionadas para fora. Para evitar desprendimento do fluido que está em contato com as pás e choque na entrada, as pás devem possuir um formato tangenciando a velocidade relativa do fluido conforme estudo teórico de Pfleiderer e Petermann (1979).

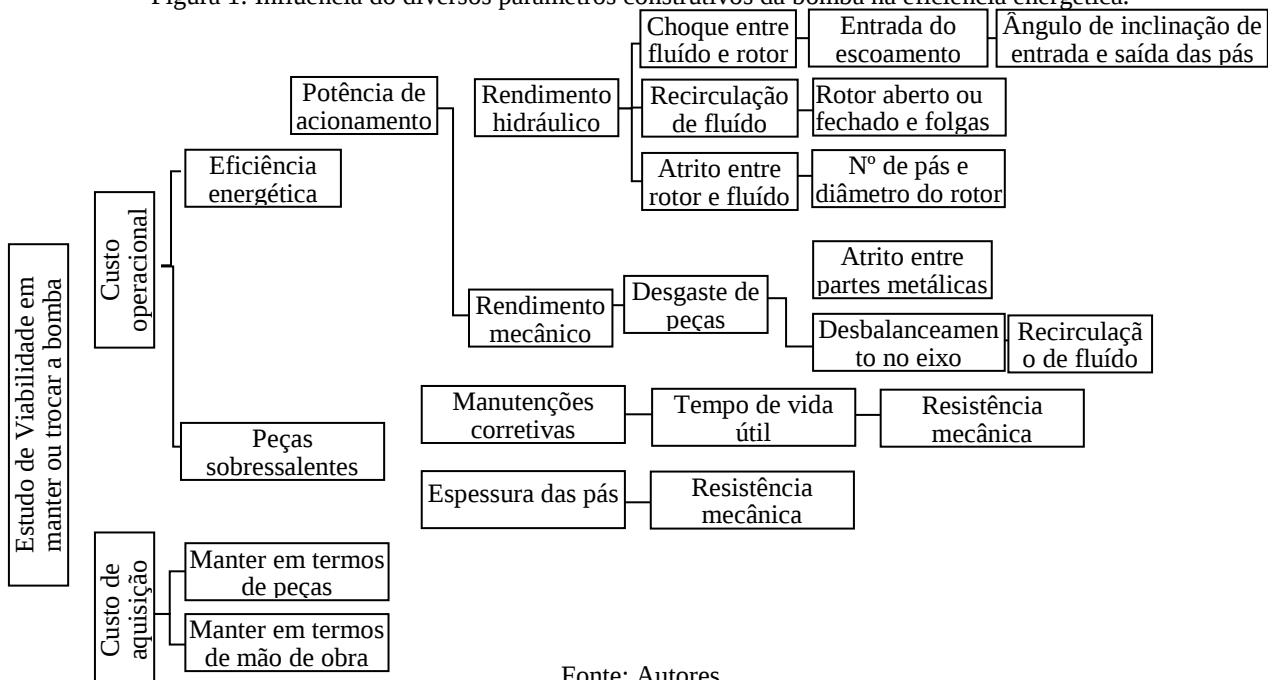
Todas as máquinas reais passam por processos de transformação de energia irreversíveis, obedecendo à segunda lei da termodinâmica onde as perdas ocorrem ao longo do processo. Nas máquinas de fluxo geradoras as perdas podem ser externas (perdas mecânicas) e perdas internas (perdas hidráulicas) onde parte da energia mecânica recebida é dissipada em forma de calor, vibração e som, Pfleiderer e Petermann (1979).

Nos exemplos de projeto de rotores de Pfleiderer e Petermann (1979) mostram as rugosidades impactando negativamente no ganho de rendimento e diminuição da potência de acionamento da bomba e tem-se um favorecimento na ocorrência de cavitação, pois é agravada pela maior velocidade da água nas ranhuras, bem como a contaminação por produtos químicos. Ocorre que a energia recebida pelo fluido, para elevar sua velocidade ou pressão, será desperdiçada na ocorrência desses fenômenos.

Parte do fluido ao percorrer o interior da bomba entra na folga existente entre o rotor e a carcaça, essas partículas de fluido aderem-se na carcaça e a face externa do rotor atuando como uma espécie de adesivo entre a parte fixa (carcaça) e móvel (rotor) favorecendo a queda de rendimento em consequência a energia cedida ao fluido, (HENN, 2006).

Existem as perdas mecânicas na qual possuem origem no atrito entre o eixo, mancais e elementos utilizados para vedação, transmissão e acionamentos. O processo acontece quando partes mecânicas em contato entram em movimento, nesse caso a energia é dissipada em forma de calor e o agravo acontece se houver desalinhamento no acoplamento dos eixos da bomba e motor de acionamento. A figura 1 apresenta os impactos dos principais parâmetros construtivos no desempenho operacional e viabilidade de aquisição da bomba.

Figura 1: Influência do diversos parâmetros construtivos da bomba na eficiência energética.



Fonte: Autores

2.2. Estudo de caso

O presente estudo busca fazer uma análise do desempenho de uma bomba centrífuga empregada em um sistema de bombeamento de polpa de bauxita e buscar melhorias com o objetivo de diminuir o consumo de energia e manutenções corretivas nessa etapa do processo, através de uma possível substituição do equipamento.

As bombas de polpa empregadas na indústria de mineração devem-se diferenciar das demais, pois o minério de bauxita é bombeado em pequenas partículas imersas em água, no entanto essas partículas são abrasivas, principalmente em virtude da sílica, pois o valor da dureza é superior, aos demais elementos da composição da bauxita, conforme Tab. 2, e o desgaste provocado quando estas se chocam com os equipamentos deve ser previsto ao projetar uma bomba. O alto custo desse equipamento está diretamente aliado ao refinamento do projeto e consequentemente ao rendimento e vida útil. Existem diversos fabricantes de bombas no mercado, cada um possui características próprias, e estas devem ser rigorosamente analisadas ao selecionar a bomba ideal para um determinado projeto. Os fatores que impactam na seleção de um equipamento para um projeto são: o custo deste equipamento, a vida útil, custo e disponibilidade de peças sobressalentes, custo e acessibilidade na manutenção e consumo de energia. Sendo o processo de produção contínua, e a bomba é uma das máquinas essenciais ao processo de produção dessa indústria, portanto, uma parada prejudica toda cadeia produtiva e perda de produção.

A bomba A que estava em operação antes da troca possui as características construtivas descritas na Tab. 1:

Tabela 1: Componentes e características construtivas da bomba A

Componentes	Características
Carçaça	Ferro fundido ASTM A48 CL 30
Rotor	Ferro fundido ASTM A532 Classe III Tipo A (alto cromo)
Eixo	Aço carbono AISI 4140 ou AISI 1045
Manga de eixo	Aço inoxidável AISI 420
Base	Aço carbono
Diâmetro do rotor	365 mm
Número de pás	5
Tipo de Rotor	Fechado
Revestimento da carçaça	Borracha natural

Fonte: Fabricante da bomba A

Neste, a análise aconteceu fazendo um levantamento do histórico de manutenções corretivas, substituição de peças sobressalentes, paradas na produção, gasto com mão de obra. Ao longo dos anos de operação foram documentadas diversas paradas na produção para realizar manutenções corretivas programadas e troca de peças sobressalentes, dentre os problemas constantes gerados nos filtros hiperbáricos estavam as oscilações de vazão, a impossibilidade de aumentar a pressão no filtro devido à bomba não suportar e apresentar desgastes prematuros, aumento da umidade da bauxita após o filtro hiperbárico e perda de vazão, isso implicava em limitações na produção.

Tabela 2: Propriedades dos minerais majoritários encontrados em bauxitas

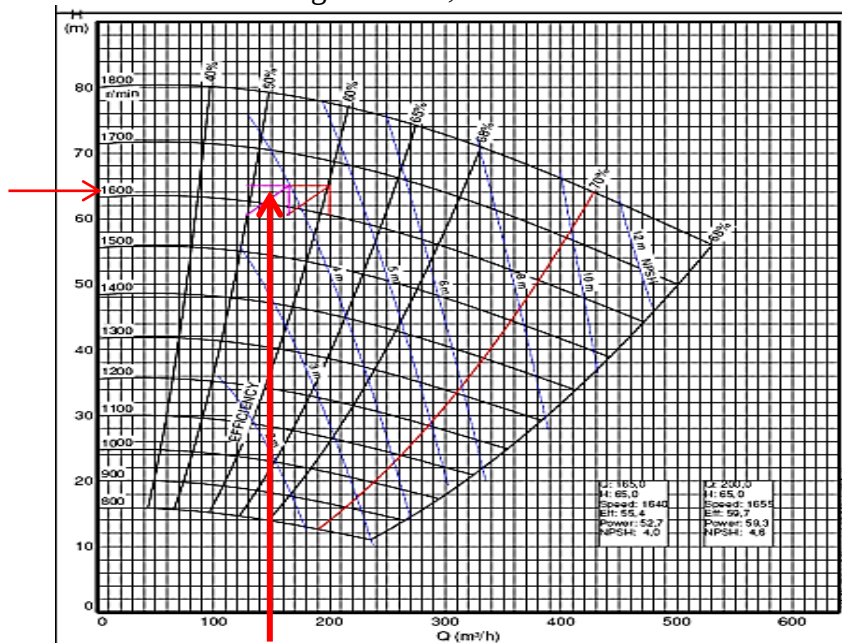
Elementos	Mineral	Composição química	Densidade	Dureza (Brinell)
Alumínio	Gibbsita	Al(OH)3	2,3-2,4	2,5-3,5
	Bohemita	γ -AlOOH	2,9-3,0	3,5-4,0
	Diásporo	α -AlOOH	3,35-3,45	6,5-7
Silício	Caulinita/Halloysita	Al2Si2O5(OH)4	2,6-2,65	2-2,5
	Quartzo	SiO2	2,65	7
Ferro	Hematita	Fe2O3	5,26	5,5-6,5
	Goethita	FeOOH	4,37	5-5,5
	Goethita aluminosa	(Fe, Al)2O3.H2O	-	-
Titânio	Rutilo	TiO2	4,18-4,25	6-6,5
	Anatásio	TiO2	3,9	5,5-6

Fonte: Diego de Souza Arenare, Dissertação de mestrado.

De uma forma geral a bomba possui as características a serem aplicadas em bombas para serviços abrasivos, no entanto pequenas alterações como no perfil da pá, diâmetro do rotor, materiais utilizados nas confecções das peças e folgas internas, podem proporcionar grandes benefícios quando a aplicação é a nível industrial e sendo um dos principais equipamentos do processo, no qual uma parada representa queda de produção. A aplicação deste material é

justificada pela alta abrasividade da polpa de minério de bauxita, essa polpa contém partículas que se chocam contra o rotor e a carcaça gerando impacto que podem ocasionar desgaste prematuro deste, com isso quanto mais resistente for o material maior é a vida útil destes componentes. O gráfico 1 ilustra o ponto de operação da bomba A na curva de carga x vazão, nesse processo a bomba operava com uma carga manométrica de 65m e vazão de 145 m³/h e atinge rendimento de 52%. Em referencia ao modelo de bomba empregado antes da troca, será usado o pseudônimo bomba A.

Gráfico1. Curva de carga x vazão, rendimento da bomba fabricante A



Fonte: Fabricante A

A evolução da tecnologia impulsionada pela maior demanda de materiais com melhores propriedades mecânicas e químicas possibilita um maior acesso a eles. Com todas essas variáveis no processo constatou-se a necessidade de realizar um estudo para proporcionar estabilidade na produção e menor consumo energético.

Com os requisitos de projeto definido para uma pressão de descarga no filtro hiperbárico de 6,1 bar e carga manométrica de 65 m e vazão de 145 m³/h é possível calcular a potência hidráulica necessária ao fluido através da EQ. (1) para vencer as perdas de energia e seja capaz de deslocar na vazão requerida e manter a pressão interna no filtro, (FOX, 2008).

$$W_h = \rho g Q H_m \quad (1)$$

Onde; ρ é a massa específica da polpa em kg/m³, g é a gravidade em m/s², Q é a vazão em m³/h e H_m é a carga manométrica em metros de coluna de água.

A bomba apresenta perdas de energia já discutidas anteriormente, logo a potencia de acionamento da bomba pelo motor elétrico deverá considerar essas perdas que são definidas em rendimento hidráulicas (η_h), rendimento mecânico (η_m). Portanto, a potência motriz (energia que o motor elétrico deverá fornecer ao eixo da bomba) pode ser calculada pela EQ. (2), (Macintyre, 1997).

$$W_m = \frac{\rho g Q H_m}{\eta_h \eta_m} \quad (2)$$

A bomba de polpa faz parte do principal processo produtivo da empresa com isso é essencial que sua operação atenda os requisitos de projeto, sendo assim uma nova bomba nesse caso foi a opção mais tecnicamente adequada, pois atendia aos requisitos que o processo solicitava, além do suporte

de acompanhamento técnico, disponibilidade de peças, preço acessível, menor consumo de energia e maior vida útil. As características da nova bomba aplicada ao processo são listadas a seguir na Tab. 3, as diferenças mais evidentes são a carcaça de ferro fundido em alto cromo sem revestimento (nesse aspecto o alto cromo apresentou maior durabilidade aos impactos das partículas sólidas, em comparação a borracha natural) e maior diâmetro do rotor.

Tabela 3: Componentes e características construtivas da nova bomba modelo HM 150 FHC-S C5

Componentes	Características
Carcaça	Ferro fundido ASTM A532 Classe III Tipo A (alto cromo)
Rotor	Ferro fundido ASTM A532 Classe III Tipo A (alto cromo)
Eixo	Aço carbono AISI 4140 ou AISI 1045
Manga de eixo	Aço inoxidável AISI 420
Base	Aço carbono
Diâmetro do rotor	400 mm
Número de pás	5
Tipo de Rotor	Fechado

Fonte: Fabricante da Bomba Metso Minerals.

Em Pfeleiderer e Petermann (1979) quanto maior o número de pás maior é seu rendimento, no entanto maior é o atrito. O número de pás é estabelecido pelo diâmetro do rotor e a espessura das pás de modo que os canais de passagem das partículas não seja exageradamente estreito que possa ser obstruído pelas partículas da polpa e com isso diminuir o rendimento, na prática usam-se 5 pás para rotores metálicos acima de 300 mm.

Ainda na metodologia de dimensionamento de rotor de bomba proposto por Pfeleiderer e Petermann (1979), outro fator que aumenta a eficiência é utilizar rotores fechados, pois reduz a recirculação de fluido, em aplicações de bombeamento de polpa, pode ocorrer bloqueio nos canais em diâmetro de rotor pequenos e a fabricação é mais sofisticada. Também em Pfeleiderer e Petermann (1979), o diâmetro do rotor tem influência na carga manométrica, quanto maior o diâmetro maior será a carga. Se forem estabelecidas uma altura manométrica e aumentar o diâmetro nesse caso a rotação diminui e terá impacto no rendimento e um menor consumo de energia, no entanto maior atrito do fluido com o rotor. Essas relações podem ser observadas pela equação fundamental de Euler para máquinas de fluxo geradoras EQ. (3) e pela equação de cálculo de diâmetro ideal de rotor EQ. (4).

$$Y_{p\infty} = u_5 \cdot c_{u5} - u_4 \cdot c_{u4} \quad (3)$$

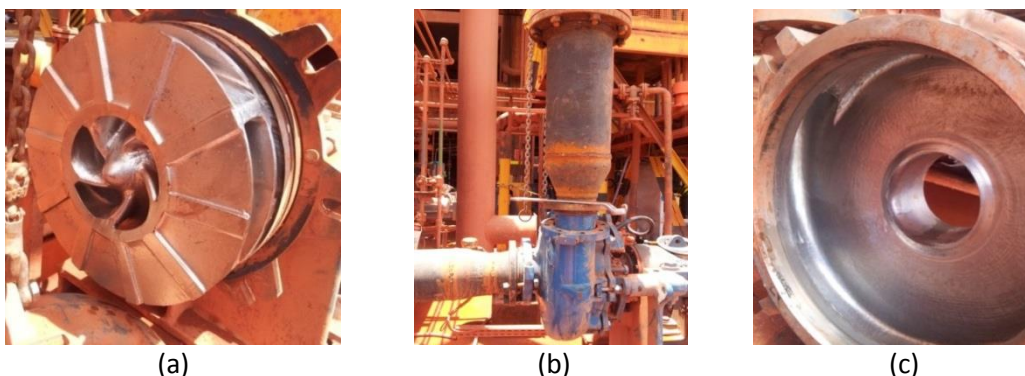
Onde: u_4 e u_5 são respectivamente as velocidade tangencial de um ponto na entra e saída do rotor, em (m/s), c_{u4} e c_{u5} componente tangencial da velocidade absoluta para a entrada e saída do rotor, em (m/s).

$$D_s = \frac{u_5}{\pi \cdot n} \quad (4)$$

Sendo: u_5 é a velocidade na saída do rotor em m/s, n é a rotação em rps do rotor.

Nessa relação observa-se quanto maior o diâmetro de saída do rotor maior é a energia fornecida por ele ao fluido, isso porque aumenta a velocidade tangencial do rotor na saída. Um rotor de maior diâmetro operando a baixa rotação consegue atender a uma mesma carga manométrica de um rotor de diâmetro menor operando com alta rotação, porém um rotor de maior diâmetro necessita de maior torque no eixo da bomba, por isso o uso do diâmetro ideal se faz necessário. A relação entre o diâmetro e a eficiência é estabelecida pela condição de serviço, por exemplo: para serviços altamente abrasivos é preferível ter uma baixa rotação, pois o desgaste das partes que se chocam com a polpa é menor e com isso maior durabilidade, isso tem um retorno financeiro maior em relação à produtividade e troca de peças, mesmo a bomba possuindo uma menor eficiência. Um exemplo de razão ótima entre diâmetro do rotor/diâmetro do bocal de admissão = 2,5:1, (Apostila Bombas de Polpa-Básico, Metso Minerals). A figura 2 apresenta respectivamente os principais componentes da nova bomba modelo HM150 FHC-S C5 rotor, bomba instalada e carcaça.

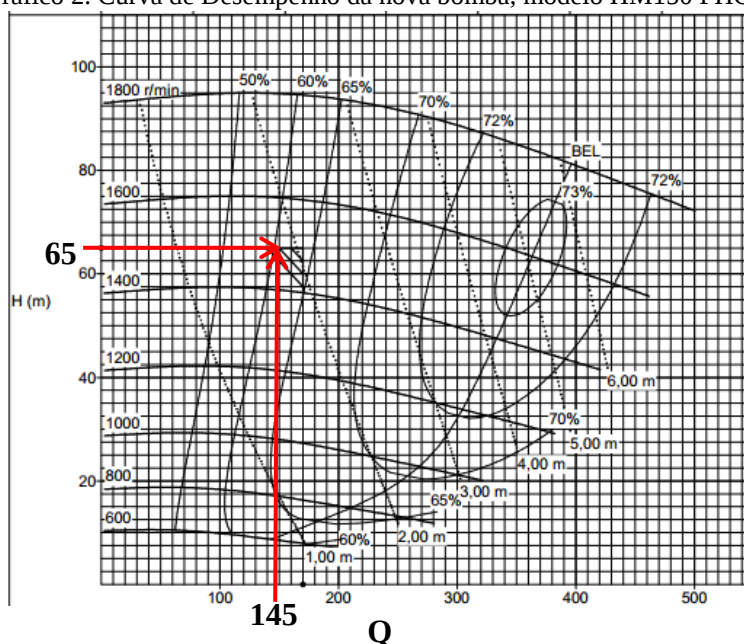
Figura 2. Componentes da nova bomba, representando por (a) rotor, (b) bomba em operação e (c) carcaça.



Fonte: Metso Minerals

Em seguida são apresentadas no gráfico 2 as curvas da bomba modelo HM 150 FHC-S C5 para diferentes rotações, rendimento, carga e vazão com o diâmetro de 400 mm. No ponto de operação estudado de 145 m³/h e carga 65 m é possível observar o rendimento 60 %, portanto superior ao modelo de bomba A na qual fornece um rendimento de 52%.

Gráfico 2. Curva de Desempenho da nova bomba, modelo HM150 FHC-S C5.



Fonte: Metso Minerals

3. AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento vai para a empresa Mesto Minerals, pelo apoio em realizar esse estudo, em mais uma de suas melhorias e atualizações de sistemas de bombeamento mineral.

4. REFERÊNCIAS

- ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. 2 Setembro 2017 < http://www.abal.org.br/aluminio/producao_alupri.asp>
- Apostila Bombas de Polpa-Básico, Metso Minerals. 3 Agosto 2017
<http://valveproducts.metso.com/documents/pumps/Slurry_Pump_Basic_Handbook/pt/Slurry%20Pump%20Basic_2012_Ed1_PT.pdf>
- D.S. ARENARE. Caracterização de amostras de bauxita visando a aplicação de métodos de concentração gravítica. Dissertação de mestrado- UFMG 2009. 2 Setembro 2017 <<https://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/1259M.PDF>>
- Henn, Érico Antonio Lopes. Máquinas de Fluido. Santa Maria: Ed. da UFSM - 2ª edição, 2006.
- PFLEIDERER, Carl., PETERMANN, Hartwig., Máquinas de Fluxo, Livros Técnicos e Científicos-RJ, 1979.
- Robert W. Fox, Philip J. Pritchard, Alan T. McDonald, 1938. Introdução à mecânica dos fluidos. Rio de Janeiro: LTC- 8ª edição, 2015.
- Kasama, A.H; de Andrade, L.G; Mourisco, A.J; Kiminami, C.S; Botta, W.J. Resistência ao desgaste de Ferro Fundido Branco Branco Alto Cromo conformado por spray. CBECIMAT, congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, Natal 2002.

- MACINTYRE, A. J, Bombas e Instalações de Bombeamento - coordenador editorial Julio Niskier - 2º Edição revista - Rio de Janeiro - Editora LTC, ano 2016.
- Mariot, P. Estudo do efeito do teor de molibdênio no endurecimento dos ferros fundidos brancos de alto cromo. UFSC, programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais-PGMAT.
- P. Ortega, UFSC; P. Bernardini, UFSC e L.A. Torres, TRACTEBEL. Otimização do Tratamento Térmico de Desestabilização do Ferro Fundido Branco de Alto Cromo Classe II D Usado em Moinhos Rolo sobre Pista de Usinas Termoeletricas.
- Radi, P.A; Santos, L.V; Bonetti, L.F; Tava-Airrold, V. J. Tribologia, Conceitos e Aplicações. nais do XIII ENCITA 2007, ITA, Outubro, 01-04, 2007.
- Sampaio, J.A.; Andrade, M.C.; Dutra, A.J.B., 2005 “Bauxita” In: Rochas & Minerais Industriais, Ed. A.B. da Luz; F.F Lins, CETEM/MCT, Rio de Janeiro RJ, pp.279-304.
- T.F. de Aquino, R.F. de Fáveri, H.G. Riella, E.R. Tomazzoli, E.F. Urano Carvalho. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MINERALÓGICA DA BAUXITA DE SANTA CATARINA PARA A PRODUÇÃO DE REFRATÁRIOS COM BAIXO TEOR DE ÓXIDO FERRO. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 10 Outubro 2017 <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/cbecimat/12530.pdf>>.

5. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF PERFORMANCE OF PULP ORE PUMP (BAUXITE)

Raimundo Anderson Carvalho Meireles, anderson3224@hotmail.com¹

Caetano Chaves Lobato, caetano25lobato@gmail.com¹

David da Silva Foinquinos, david.foinquinos@hotmail.com¹

Roger Barros da Cruz, rogerbc01@gmail.com¹

Arielly Assunção Pereira, arielly.pereira@gmail.com¹

¹Faculdade Estácio de Belém, Pará/Brasil,

Abstract. *This paper aims reporting and analyzing a case in an aluminum refinery located in Barcarena town in the state of Pará. The main objective was to improve performance in the Bauxite pulp pumping system for the hyperbaric filters. During the period of evaluation, the installed pumps presented low performance, due to some factors: oscillation in filter pressure, high number of corrective stops due to operating wear, high-energy consumption. Finally, all these factors converged in search of viable solutions, by the professionals of the company under study and this one provided us with a study to justify which the main parameters of the pump of pulp has influence in projects of energetic energy improvements, reduction of operational cost and stable production in this specific area. As the possibilities to reach these objectives are to apply pumps that present the least loss of hydraulic and mechanical energy and made of material of greater mechanical and chemical resistance, develop with the attacks of the bauxite chemical composites.*

Keywords: *centrifugal pump, bauxite ore, pump efficiency, energy efficiency.*