



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

ERISSON BRENO BEZERRA BATISTA
GABRIEL BARRETO TELES FONSECA
PAULO HENRIQUE BONFIM JR
VICTOR BORGES LIMA
VICTOR TEIXEIRA ESTEVES AMOEDO

INSTRUMENTAÇÃO DO SISTEMA DE VÁCUO E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DOS MOTORES DO FM I E FM II

SALVADOR

2020

ERISSON BRENO BEZERRA BATISTA
GABRIEL BARRETO TELES FONSECA
PAULO HENRIQUE BONFIM JR
VICTOR BORGES LIMA
VICTOR TEIXEIRA ESTEVES AMOEDO

INSTRUMENTAÇÃO DO SISTEMA DE VÁCUO E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DOS MOTORES DO FM I E FM II

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Frederico Cesário

SALVADOR

2020

ERISSON BRENO BEZERRA BATISTA
GABRIEL BARRETO TELES FONSECA
PAULO HENRIQUE BONFIM JR
VICTOR BORGES LIMA
VICTOR TEIXEIRA ESTEVES AMOEDO

INSTRUMENTAÇÃO DO SISTEMA DE VÁCUO E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DOS MOTORES DO FM I E FM II

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Frederico Ramos Cesário - Orientador
Centro Universitário SENAI CIMATEC – Salvador/BA

Prof. João Lucas da Hora - Gestor Theoprax
Centro Universitário SENAI CIMATEC – Salvador/BA

Prof. Me. Sérgio Oliveira Pitombo - Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica
Centro Universitário SENAI CIMATEC – Salvador/BA

Salvador, _____ de _____ de _____.

RESUMO

A automação industrial e a eficiência energética são um grande feito para a melhoria do processo de qualquer indústria. Levando em consideração a defasagem de instrumentação no processo de filtração Moore na Tronox, foi elaborado um plano para que o alto custo com energia elétrica fosse reduzido. Sendo assim, foi pensado desde a eficiência de seus motores e possíveis melhorias, como também elaborado uma instrumentação inicial para melhorar a confiabilidade do seu processo evitando perdas. A partir de então fica mais fácil atingir o esperado que será a possível automação do processo. O presente trabalho tem como objetivo a redução do custo energético no processo do FM I e FM II. O estudo será feito a partir da análise de documentos já existentes como manuais, fichas técnicas e diagramas, sugerindo melhorias através de novas tecnologias existentes no mercado.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Instrumentação. Automação.

ABSTRACT

Industrial automation and energy efficiency are a great achievement for improving the process of any industry. Taking into account the lag of instrumentation in the Moore filtration process at Tronox, a plan was developed to reduce the high cost of electricity. There, it was thought from the efficiency of its engines and possible improvements, as well as an initial instrumentation to improve the reliability of its process, avoiding losses. From then on, it becomes easier to achieve the expected which will be the possible automation of the process. This work aims to reduce the energy cost in the process of FM I and FM II. The study will be based on the analysis of existing documents such as manuals, technical sheets and diagrams, suggesting improvements through new technologies on the market.

Keywords: Energy Efficiency. Instrumentation. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do Projeto

Figura 2: Atual Motor Tronox

Figura 3: Parâmetros construtivos da bomba a vácuo Nash CL1003.

Figura 4: Exemplo de bomba de vácuo.

Figura 5: Funcionamento bomba de vácuo de anel líquido.

Figura 6: Indicador de Corrente atual da empresa Tronox

Figura 7: Rotâmetro e Válvula, do FM I e FM 2

Figura 8: Transmissor de Pressão.

Figura 9: Características construtivas do sensor de corrente Hawkeye.

Figura 10: Exemplo de instalação do sensor de corrente.

Figura 11: Rotâmetro KATFLOW 100.

Figura 12; Rotâmetro KATFLOW 150.

Figura 13: Princípio de funcionamento do rotâmetro ultrassônico.**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 14: Válvula de controle da Samson modelo 241-7 e 241-4.

Figura 15: Curva característica entre o movimento do obturador em relação à sua sede e a vazão do fluido manipulado.

Figura 16: Válvula On-Off tipo esfera da Solution.

Figura 17: Válvula On-Off tipo borboleta da Solution.

Figura 18: Conjunto Motor Bomba presente no FM I e FM II

Figura 19: Fluxograma do procedimento para entrada e retirada do conjunto motobomba.

Figura 20: Manômetro Digital Gold VKP-062

Figura 21: Vistas e dimensões do Manômetro VKP-62.

Figura 22: Bateria para Alimentação do Manômetro VKP-062.

Figura 23: Transmissão de Pressão diferencial VKP-057.

Figura 24: Vistas e dimensões do Manômetro VKP-057.

Figura 25: Manômetro Rücken RMD-420.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características mecânicas e elétricas do motor trifásico utilizado na empresa Tronox.

Tabela 2: Comparativo entre os modelos dos motores trifásico de mercado e o motor de estudo.

Tabela 3: Comparativo entre os modelos H321 e 421 de sensores de corrente da Hawkeye.

Tabela 4: Comparativo entre os modelos KATFLOW 100 e KATFLOW 150.

Tabela 5: Comparativo entre os modelos 241-7 e 241-4 de válvula de controle da Samson.

Tabela 6: Atuador eletro-hidráulico interno do modelo 241-4 da válvula de controle da Samson.

Tabela 7: Características técnicas das válvulas On-Off da Solution.

Tabela 8: Comparativo entre modelos de manômetros e transmissores

Tabela 9: Investimento em Medidores de Pressão.

Tabela 10: Análise de Consumo das motobombas.

Tabela 11: Estimativa de tempo de retorno investido.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
ANSI	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
BSP	BRITISH STANDARD PIPE
CLP	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL
CV	CAVALO VAPOR
FM I	FILTRAÇÃO MOORE I
FM II	FILTRAÇÃO MOORE II
FP	FATOR DE POTÊNCIA
FS	FATOR DE SERVIÇO
HART	HIGHWAY ADDRESSABLE REMOTE TRANSDUCER
HP	HORSE POWER
IEC	INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
I_n	CORRENTE NOMINAL
I_p	CORRENTE DE PARTIDA
LED	LIGHT EMITTING DIODE
NPT	NATIONAL PIPE THREAD
P_u	POTÊNCIA ÚTIL
P_a	POTÊNCIA ABSORVIDA
RPM	ROTAÇÃO POR MINUTO
VCC	TENSÃO DE CORRENTE CONTÍNUA

LISTA DE SÍMBOLOS

A AMPERE

Hz HERTZ

KW KILO WATTS

Kg KILOGRAMA

mA MILI AMPERE

V VOLT

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROCESSO DE FILTRAÇÃO FM I E FM II	12
1.2	MOTORES ELÉTRICOS	13
1.3	INSTRUMENTAÇÃO NA INDÚSTRIA.....	13
1.4	OBJETIVOS	14
1.4.1	Objetivo Geral	14
1.4.2	Objetivos Específicos.....	14
2	METODOLOGIA	14
3	DESENVOLVIMENTO	16
3.1	PROCESSOS UTILIZADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DOS ENTREGÁVEIS.....	16
3.1.1	Medição de Consumo do Motor	16
3.1.2	Análise da Planta Baixa FM I e FM II.....	16
3.1.3	Protocolo HART	17
3.2	ELEMENTOS ANALISADOS NO PROJETO	17
3.2.1	Motores Elétricos	17
3.2.2	Bomba de Vácuo	19
3.2.3	Sensor de Corrente.....	21
3.2.4	Rotâmetro	22
3.2.5	Válvulas de Controle.....	22
3.2.6	Transmissor de Pressão	23
4	RESULTADOS	24
4.1	ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES TRIFÁSICOS	24
4.1.1	Resultados	24
4.1.2	Proposta da Equipe	27
4.2	PROPOSTA DE INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO.....	28
4.2.1	Resultados	28
4.2.2	Proposta da Equipe	39

4.3	PROPOSTA DA MELHORIA DA MEDIÇÃO DE VÁCUO.....	40
4.3.1	Resultados.....	40
4.3.2	Proposta da Equipe.....	45
5	PAYBACK.....	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
7	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A Tronox é uma indústria química de grande porte no mundo, com cerca de 7 mil empregados distribuídos em seis continentes, tudo isso faz a Tronox a maior produtor de dióxido de titânio do mundo.

A Tronox possui uma produção verticalmente integrada de dióxido de titânio (TiO₂) e químicos inorgânicos: a Tronox minera e processa minério de titânio (ilmenita), zirconita, dentre outros, e produz pigmento de dióxido de titânio e materiais de titânio de alta pureza. Seus produtos adicionam brilho e durabilidade a tintas, plásticos, papéis e outros produtos do dia-a-dia.

No Brasil, a Tronox atua em três unidades: a Mina do Guajú, em Mataraca – Paraíba; a fábrica de TiO₂ em Camaçari – Bahia; e o escritório comercial na capital de São Paulo, que atende à demanda de clientes da América Latina.

A planta da Bahia utiliza como principal matéria-prima o minério de Titânio, ou ilmenita, retirado da mina do Guajú.

1.1 PROCESSO DE FILTRAÇÃO FM I E FM II

O processo de Filtração Moore é uma etapa bastante importante na produção do TiO₂, através dele é possível separar o material desejado da água.

Dentro desses sistemas encontram-se as bacias com a solução aquosa e mergulhadas nela estão os frames, estes conectados ao *header* que é tubulação responsável de transportar o vácuo vindo das motobombas.

Este processo requer tempo, sendo ele o gargalo da produção, pois se faz necessário mergulhar o frame e esperar toda a parte sólida estar grudada nos frames e logo após suspender o frame e leva-lo até outra bacia, onde esse transporte só é possível se as motobombas estiverem em seu pleno funcionamento para manter o vácuo entre o sólido e o frame.

1.2 MOTORES ELÉTRICOS

O motor de indução trifásico é uma máquina elétrica de corrente alternada, com o circuito elétrico de uma parte ligada a um sistema de alimentação trifásico, e com o circuito elétrico da outra parte submetida a fenômenos de indução magnética.

O circuito elétrico indutor encontra-se no estator da máquina, enquanto que o circuito induzido está no rotor da máquina.

Tendo em vista que um dos maiores consumos da Tronox é de energia elétrica, foi visto que em algumas etapas de seu processo existem motores de grande porte (75 CV) que alimentam as bombas de vácuo no processo de filtração Moore, que serão os objetos de estudo. Visando a redução do consumo de energia elétrica de tal sistema, é necessário especificar motores com rendimento maior possível, visto que esse fator irá impactar diretamente na eficiência do sistema e conseqüentemente no consumo. Define-se eficiência energética a relação entre a quantidade de energia consumida por um equipamento e a quantidade de energia utilizada de forma efetiva. Alguns fatores que possuem grande impacto negativo na eficiência energética do sistema são observados na conexão entre o motor e a bomba de vácuo, perdas térmicas no sistema, ruídos sonoros, entre outros. Portanto reduzindo tais perdas, também é possível aumentar a eficiência energética desse sistema.

1.3 INSTRUMENTAÇÃO NA INDÚSTRIA

A medição e o controle de processos são fundamentais para gerar, em última análise, os melhores resultados possíveis quanto à utilização de recursos, máquinas, desempenho, rentabilidade, proteção ambiental e segurança em uma unidade de produção.

A Instrumentação Industrial, quando utilizada de maneira criteriosa e planejada, reduz custos, aumenta a produtividade e contribui com a qualidade e a segurança da produção em que se trabalha. Além disso, também é de extrema importância para a automação do sistema em questão.

Um dos principais objetivos da Instrumentação Industrial é manter o controle do processo produtivo. Se a medição é eficiente, como resultado haverá um maior rendimento da produção, pois os processos serão feitos sem interrupções. Muitos processos necessitam de um fluxo contínuo de entrada e saída de materiais. É inviável obter um fornecimento consistente com taxas variáveis ou se houver incidentes na linha.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

- Instrumentação do sistema de vácuo e análise de eficiência energética dos motores de vácuo do FM I e FM II.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar o processo já existentes no local e sugerir uma possível troca de motores;
- Melhorar o monitoramento de vácuo já existente no processo;
- Instrumentar o processo para viabilizar uma automação do sistema.

Para alcançar os objetivos propostos, o desenvolvimento dos produtos a serem entregues baseou-se em analisar o atual processo, entendê-los e buscar pontos que necessitavam de melhorias e maior atenção perante ao consumo de energético.

2 METODOLOGIA

Após a decisão, juntamente com o cliente sobre o escopo do trabalho, o projeto se definiu por elaboração de frentes de desenvolvimento, sendo essas divididas em: análise de eficiência energética para motores trifásicos, proposta da melhoria da medição de vácuo do sistema e instrumentação e automação do processo.

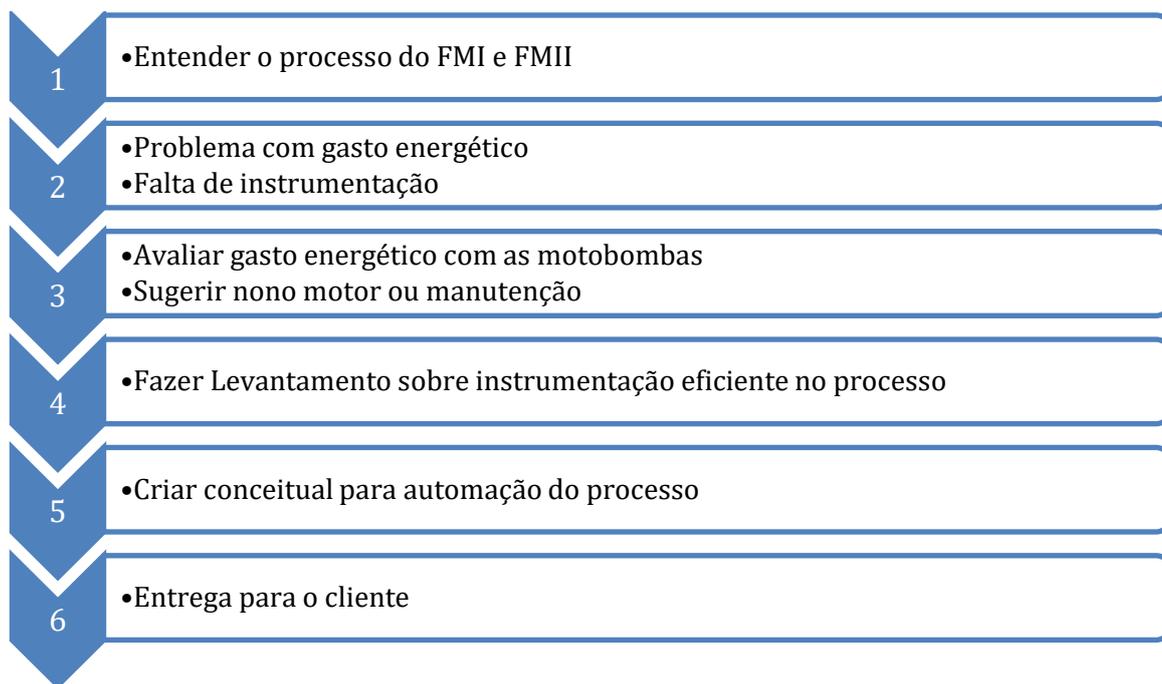
Sob o enfoque da eficiência energética, para o estudo da troca dos motores, fez-se necessário compreender todas as características dos motores trifásicos de indução que a empresa utiliza no seu processo industrial, além da compreensão das técnicas de diagnóstico energético. Trazendo assim um ponto importante para esse estudo, que é obtenção das curvas características do motor, que nos dar condições de verificar as circunstâncias operacionais do motor e analisar economicamente, uma possível troca dos motores atual por um de melhor característica e rendimento.

Através de visitas a planta industrial da Tronox, foi relatado alguns pontos importantes que influenciam no funcionamento eficiente do sistema de filtração Moore. Esses pontos são de suma importância para a proposta da melhoria da medição de vácuo do sistema e instrumentação do processo. Tendo em vista que, atualmente o processo realizado na planta FM I e FM II não possui instrumentação suficiente para uma possível automação do seu sistema. Foi necessário estudar e compreender todo o processo para que seus pontos

críticos fossem encontrados e a partir dessas observações criar um projeto conceitual de instrumentação e automação, o que fornece ferramentas para uma automatização do processo de filtração Moore.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o fluxograma geral criado para exemplificar o caminho seguido pela equipe para atender a demanda do projeto.

Figura 1: Fluxograma do Projeto



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Os recursos utilizados para o desenvolvimento do projeto foram os manuais dos equipamentos, informações disponibilizadas por empresas que realizam manutenção ou fabricantes através de sites ou por telefone, visitas técnicas à planta da Tronox e documentações da empresa.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 PROCESSOS UTILIZADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DOS ENTREGÁVEIS

Como parte integrante das melhorias sugeridas aqui nesse relatório, foram considerados os seguintes tópicos importantes no que tange o processo do FM I e FM II visando a melhoria no consumo energético e também melhorando a confiabilidade e disponibilidade do sistema.

3.1.1 Medição de Consumo do Motor

Atualmente, a empresa não possui nenhum mecanismo de análise do consumo do conjunto motobomba, somente medidores de corrente e os dados de consumo do motor. Por serem motores de grande carga, sabe-se que seu consumo é elevado. Essa análise de consumo é de suma importância por se tratar de motores que funcionam em um regime contínuo e possuem um tempo considerável de uso. Alguns motores, com o tempo, reduzem seu rendimento acarretando em um consumo excessivo de energia onde a solução poderia ser a requalificação do mesmo, através de um rebobinamento por exemplo.

3.1.2 Análise da Planta Baixa FM I e FM II

O sistema opera atualmente com 8 (oito) motobombas concomitantemente, onde possivelmente não é necessário que todas as bombas permaneçam ligadas simultaneamente durante o processo. O único parâmetro monitorado de tais motores é a corrente elétrica, através de um amperímetro local e com visor comprometido. Para o correto funcionamento da bomba é necessário o controle de fluxo de água, pois a depender da vazão pode comprometer a formação do anel líquido e como consequência ocorrer a parada do sistema. Para medição da vazão de água atualmente é utilizado um rotâmetro. Além da medição da vazão de água, existe na planta apenas um transmissor de pressão responsável por aferir o nível de vácuo total que chega no header através das motobombas.

3.1.3 Protocolo HART

O protocolo HART é uma forma de comunicação de sistemas independentes onde existe a troca de informação de forma digital e bidirecional. O protocolo funciona de maneira similar a uma comunicação mestre/escravo, onde apenas o mestre solicita a informação e aguarda a resposta. Atualmente existe o protocolo HART Wireless, que nada difere a não ser pela não necessidade de fios para manter a comunicação.

3.2 ELEMENTOS ANALISADOS NO PROJETO

3.2.1 Motores Elétricos

Como já mencionado, um ponto importante para a realização do estudo de eficiência de motores elétricos trifásicos de indução é a obtenção das curvas características do motor. Dessa forma, é possível verificar as condições operacionais do motor e analisar economicamente, uma possível troca do motor por um de melhor rendimento.

A obtenção das curvas características do motor, pode ser obtida diretamente com o fabricante, em alguns casos essa opção torna-se inviável, uma vez que os motores mais antigos são mais difíceis de encontrar essas informações. Além disso existem grandes chances de alguns de seus conjuntos de bobinas terem sido trocadas ou desgastadas com o tempo, implicando em uma diferença dos parâmetros originais do motor que não são mais equivalentes aos de fábrica.

Um outro método que pode ser utilizado é a medição direta no motor. O interesse é a análise das diferentes curvas como as de: Corrente por Carga, Fator de Potência por Carga, Escorregamento por Carga e Rendimento por Carga. Realiza-se então a medição dessas cinco grandezas, que são feitas durante o funcionamento normal do motor.

Uma outra forma de obter essas curvas, é através dos parâmetros construtivos dos motores, nesse caso, obtém-se um modelo equivalente do motor trifásico, esse método se caracteriza por ser o mais teórico o que permite modelar um motor de indução trifásico como um motor de indução monofásico. Esses parâmetros podem ser obtidos realizando alguns ensaios laboratoriais, ensaio a vazio e ensaio de rotor bloqueado, conforme Apêndice A ou através dos dados da placa do motor, Apêndice B.

Com a proposta de realizar um estudo da eficiência energética e uma possível substituição dos motores que são utilizados em uma parte do processo produtivo da empresa Tronox, foi feito um levantamento de todas as características no motor em estudo. Essas informações encontram-se discriminadas na Tabela 1 e referem-se às características elétricas e mecânicas do motor da Figura 2, presente na sua placa de dados.

Tabela 1: Características mecânicas e elétricas do motor trifásico utilizado na empresa Tronox.

Motor de indução trifásico de alto rendimento - VOGES Vtop	
Modelo:	VN 280 S/M8-E1282
Potência:	75 CV
	55 KW
Tensão:	440 V
Corrente:	96 A
Frequência:	60 Hz
RPM:	880
Rendimento:	94.1
FP (cos ϕ):	0.80
FS:	1.15
Ip / In:	7.5
Massa:	653 Kg

Fonte: Tronox.

Figura 2: Atual Motor Tronox.



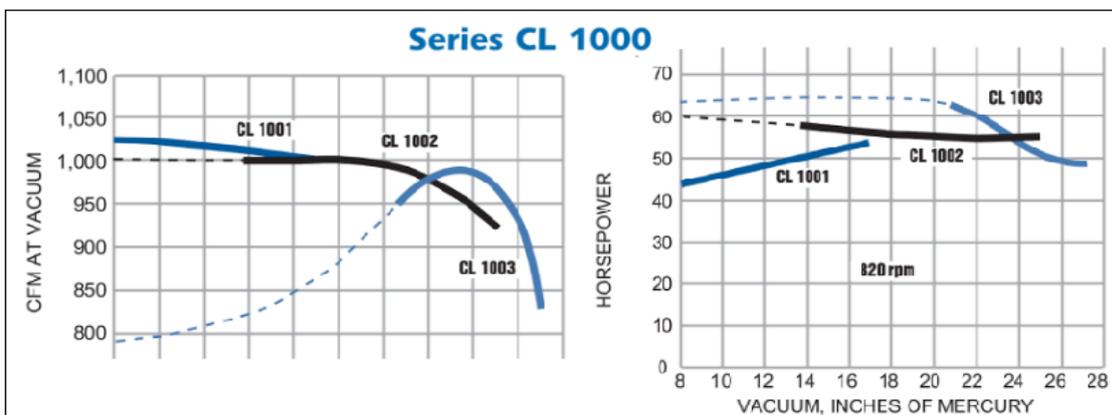
Fonte: Tronox.

3.2.2 Bomba de Vácuo

Além das características elétricas e mecânicas do motor, para o estudo proposto de eficiência é necessário conhecer qual carga que esse motor deve acionar. O motor de indução trifásico em questão é responsável por acionar uma bomba de vácuo.

A bomba a vácuo Nash CL1003 tem potência em torno de 60 HP e deve operar a uma rotação de 690 RPM em condições de temperatura de 60 °F (15,5 °C) e 50% de umidade relativa, segundo fabricante. Suas características estão descritas na Figura 3.

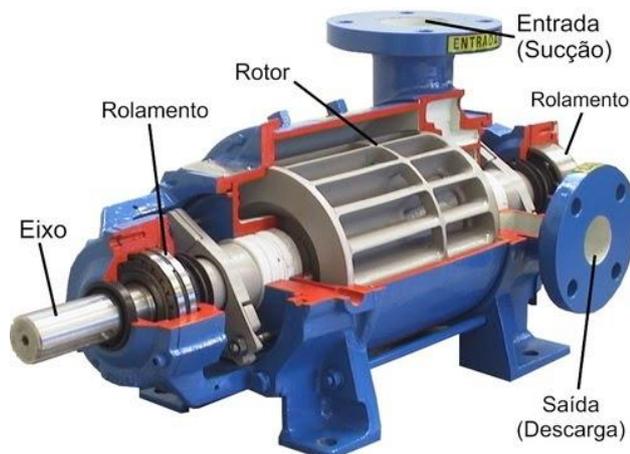
Figura 3: Parâmetros construtivos da bomba a vácuo Nash CL1003.



Fonte: Nash by Gardner Denver.

A bomba funciona através de um rotor que é ligado ao eixo de uma câmara de bombeamento demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Exemplo de bomba de vácuo.



Fonte: Nash by Gardner Denver.

De acordo com a Nash, para ser gerado o vácuo, um líquido de selagem deve ser adicionado a essa câmara, neste caso, o líquido de selagem é a água. Após o motor partir, o líquido preenche metade das cavidades de bombeamento, a força gerada pela rotação do rotor, gera uma força inercial centrífuga que irá fazer com que o líquido percorra contra a estrutura da bomba, gerando assim um anel líquido, conforme ilustrado na Figura 5, na qual o gás pode ser um fluido incompressível como a água.

Figura 5: Funcionamento bomba de vácuo de anel líquido.



Fonte: Nash by Gardner Denver.

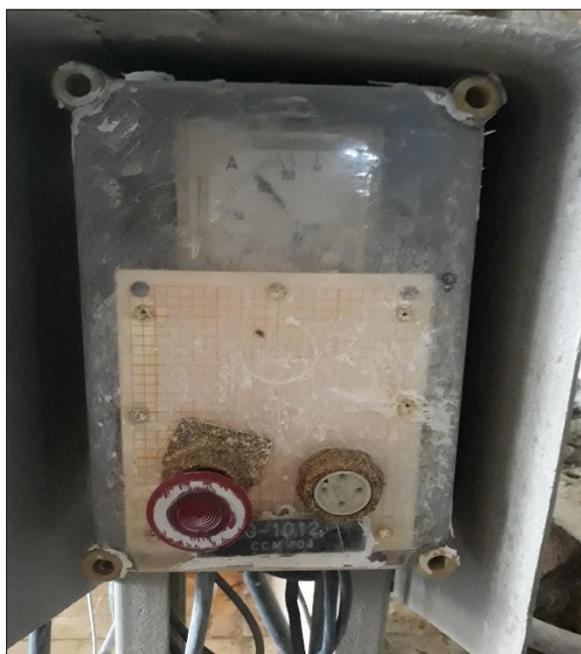
De acordo com Corrado Vallo (1) ao entrar e sair quase completamente do anel líquido o espaço formado entre duas pás e o corpo, se contrai ou se expande e, dependendo de sua posição em relação às placas, aspira ou expelle o ar ou gás, pois na expansão do volume há uma redução de pressão, formando-se assim o vácuo e na sua contração ocorre o contrário, ou seja, um aumento de pressão ou compressão. Os gases assim movimentados são expelidos com um pouco do líquido de selagem, de forma turbulenta na saída da bomba.

3.2.3 Sensor de Corrente

O sensor de corrente tem papel importante no monitoramento das bombas de vácuo, através dele é possível monitorar a sua partida e também é um dos parâmetros que determina se o fluxo de água na bomba está ótimo para a sua operação. Atualmente a empresa apresenta somente um indicador de corrente local, Figura 6.

Para a especificação do sensor de corrente foi preciso identificar o valor de corrente a ser mensurado. Os sensores de corrente serão instalados nos motores trifásicos, sabe-se que a corrente nominal do motor é de $I_n = 96 \text{ A}$, conforme demonstrado na Tabela 1, a relação entre a corrente de partida e a corrente nominal é de $I_n/I_p = 7.5$, isso nos dar um valor de corrente de partida de $I_p = 729.6 \text{ A}$. O sensor de corrente deve ser de fácil instalação, além disso, a comunicação deve ser feita utilizando o protocolo HART.

Figura 6: Indicador de Corrente atual da empresa Tronox



Fonte: Tronox.

3.2.4 Rotâmetro

O rotâmetro será responsável por medir a vazão de água que irá para a bomba de vácuo. A Figura 7 mostra Rotâmetro que atualmente é utilizado no processo industrial da empresa Tronox.

Figura 7: Rotâmetro e Válvula, do FM I e FM 2



Fonte: Tronox.

3.2.5 Válvulas de Controle

A válvula serve como um início a etapa de automação do sistema, pois ela vai receber os parâmetros do medidor de corrente e do rotâmetro para definir o quanto de água deve entrar na bomba para alcançar o máximo desempenho ao formar o vácuo.

Para a escolha de uma válvula que atenda a necessidade do sistema, precisa-se conhecer algumas condições que essa válvula será submetida, como tipo de fluido, pressão, temperatura, local de instalação, sinal de controle, entre outros.

Para o sistema proposto essa válvula tem por finalidade controlar a vazão de água que entra na bomba de vácuo, a qual é necessária para criar o anel líquido, ou cessar a transmissão do líquido para o motor caso seja necessário desligar o sistema de forma automática. Sabe-se que a temperatura que do fluido é de aproximadamente 30 °C. A Figura 7 mostra a atual válvula utilizada pela empresa Tronox.

3.2.6 Transmissor de Pressão

Afim de instrumentar o sistema de vácuo é necessário definir as premissas mínimas e requisitos para o perfeito funcionamento do sistema. A medição de pressão é um ponto crucial para que a planta tenha uma otimização de seus recursos. Dos requisitos mínimos necessários, pode-se citar a necessidade de medir níveis muito baixos de pressão, por se tratar de vácuo a medição deve ser capaz de mensurar valores abaixo de 1 bar de pressão. Outra condição de extrema importância é a necessidade de o equipamento possuir proteção contra poeira e jatos de água, já que é comum encontrar dióxido de titânio incrustado em grande parte dos equipamentos da planta. Para atingir a necessidade de futura automação, foi estabelecido como um requisito que o equipamento deve possuir comunicação compatível com o sistema de supervisão já implementado na Tronox. Na Figura 8, podemos observar o transmissor de pressão que é encontrado atualmente no processo industrial da Tronox.

Figura 8: Transmissor de Pressão.



Fonte: Tronox.

4 RESULTADOS

Nesta seção explicaremos os pontos que foram considerados e adotados para elaboração de uma solução que pode tornar o processo mais confiável ao ponto de evitar interrupções de sua operação e pronto para uma futura automação.

4.1 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES TRIFÁSICOS

4.1.1 Resultados

Com base nas informações mecânicas, elétricas e da carga foi realizado uma pesquisa com alguns fornecedores e fabricantes de motores de indução trifásico com o intuito de verificar se existia um motor trifásico com características melhores. Os resultados obtidos foram condensados na Tabela 2. Nesta, encontra-se um descritivo comparativo entre os motores trifásicos comumente encontrados e o motor utilizado pela empresa Tronox.

Tabela 2: Comparativo entre os modelos dos motores trifásico de mercado e o motor de estudo.

Características	Tronox	Pesquisado
Marca	Voges Vtop	Marathon Motors
Modelo	VN 280 S/M8-E1282	TCA 280S/M
Potência	75 CV / 55 KW	75 CV / 55 KW
Tensão	440 V	440 V
Corrente nominal	96 A	99,2 A
Frequência	60 Hz	60 Hz
Rotação	880 RPM	892 RPM
Rendimento	94,1%	93,6%
FP (cos ϕ):	0,80	0,78
FS	1,15	1,25
Conjugado nominal	61,0 Kgm	60,20 Kgm
Ip/In	7,5	6,3
Massa	653 Kg	814 Kg

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Discorrendo sobre cada parâmetro da Tabela 2, observa-se que os motores divergem nos parâmetros de corrente nominal, corrente de partida, rotação, fator de potência, rendimento, fator de serviço, entre outros. Analisando a corrente nominal e a corrente de partida, observa-se que o motor estudado possui uma corrente nominal menor, isso implica que a instalação elétrica desse motor terá um custo menor.

Em relação a corrente de partida o motor estudado apresenta um valor um pouco acima do motor de mercado, esse é um problema que pode ser resolvido utilizando uma partida de motor indireta. Um ponto importante sobre a corrente de partida é referente a sua influência em relação ao consumo e demanda da energia elétrica. Segundo Mamede (2010), a partida de um motor elétrico de indução pouco influencia no consumo e na demanda registradas no medidor de energia elétrica de uma instalação. Uma vez que, os medidores registram consumo de energia ativa absorvida pela carga em um determinado tempo.

O motor de mercado possui uma rotação um pouco maior, em relação ao motor estudado. A rotação de um motor é um parâmetro muito importante visto que para acionar a bomba é necessário de pelo menos uma rotação de 690 RPM.

Além disso, o fator de potência de um motor elétrico de indução no momento de sua partida é um valor considerado baixo, na ordem de 0.30 a 0.40. Outra consideração que corrobora tal afirmação é sobre o tempo de partida, esse considerado um valor reduzido, o que provoca uma potência muito pequena quando comparada a potência total demandada.

Sobre o fator de potência, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, determina que o fator de potência (FP) deve ser mantido o mais próximo possível da unidade; porém permite um valor mínimo de 0.92 indutivo ou capacitivo. A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa indutiva, como os motores elétricos, as cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência, a potência ativa que efetivamente realiza o trabalho, e a potência reativa que é usada para criar e manter os campos eletromagnéticos.

Nem toda energia elétrica introduzida em um aparelho é efetivamente convertida em forma de trabalho, geralmente uma parte desejada sofre por perdas energéticas. Desta forma é possível concluir que a energia final desejada e liberada por um aparelho elétrico é igual à energia que é introduzida no aparelho menos a energia perdida. Um motor não consome apenas potência ativa que é depois convertida em trabalho mecânico e calor (perdas), mas também potência reativa, necessária para magnetização, mas que não produz trabalho. (2)

Em relação ao fator de potência o motor trifásico estudado apresenta um valor considerado alto, difere bem pouco em relação aos motores de mercado. O fator de potência está relacionado a potência aparente e quanto dela é transformada em potência ativa, são desejados valores maiores possíveis pois quanto maior esse número maior é o aproveitamento da potência.

Uma outra característica importante é o rendimento dos motores, ele representa a relação entre a potência real ou útil (P_u) efetivamente transferida para a ponta do eixo e a potência total absorvida da rede P_a , ambas são potências ativas. De maneira resumida o rendimento de um motor é a relação entre a energia liberada e a energia introduzida. Na área da eletricidade, porém, é comum que o rendimento seja calculado pela potência elétrica. Visto a importância que o rendimento pode afetar no consumo, existe a norma IEC 60034-2 (2007) para determinar o rendimento em motores elétricos. O motor da Tronox apresenta um rendimento muito bom mesmo comparado ao outro sugerido.

Os motores elétricos em gaiola possuem suas próprias características de conjugado em relação a velocidade e a corrente de partida, sendo que um motor elétrico não apresenta o mesmo conjugado para diferentes rotações. Conforme o motor acelera, o valor do conjugado altera, adquirindo valores que vão depender das características do motor, geralmente o formato do rotor. A variação do conjugado não é linear e não existe relação de proporcionalidade com a rotação.

O Fator de serviço (FS) é um coeficiente que quando aplicado à potência nominal do motor elétrico indica a carga que pode ser acionada sob tensão e frequência nominais e levando em consideração o limite de elevação de temperatura do enrolamento. O FS está relacionado ao tempo de vida útil do motor. Sendo assim, o FS aplicado à potência nominal do motor indica a sobrecarga permitida que possa ser aplicada continuamente ao motor sob condições específicas. (3)

4.1.2 Proposta da Equipe

Com a análise da Tabela 2, é possível observar que o motor que a empresa trabalha, o modelo VN 280 S/M8-E1282, apresenta requisitos melhores quando comparado aos motores trifásicos de oito polos de mercado que foram avaliados, apresentando características gerais relativamente melhores que os demais. Dessa forma, entende-se e compreende-se com base nas pesquisas realizadas com diversos fornecedores, que o motor trifásico utilizado pela empresa Tronox, o modelo VN 280 S/M8-E1282, se apresenta como sendo o mais indicado para sua aplicação, com um rendimento acima dos motores de mercado pesquisados.

A proposta que a equipe traz é de realizar alguns estudos sobre os motores, verificando se suas condições de operação estão de acordo com o informado na sua placa de dados, utilizando dos métodos citados nesse documento para fazer o levantamento das curvas Corrente por Carga, Fator de Potência por Carga, Escorregamento por Carga e Rendimento por Carga. Com essas curvas é possível identificar as condições as quais o motor está operando e com base nos resultados dos gráficos tomar alguma ação coerente.

A nível de conhecimento a equipe traz no Anexo 1 um estudo de caso que exemplifica como proceder nos cálculos para realizar a troca de um motor de indução trifásico por um outro de rendimento superior, levando em consideração as curvas características do motor e como deve ser realizado o cálculo de economia de energia.

4.2 PROPOSTA DE INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

4.2.1 Resultados

4.2.1.1 Instrumentação

4.2.1.1.1 Especificação de sensor de corrente

Com base nos requisitos citados na seção 3.2.3, foi realizada uma pesquisa com alguns fornecedores e fabricantes de sensores de corrente. Os sensores da Hawkeye H321/H421 atendem aos requisitos citados. A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os modelos.

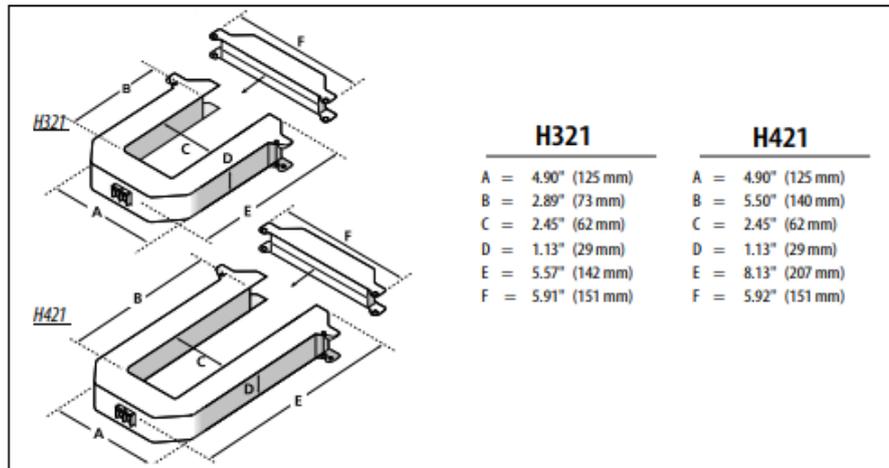
Tabela 3: Comparativo entre os modelos H321 e 421 de sensores de corrente da Hawkeye.

	Modelo H321	Modelo H421
Faixa de corrente	0 a 800 A	0 a 1200 A
Saída	4 a 20 mA	4 a 20 mA
Frequência	60Hz	60Hz
Faixa de Temperatura	-15° a 60°C	-15° a 60°C
Faixa de Umidade	0 - 95%	0 - 95%
Exatidão	2%	2%
Tempo de Resposta	2 seg	2 seg
Tensão de alimentação	12 a 30 Vcc	12 a 30 Vcc
Corrente	30 mA max	30 mA max
Ajuste de zero	3.5 a 4.5 mA	3.5 a 4.5 mA

Fonte: Catálogo da Hawkeye

O modelo H421 da Hawkeye, apresenta uma faixa de corrente um pouco maior que o modelo H321, no entanto possui maiores dimensões quando comparado ao modelo 321, Figura 9. Como a corrente de partida do motor trifásico é de aproximadamente 730 A. Sugere-se utilizar o modelo H321, uma vez que, além de apresentar uma faixa de medição adequada para o sistema, também possui dimensões menores o que facilita na instalação.

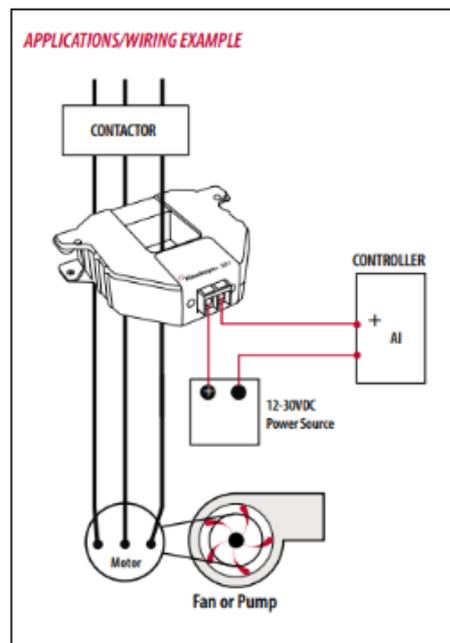
Figura 9: Características construtivas do sensor de corrente Hawkeye.



Fonte: Catálogo da Hawkeye.

A Figura 10, exemplifica o modo de instalação do sensor para uma das fases do motor trifásico, observa-se que para a instalação do sensor é necessária uma fonte de tensão para alimentação, além de cabos que serão utilizados para levar o sinal de corrente (4-20mA) até o supervisor.

Figura 10: Exemplo de instalação do sensor de corrente.

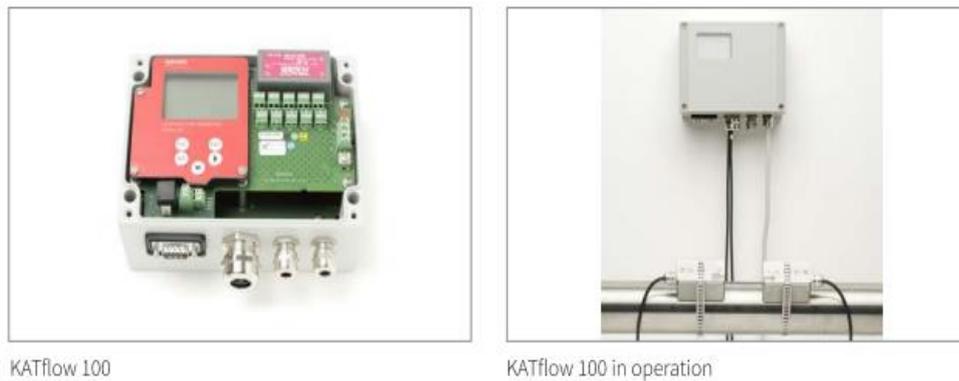


Fonte: Catálogo da Hawkeye.

4.2.1.1.2 Especificação de rotâmetro digital

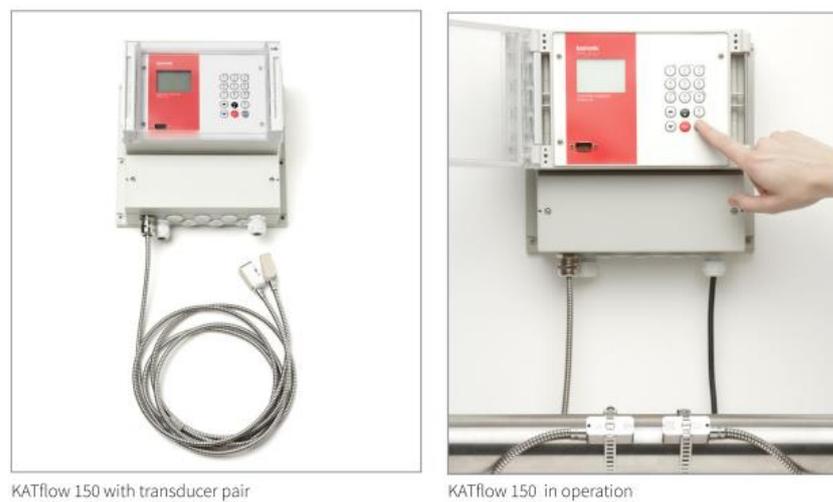
Com base nos requisitos citados na seção 3.2.4, foi realizado uma pesquisa com alguns fornecedores e fabricantes de rotâmetros, sendo assim foram escolhidos os rotâmetros KATFLOW 100 e KATFLOW 150, que podem ser observados nas Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

Figura 11: Rotâmetro KATFLOW 100.



Fonte: Catálogo da KATFLOW.

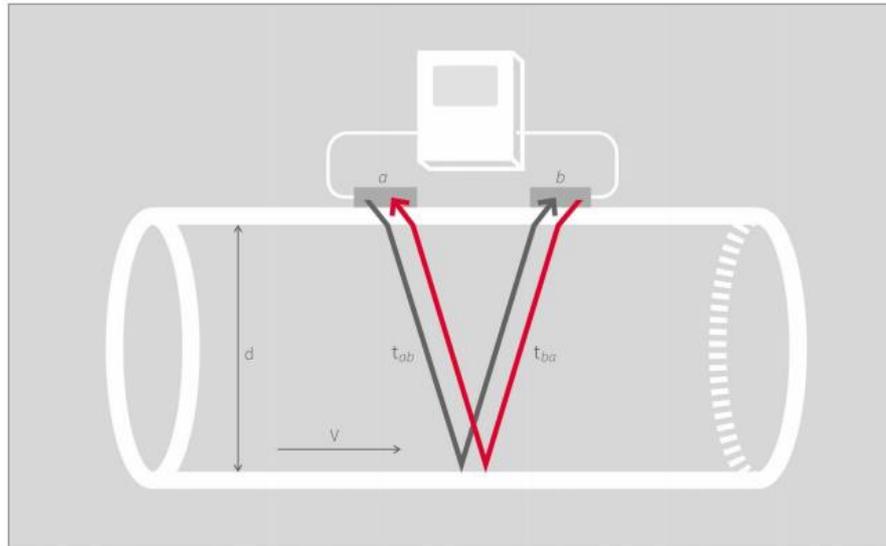
Figura 12; Rotâmetro KATFLOW 150.



Fonte: Catálogo da KATFLOW.

Tais modelos funcionam a partir do princípio ultrassônico de tempo de trânsito, que pode ser observado na Figura 13.

Figura 13: Princípio de funcionamento do rotâmetro ultrassônico.



Fonte: Catálogo da KATFLOW.

O comparativo entre as características dos modelos escolhidos pode ser observado na Tabela 4:

Tabela 4: Comparativo entre os modelos KATFLOW 100 e KATFLOW 150.

	KATFLOW 100	KATFLOW 150
Diâmetro da tubulação	10 mm a 3000 mm	10 mm a 6500 mm
Temperatura de operação	-30 °C a 80 °C	-30 °C a 250 °C
Velocidade do fluido	0,01 m/s a 25 m/s	0,01 m/s a 25 m/s
Resolução	25 mm/s	25 mm/s
Precisão	1% - 3%	1% - 3%
Alimentação	110-220 V / 9-36 VDC	110-220 V / 9-36 VDC
Comunicações	HART e Modbus	HART, Modbus e Profibus PA
Sinal de saída	4-20mA, coletor aberto, relés, 0-10V, 2Hz-10kHz	4-20mA, coletor aberto, relés, 0-10V, 2Hz-10kHz
Grau de proteção	IP66 (EN 60529)	IP66 (EN 60529)

Fonte: Catálogo da KATFLOW.

O modelo KATFLOW 150 possui algumas funções a mais que o KATFLOW 100, sendo elas: datalogger, comunicação Profibus PA e entrada para sensor de temperatura, que será importante para a aplicação em questão nas áreas FM I e FM II.

Portanto, o modelo KATFLOW 150 é o mais recomendado para a aplicação de medição de vazão de água das bombas de vácuo presentes nas áreas FM I e FM II, porém caso necessite de uma solução mais barata os dois outros modelos também atendem às necessidades do sistema.

4.2.1.1.3 Especificação de válvula para controle de vazão

Com base nos requisitos citados na seção 3.2.5, foi realizada uma pesquisa com alguns fornecedores e fabricantes de válvulas de controle. As válvulas da Samson modelos 241-7/4 atendem aos requisitos citados. A Tabela 5 apresenta um comparativo entre os modelos.

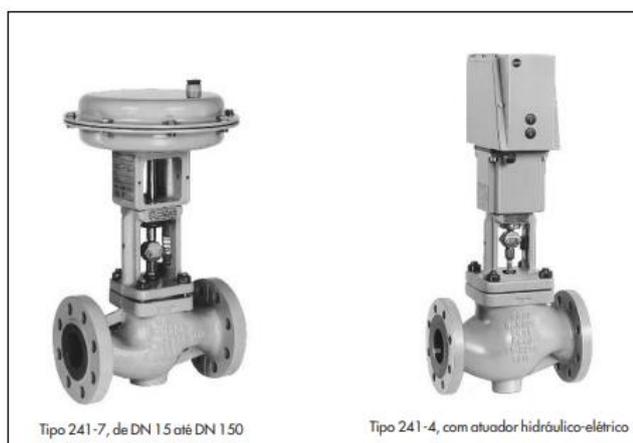
Tabela 5: Comparativo entre os modelos 241-7 e 241-4 de válvula de controle da Samson.

	Tipo 241-7	Tipo 241-4
Diâmetro nominal	1/2" a 10"	1/2" a 10"
Pressão nominal	PN 10 a 40 ou ANSI 125 a 300	PN 10 a 40 ou ANSI 125 a 300
Faixa de temperatura	-196 a +450 °C	-196 a +450 °C
Característica	Igual porcentagem / linear / abertura rápida (on-off)	Igual porcentagem / linear / abertura rápida (on-off)
Vedação	Metálica, macia ou metálica lapidada	Metálica, macia ou metálica lapidada
Rangeabilidade	30:1	50:1
Atuador elétrico integrado	Não	Posicionador: 4 - 20 mA ou 0 - 10 V Transmissor de posição: 4 - 20 mA

Fonte: Catálogo da Samson

Os dois modelos divergem pouco nas suas características, no entanto o modelo 241-4, Figura 14, já possui o sistema de atuador elétrico integrado no corpo da válvula o que descartada a necessidade do uso de um atuador externo, tornando assim o modelo mais apropriado para a aplicação. O atuador eletro-hidráulico do modelo 241-4 possui as características presente na Tabela 6.

Figura 14: Válvula de controle da Samson modelo 241-7 e 241-4.



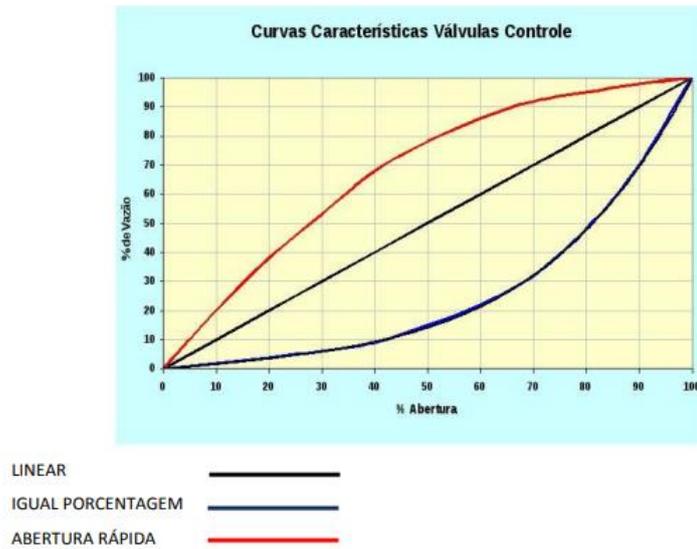
Fonte: Catálogo da Samson

Tabela 6: Atuador eletro-hidráulico interno do modelo 241-4 da válvula de controle da Samson.

Tensão	220V / 110V / 24V
Para obturador	balanceado / não balanceado
Faixa de temperatura	-10 a +60 °C
Grau de proteção	IP 65
Máximo: 3 chaves fim-de-curso e 2 potenciômetros	
Posicionador: 4(0) - 20 mA ou 0(2) - 10 V	
Transmissor de posição: 4 - 20 mA	
Posição de segurança-por-falha / Comando manual	

Fonte: Catálogo da Samson.

Figura 15: Curva característica entre o movimento do obturador em relação à sua sede e a vazão do fluido manipulado.



Fonte: Catálogo da Samson.

Além da válvula para o controle do fluxo de água o sistema para operar com eficiência deve possuir válvulas on-off na sucção. Essas válvulas são de grande importância no projeto de automação, uma vez que, conjuntos de motobombas serão acionados conforme a demanda. Sendo assim, faz-se necessário a utilização dessas válvulas para evitar pressão positiva no sistema.

Na Tabela 7 estão descritos os dados técnicos das duas válvulas que foram selecionadas. As duas válvulas são da empresa Solution, tanto a válvula da Figura 16 quanto da Figura 17 atendem as especificações.

Tabela 7: Características técnicas das válvulas On-Off da Solution.

Materiais	A126, A536, A105, A216, AISI304, AISI316, AISI304L, AISI316L, Monel, Duplex, etc
Dimensional	1/4" à 60"
Temperatura de operação	-140°C +1000°C
Pressão de operação	425bar
Conexões	BSP, NPT, BW, Wafer e Flangeado
Vedações	Classes IV, V e VI (estanque 100%)
Classes	150, 300, 600, 900, 1500 e 2500lbs
Acionamento	Pneumático, Elétrico e Hidráulico
Grau de proteção	IP65, IP67, IP68, Exia e Exd

Fonte: Catálogo da Solution.

Figura 16: Válvula On-Off tipo esfera da Solution.



Fonte: Catálogo da Solution.

Portanto, sugere-se utilizar a válvula da Figura 17 do tipo borboleta. Essas válvulas permitem um fechamento rápido, além de serem mais baratas e leves requerendo suportes mais simples e ocupando menos espaço que as válvulas globo.

Figura 17: Válvula On-Off tipo borboleta da Solution.



Fonte: Catálogo da Solution.

4.2.1.2 Automação dos Motores

O sistema opera atualmente com 8 (oito) motobombas, Figura 18, de vácuo concomitantemente, onde possivelmente não é necessário que todas as bombas permaneçam ligadas simultaneamente durante o processo, portanto é sugerido uma automação do sistema onde algumas bombas serão acionadas a partir da demanda da planta. Desta forma deve-se definir uma quantidade segura de motobombas para permanecerem ligadas durante todo o período de produção, e conseqüentemente a quantidade de motobombas que serão ligadas a partir da demanda. O controle do sistema será feito através de um CLP. Como para automação alguns motores serão ligados e desligados constantemente, é interessante que sua partida não seja mais de forma direta (atualmente), visto que isso teria um impacto significativo no consumo de energia elétrica, portanto uma possível solução seria a utilização de um soft starter. O estudo da quantidade de bombas a serem acionadas por demanda,

especificação e programação do CLP, especificação e parametrização do soft-starter não serão abordados neste trabalho.

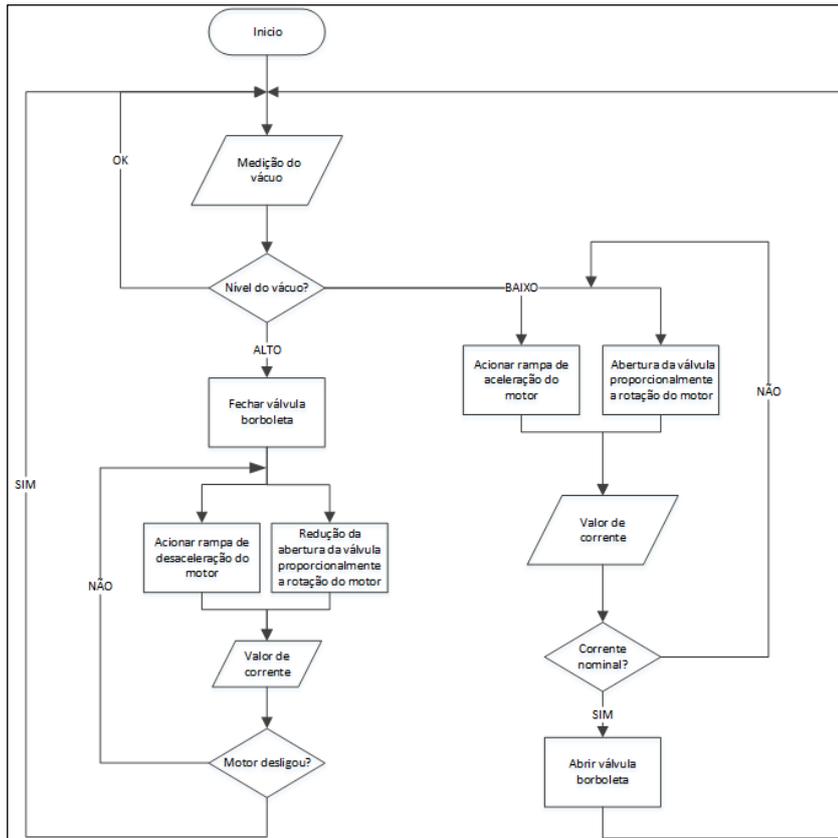
Figura 18: Conjunto Motor Bomba presente no FM I e FM II



Fonte: Tronox.

Na Figura 19, é possível observar um fluxograma que demonstra o procedimento que deve ser utilizado para a entrada e retirada do conjunto motobomba no sistema.

Figura 19: Fluxograma do procedimento para entrada e retirada do conjunto motobomba.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.2.2 Proposta da Equipe

Desta forma, foi realizado o estudo do sistema atual e suas necessidades de melhoria. Para tal, foram especificados todos os equipamentos necessários para uma possível automação e definido sua estratégia, onde algumas motobombas serão acionadas a partir da demanda, visando a redução do consumo de energia elétrica da planta. Visando tal redução, também foi sugerido que seja utilizado um soft starter, apenas para as motobombas que serão ligadas a partir da demanda.

4.3 PROPOSTA DA MELHORIA DA MEDIÇÃO DE VÁCUO

4.3.1 Resultados

4.3.1.1 Especificação de sensor de Pressão

Dentre os modos de realizar a medição de pressão negativa foi escolhido preferencialmente, devida a aplicação, manômetro digital e transmissor de pressão. Os manômetros são utilizados para leituras locais da pressão, normalmente tem o custo menor do que os transmissores e são utilizados quando o valor de pressão mensurado não precisa ser transmitido a nenhum sistema de controle. Já um transmissor de pressão combina as características de um manômetro com a eletrônica, possui sinal digital de saída, interface de comunicação digital, alta confiabilidade, entre outros benefícios em relação aos manômetros convencionais.

De acordo com requisitos necessários, a Tabela 8 demonstra as melhores opções para realizar a medição de pressão.

Tabela 8: Comparativo entre modelos de manômetros e transmissores

Modelo	VKP - 057	VKP - 062	RMD - 420
Fabricante	Velki	Velki	Rucken
Apresentação	Transmissor de Pressão Diferencial HART	Manômetro Digital Gold	Transmissor de Pressão Digital
Tipo de sensor	Piezo-resistivo	Piezo-resistivo	Piezo-resistivo
Faixas de medição	-1 a 0 bar 0 a 0,06 bar 0 a 100 bar	-1 a 3 bar -1 a 30 bar 0 a 200 bar 0 a 1000 bar	100 mbar a 1000 bar
Precisão	0,1% F.E	0,1% F.E	0,25% F.E
Sinal de Saída	4 a 20 mA + HART	Modbus RS 485	4 a 20 mA
Temperatura de Trabalho (fluido)	-20 a 100 °C	-10 a 60 °C	0 a 70 °C
Invólucro (Diâmetro)	-	68mm	100mm
Grau de Proteção	IP65	IP65	IP65 ou IP68
Alimentação	12,5 a 45 VCC	3 VCC	15 a 36 VCC

Fonte: Manual do Equipamento Velki; Manual do Equipamento Rucken.

4.3.1.1.1 Manômetro digital gold (VKP-062)

O manômetro digital piezoresistivo produzido e vendido pela empresa Velki, Figura 20, cujo modelo tem como características proteção IP65 (proteção contra poeira e jatos de água), comunicação Modbus RS 485 para conexão e monitoramento remoto através do supervisor e um display LCD para monitoramento local. Possui precisão de 0,1% e é construído para trabalhar dentro das temperaturas de -10 °C até 60 °C. Além das características já mencionadas o manômetro da Velki é ideal para trabalhar com níveis de pressão de -1 bar a 3 bar.

Figura 20: Manômetro Digital Gold VKP-062

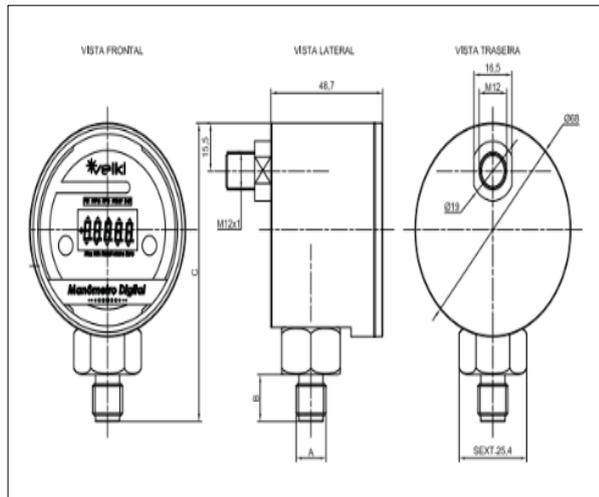


Fonte: Manual do Equipamento Velki

Esse manômetro possui registros de pico máximo e mínimo caso necessário, e também possui proteção IP65, que é essencial para o processo. Para realizar as conexões dos dutos, a fornecedora disponibiliza também adaptadores para o encaixe compatível da rosca da tubulação. (4)

Os principais tipos de roscas são BSP (*British Standard Pipe*) e NPT (*National Pipe Thread*). A vedação das roscas se dá pelo aperto dos filetes e a adição de um vedante. As principais apresentações são de 1/4", 1/2" e 3/4" de ambos tipos.

Figura 21: Vistas e dimensões do Manômetro VKP-62.



Fonte: Manual do Equipamento Velki

A alimentação do Manômetro Gold VKP-062 é através de bateria do tipo CR2032 de 3V, que se localiza dentro do equipamento. O manômetro possui um LED indicador de bateria fraca e uma autonomia de 2 meses para uso contínuo.

Figura 22: Bateria para Alimentação do Manômetro VKP-062.



Fonte: Filipflop.

4.3.1.1.2 Transmissor de pressão diferencial HART (VKP-057)

Os transmissores de pressão são mais robustos que os manômetros, a empresa Velki também possui no seu catálogo o transmissor de pressão diferencial HART VKP-057, Figura 23. O transmissor foi projetado para atender às aplicações industriais e resolver os desafios de medição quando se tem a necessidade de medir pressões em pontos diferentes.

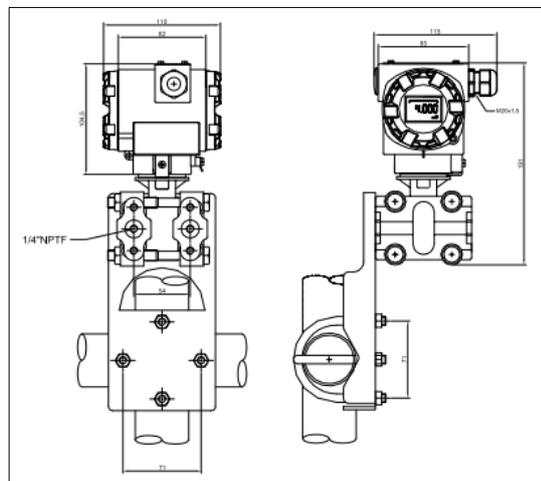
Figura 23: Transmissão de Pressão diferencial VKP-057.



Fonte: Manual do Equipamento Velki

De acordo com o manual do equipamento fornecido pela Velki, o transmissor funciona através de um diafragma piezoresistivo e tem a capacidade de realizar medições de -1 bar a 0 bar, ideal para medições de vácuo. Diferente do manômetro digital Velki, o transmissor se comunica através do protocolo HART com saída 4 a 20 mA. É ideal para trabalhar em temperaturas de -20°C a 100°C. O transmissor também tem proteção IP65, deixando o equipamento protegido contra poeira e jatos de água. A alimentação do transmissor deve ser feita atendendo os níveis de alimentação de 12,5 a 45V em corrente contínua. (5)

Figura 24: Vistas e dimensões do Manômetro VKP-057.



Fonte: Manual do Equipamento Velki

4.3.1.1.3 Transmissor de pressão digital (RMD-420)

Outro transmissor analisado é da fornecedora Rücken, com o modelo RMD-420, Figura 25. Conforme a ficha técnica, o equipamento utiliza a tecnologia do sensor piezoresistivo, convertendo e amplificando o sinal emitido, para uma grandeza diretamente proporcional em corrente ou tensão, ou seja, modulando os ranges de pressão em sinais elétricos conhecidos, dos principais sistemas de leituras analógicas. Além da saída analógica de 4-20 mA, 0-5 VCC ou 0-10 VCC, o modelo tem indicação local através de um display LCD, montado em um invólucro de aço inox com vidro temperado. O equipamento em questão tem proteção IP65 e alimentação de 15 a 36 VCC. (6)

Figura 25: Manômetro Rücken RMD-420.



Fonte: Manual do Equipamento Rucken.

A empresa fornece também equipamentos com diferentes tipos de rosca para encaixe e adaptação no duto do processo. Roscas: ¼” BSP (*British Standard Pipe*) e NPT (*National Pipe Thread*); ½” BSP e NPT; ¾” BSP e NPT.

4.3.2 Proposta da Equipe

A Tronox realiza, atualmente, há medição da pressão apenas em um ponto próximo ao header, que atende até então, parcialmente suas necessidades. No sistema que conta com oito motobombas que são as mantenedoras do vácuo de todo o processo, para uma maior segurança e checagem de possíveis erros é ideal que existam medições de pressão em cada motobomba a fim de conseguir identificar caso um conjunto de gerador de vácuo venha a falhar ou até mesmo para localizar onde está acontecendo uma entrada de ar.

A necessidade de comunicação com o supervisor do sistema servirá para manter os registros de falhas e possivelmente minimizar os gastos energéticos.

Com isso, a equipe sugere a utilização do transmissor de pressão diferencial descrito na seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (VKP-057), por se aplicar a todos os requisitos que a empresa solicita. Este se destaca perante aos outros dois supracitados por ter protocolo de comunicação HART, simplificando assim a comunicação com o supervisor da empresa.

5 PAYBACK

Para poder analisar de forma aproximada em quanto tempo será necessário para recuperar o valor investido no sistema de medição de vácuo, responsável por comandar a necessidade de operar ou não algumas motobombas, foi estipulado que inicialmente apenas uma motobomba não seria necessária na operação. A análise segue nas tabelas abaixo:

Tabela 9: Investimento em Medidores de Pressão.

INVESTIMENTO			
Equipamentos	Valor Unitário	Quantidade	Total por Equipamento
Medidor de Pressão	R\$6.076,00	8	R\$48.608,00
Total Investido			R\$48.608,00

Tabela 10: Análise de Consumo das motobombas.

ECONOMIA DE OPERAÇÃO						
Equipamento	Potência (kw)	Horas em operação por dia	Dias em operação por mês	Bandeira Tarifária (kw/h)	Quantidade	Custo por motor ao mês
Motor Elétrico	55,16	24	30	0,25	1	R\$ 9.929,23

Tabela 11: Estimativa de tempo de retorno investido.

PAYBACK	
Investido	R\$48.608,00
Economia p/ mês	R\$9.929,23
Tempo para recuperar valor investido	4,9 (mês)

Sendo assim, sugerindo que o sistema em operação consiga manter um motor desligado por um mês inteiro, teremos uma economia de R\$ 9.929,23/mês e quando comparado ao valor investido no sistema, teremos esse payback em aproximadamente cinco meses.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Disposto do que fora apresentado e entregue, espera-se que as soluções de otimização propostas pela equipe atendam às expectativas de forma que a confiabilidade do sistema seja algo predominante a partir das melhorias sugeridas e que o consumo de energia elétrica seja reduzido. Além disso espera-se que todas as sugestões de instrumentação e melhoria do processo viabilize o início da automatização do processo do FM I e FM II.

Sendo assim, visando cada vez mais a eficiência energética, a confiabilidade, disponibilidade e segurança da produção, torna-se necessário que as melhorias sugeridas sejam estudadas e executadas.

7 REFERÊNCIAS

1. **Vallo, Corrado.** Como funciona uma Bomba de Vácuo de Anel Líquido. [Online] Omel Bombas e Compressores. [Citado em: 3 de outubro de 2019.] <http://www.omel.com.br/artigos-tecnicos/escola-de-bombas/bombas-de-vacu-de-anel-liquido/como-funciona-uma-bomba-de-vacu-de-anel-liquido/>.
2. **GUIA de Especificação: Motores Elétricos.** [Online] WEG. [Citado em: 3 de outubro de 2019.] <http://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>.
3. **INSTALAÇÕES elétricas III. Escola Electra.** [Online] Electra. [Citado em: 21 de novembro de 2019.] http://www.escolaelectra.com.br/apostilas/novas/Instala%C3%A7%C3%B5es_El%C3%A9tricas_III_PARTE1_22_02_2013.pdf.
4. **Especificações Técnicas - VKP-062.** [Online] Velki. [Citado em: 3 de Fevereiro de 2020.] <https://velki.com.br/pt/manual/pt/velki-manual-vkp-062-manometro-digital-gold.pdf?v=211>.
5. **Especificações Técnicas - VKP-057.** [Online] Velki. [Citado em: 3 de Fevereiro de 2020.] <https://velki.com.br/pt/manual/pt/velki-manual-vkp-057--hart.pdf>.
6. **Pressostato Eletrônico; Manômetro digital; Transmissor de pressão.** [Online] Rucken. [Citado em: 3 de Fevereiro de 2020.] https://rucken.com.br/wp-content/uploads/2019/11/Pressostato-Eletronico_RMD-420-PE.pdf.
7. **FITZGERALD, A. E.** Máquinas Elétricas: Conversão eletromecânica da energia,. 7ed. s.l. : Mcgraw-Hill, 1975.
8. **KOSOW, I. L.** Máquinas elétricas e transformadores. 4a ed. Porto Alegre : Globo, 1982.
9. **MAMEDE, João.** Instalações Elétricas Industriais. 8 ed. s.l. : LTC, 2010.
10. **Obtenção das curvas características de motores originadas do circuito equivalente. REZENDE, P. H. e BISPO, D.** Fortaleza : s.n., julho de 2009, IV ENEEEL (Encontro Nacional dos estudantes de Engenharia Elétrica).
11. **REZENDE, P. H. O e BISPO, D.** Obtenção do circuito equivalente do motor para um possível levantamento de suas curvas características. setembro de 2009.

- 12. ENERGIA Reativa.** [Online] Coelba, 3 de outubro de 2019.
<http://servicos.coelba.com.br/comercial-industrial/Pages/energia-reativa.aspx>.
- 13. REZENDE, P. H. O e BISPO, D.** Análise Econômica Em Motores De Indução Trifásicos.
- 14. Instrumentação e Controle.** [Online] [Citado em: 5 de janeiro de 2020.]
<https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/>.
- 15. SENAI.** Automação: Fundamentos de Instrumentação. s.l. : SENAI.
- 16. FRANCHI, C. L.** Instrumentação de Processos Industriais: Princípios e Aplicações.
- 17. Catálogo Sensor de Corrente. *General Controls* .** [Online] HAWKEYE. [Citado em: 5 de Janeiro de 2020.]
http://www.generalcontrols.com.br/downloads/veris/h221_321_421_d.pdf.
- 18. Control, Samson. Catálogo Geral.** [Online] Samson Control. [Citado em: 5 de Janeiro de 2020.] http://www.samsoncontrol.com.br/downloads/catalogo_k_20_br.pdf.
- 19. O que é vácuo.** [Online] Indutec. [Citado em: 29 de Janeiro de 2020.]
<https://www.indutec.com.br/artigos/o-que-e-vacu/>.
- 20. Diferença entre roscas BSP e NPT.** [Online] [Citado em: 3 de Fevereiro de 2020.]
<https://www.hidroshop.com.br/noticias.asp?idnoticia=15567&q=DIFEREN%C7AS+ENTR E+ROSCAS+BSP+E+NPT>.