

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

HEBERT MIRANDA DA SILVA VITORINO

**CONTROLE DE TORQUE E MOVIMENTAÇÃO DE BICA
BASCULANTE POR INVERSORES DE FREQUENCIA
CONTROLADOS POR CLP**

**VOLTA REDONDA
2021**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CONTROLE DE TORQUE E MOVIMENTAÇÃO DE BICA
BASCULANTE POR INVERSORES DE FREQUENCIA
CONTROLADOS POR CLP**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Discente:

Hebert Miranda da Silva Vitorino

Orientador:

Edson de Paula Carvalho

Coorientador:

Cláudio Marcio de Freitas da Silva

**VOLTA REDONDA
2021**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Hebert Miranda Da Silva Vitorino

Controle de torque e movimentação de bica basculante por inversores de frequência controlados por CLP.

Orientador:

Prof. M.Sc. Edson de Paula Carvalho

Banca examinadora:

Prof. M.Sc. Cláudio Márcio de Freitas da Silva

Prof. M. Sc. Francisco Roberto Silva de Abreu

Prof. M.Sc. Edson de Paula Carvalho

“Por isso não tema, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; Eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.” (Isaías 41:10)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ele nada seria possível.

Agradeço ao meu pai, Hortêncio Vitorino por me ensinar como se reerguer diante das adversidades da vida. Pelo apoio, pelos conselhos e por seus infinitos esforços. Exemplo de homem, pai e esposo. Agradeço à minha mãe, Rosângela da Silva Vitorino pelo apoio incondicional e fé inabalável. Vocês são merecedores.

Aqui estão os resultados dos seus esforços. Com muita gratidão.

RESUMO

Com o constante avanço das tecnologias no ramo eletrônico, principalmente para automação industrial, é possível a substituição das técnicas convencionais analógicas para as digitais, proporcionando um aumento da velocidade de processamento e conseqüentemente menor impacto com relação às interferências externas e exposição de funcionários, garantindo a segurança. Este projeto consiste na substituição do circuito mecânico de movimentação de bica basculante dos Altos Fornos da empresa Ternium Brasil LTDA, para um circuito automatizado, controlado por um inversor de frequência que através da sua entrada e saída analógica, gera um controle de torque e lógicas referidas a movimentação mecânica.

Para que isso fosse possível, foi criado um sistema de lógica e saídas referentes ao inversor de frequência que conforme a informação recebida conjuntamente com um circuito e lógicas equivalentes, se controla a movimentação rigorosa para evitar quebras do eixo do motor por sobre torque.

Palavras-chave: Automação, Inversor de frequência, CLP

ABSTRACT

With the constant advancement of technologies in the electronics sector, mainly for industrial automation, it is possible to substitute conventional analog techniques for digital ones, providing an increase in processing speed and consequently less impact in relation to external interferences and exposure of employees, ensuring the safety. This project consists of replacing the mechanical circuit for moving the tilting spout of the Blast Furnaces of the company Ternium Brazil LTDA, to an automated circuit, controlled by a frequency inverter that, through its analog input and output, generates torque control and referred logic. mechanical movement.

To make this possible, a system of logic and outputs related to the frequency inverter was created, which, according to the information received together with a circuit and equivalent logics, controls the rigorous movement to avoid motor shaft breakage due to over torque.

Keywords: Automation, Frequency inverter, PLC.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Objetivos.....	24
1.1.1. Objetivo geral.....	24
1.1.2. Objetivos Específicos.....	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Processo Siderúrgico Integrado.....	25
2.2. Coqueria e Sinterização.....	25
2.3. Alto Forno	26
2.4. Bica Basculante	26
2.5. Aciaria.....	27
2.6. Motores Elétricos	27
2.6.1. Motores Elétricos De Corrente Contínua	28
2.6.2. Motores Elétricos de Corrente Alternada.....	28
2.6.3. Motores Síncronos.....	28
2.6.4. Motores Assíncronos	29
2.6.5. Motores De Indução.....	29
2.6.6. Rotor Bobinado.....	31
2.6.7. Rotor Gaiola de Esquilo	33
2.6.8. Conjugado	34

2.6.8.1. Conjugado ou Momentos em motores de Indução	34
2.6.9. Escorregamento De Motor De Indução.....	35
2.6.10. Partida de motores de indução	36
2.6.10.1. Partida Direta	36
2.6.10.2. Partida Estrela- Triângulo	37
2.7. Partida por chave compensadora	39
2.8. Inversores De Frequência.....	40
2.9. Indutores.....	41
2.10. Contatores Elétricos.....	42
2.11. Instrumentação e Controle.....	43
2.11.1. Sistema de Malha Aberta.....	43
2.11.2. Sistema de Malha Fechada	44
2.12. Definição dos Instrumentos	44
2.12.1. Transmissores	45
2.12.2. Conversores	45
2.12.3. Encoder Incremental Linear	45
2.12.4. Encoder Incremental Angular	46
2.12.5. Sensores de proximidades indutivos	47
2.12.6. Elementos finais de controle	47
2.13. Controlador Lógico Programável (CLP)	47
2.14. Linguagens de Programação	48

2.14.1. Diagramas em bloco FDB.....	48
2.14.2. Linguagem Ladder.....	48
3. MÉTODO.....	49
3.1. Especificações Técnicas dos Equipamentos.....	49
3.1.1. Bica Basculante.....	49
3.1.2. Inversor ACS550.....	51
3.1.2.1. Parâmetros de utilização do inversor.....	53
3.1.3. Especificação Central de Comando de Motores (CCM).....	55
3.1.4. Especificação motor trifásico.....	56
3.1.5. Encoder Absoluto TR.....	57
4. ESTUDO DE CASO.....	58
4.1. Funcionamento do circuito antes da melhoria.....	58
4.2. Modificações implementadas.....	60
4.3. Fundamentação matemática para controle de torque.....	69
4.4. Mudança da lógica FDB.....	71
4.5. Sistema Supervisório.....	74
5. RESULTADOS.....	75
6. CONCLUSÃO.....	77
7. REFERÊNCIAS.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantidade de equipamentos utilizados **Erro!** **Indicador** **não**
definido.

Quadro 2 - Especificação do inversor..... 52

Quadro 3 - Parâmetros dos Inversores das bicas basculante. 54

Quadro 4 - Dados técnicos CCM 55

Quadro 5 - Especificação do Motor 56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo Simplificado de Produção de Aço	25
Figura 2 - Bica Basculante	26
Figura 3 - Motor Elétrico	27
Figura 4 - Estator de um Motor de Indução	30
Figura 5 - Rotor de um Motor de Indução	30
Figura 6 - Dinâmica do campo magnético entre Rotor/Estator	31
Figura 7 - Esquemas de ligações dos motores	31
Figura 8 - Partida automática de motores trifásicos	32
Figura 9 - Vista em Corte de Um Motor de Indução de Rotor Bobinado.....	33
Figura 10 - Diagrama de Corte do Rotor Tipo Gaiola de Esquilo de Indução	33
Figura 11 - Representação gráfica dos toques no rotor	34
Figura 12 - Curva característica de Conjugado do Motor	35
Figura 13 - Ligação Direta de motor trifásico	37
Figura 14 - Esquema de ligação Estrela-Triângulo	39
Figura 15 - Esquema de Ligação de Partida por chave compensadora	40
Figura 16 - Inversor de frequência.....	41
Figura 17 - Contator.....	42
Figura 18 - Esquema de sistema Malha Aberta.....	44
Figura 19 - Esquema de sistema Malha fechada.....	44
Figura 20 - Transmissor de Pressão Siemens.....	45
Figura 21 - Sinais gerados nas saídas dos Encoders incrementais	46
Figura 22 - Vista perpendicular do Multi Mover Kirow	50
Figura 23 - Eixo atuador EUBA da Bica basculante	51
Figura 24 - Etiqueta do inversor utilizado.....	52
Figura 25 - Figura modelo do inversor de Frequência, ACS550	52
Figura 26 - CCL de acionamento	57
Figura 27 - Especificação técnica	57
Figura 28 - Layout frontal gaveta 3F antes das modificações.....	58

Figura 29 - Circuito de ligação direta dos motores na gaveta 3F 2020).	59
Figura 30 - Diagrama elétrico motor gaveta 3F antes das modificações	60
Figura 31 – Vista frontal da gaveta de alimentação 1L.....	61
Figura 32 - Diagrama elétrico gaveta 1L após modificações.....	62
Figura 33 - Gaveta 4F antes da modificação.....	63
Figura 34 - Gaveta 4F após modificação	64
Figura 35 - Diagrama elétrico após as modificações.....	65
Figura 36 - Saídas digitais do inversor.....	66
Figura 37 -Alimentação terminal block MCC.....	66
Figura 38 - Saída analógica do inversor.....	67
Figura 39 - Entrada analogia do PLC	67
Figura 40 - Contatos da DO para o PLC.....	68
Figura 41 - Ligação da DO no terminal block do PLC.....	69
Figura 42 - PLC cartão de saída de falha	69
Figura 43 - Logica FDB para sistema ABB.....	71
Figura 44 - Lógica FDB para sistema ABB.....	71
Figura 45 - Logica FDB para sistema ABB.....	72
Figura 46 - Faceplate de sobrecorrente.....	73
Figura 47 - Faceplate do sobretorque.....	73
Figura 48 - Sistema supervisorio ABB	74
Figura 49 - Variações de corrente e torque antes da implementação do projeto.	75
Figura 50 - Variações de corrente e torque após à implementação do projeto	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO – Saída Analógica

AI – Entrada Analógica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DI – Entrada Digital

DO – Saída Digital

FDB – Diagrama Função De Blocos

FEM – Força Eletromotriz

PLC – Controlador Logico Programável

PWM – Modulação Por Largura De Pulso

IT – Transmissor De Corrente

WT – Transmissor De Peso

CCM – Centro de Controle de Motores

VVVF – Tensão Variável, Frequência Variável – Inversor de frequência

1. INTRODUÇÃO

A indústria é uma das bases para a evolução da sociedade, transformando matéria prima em produtos para o conforto e redução de esforço físico ao executar trabalho. No início da industrialização não existiam equipamentos capazes de monitorar as variáveis de processo, tornando-se extremamente difícil seu controle. Em grande parte dos processos os olhos eram o principal instrumento de monitoramento, avaliando cada fase de produção, buscando garantir as características desejadas pelos clientes. Atualmente, as indústrias vêm modernizando seus processos de forma a monitorar as variáveis necessárias no processo a fim de garantir um produto com qualidade e competitivo economicamente.

As indústrias siderúrgicas produzem placas de ferro gusa utilizadas em vários segmentos da economia, entre eles a Construção Civil, embalagens, linha branca, automobilística, dentre outros, para todos estes segmentos necessitam de um alto controle de custo e segurança, com isso a inovação da tecnologia o controle de torque dos motores com inversores de frequência se tornou ainda mais importante pela necessidade de redução de manutenção e custos com sobressalentes.

Com o aumento da produtividade e a necessidade de se tornarem cada vez mais competitivos no mercado as indústrias siderúrgicas visando a otimização dos seus processos e redução de custo implementaram em suas linhas de produção equipamentos e tecnologias para esse fim. O inversor de frequência é um dos equipamentos usados juntamente com o PLC para automatização de sistemas para as mais diversas aplicações.

A TERNIUM BRASIL LTDA é um complexo siderúrgico integrado que possui quatro bicas basculantes em seus altos fornos, que são movimentadas por um motor de corrente CA com ligação de partida direta, a possibilidade transferir o controle do torque desse motor para inversor de frequência e utilizando métodos lógicos, que foi a motivação para desenvolver esse trabalho.

Com o objetivo na modernização este trabalho substituiu os elementos mecânicos e realizou um integrado circuito de Inter travamento utilizando métodos de automação industrial conjuntamente com as variáveis de saída fornecidas pelo inversor de frequência, solucionando o controle das quebras de acoplamento do motor pela quantificação do torque e corrente CA.

A empresa escolheu a área dos Altos Fornos como área piloto. A metodologia utilizada foi o um estudo de caso utilizando as orientações da norma IEC 61131 e manuais do equipamento para desenvolvimento do circuito de comando e logicas FDB.

Neste trabalho será abordado o processo siderúrgico, o uso de inversores de frequência utilizando variáveis de saída para controle de torque e corrente da bica basculante, os tipos de controle de processo com logicas programáveis, os módulos e software que foram utilizados no desenvolvimento, o estudo de caso em detalhe e a conclusão com o resultado dos testes, comparando a realização do controle de custo de manutenção.

1.1. Objetivos

Este item está dividido entre objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1. Objetivo geral

Implementar um projeto de melhoria de monitoramento de torque do acionamento do motor da bica basculante, substituindo o uso de uma Chave Cames por Inversor de Frequência, a fim de garantir maior confiabilidade da informação, no qual os dados de torque do sistema são extraídos do inversor e monitorados pelo CLP, de modo que, quando necessário, interrompe o acionamento do motor afim de garantir a segurança e a integridade do equipamento.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar a viabilidade do uso de inversores de frequência.
- Desenvolver um estudo de caso de Torque.
- Desenvolver a lógica de controle de Toque
- Desenvolver a alteração do diagrama do acionamento elétrico.
- Substituir o sistema antigo pela implementação
- Realizar o teste de performance do projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse item está dividido em: Processo siderúrgico integrado, coqueria e sinterização, altos fornos, bica basculante, motores, partida por chave compensadora, inversor de frequência, indutores, contadores elétricos, instrumentação e controle, definição de instrumentos, controlador lógico programável (CLP) e linguagem de programação.

2.1. Processo Siderúrgico Integrado

Os processos siderúrgicos são etapas necessárias para transformação do minério em aço, como mostra a Figura 1.

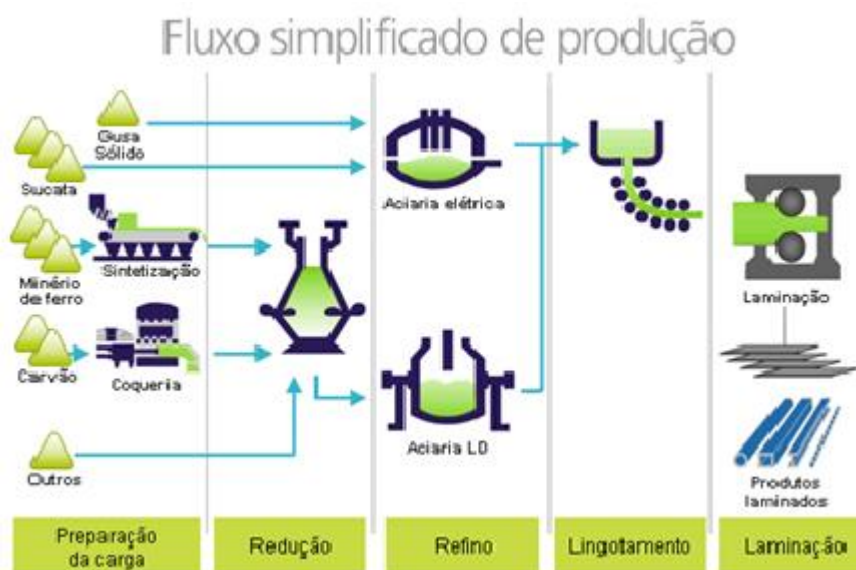


Figura 1 - Fluxo Simplificado de Produção de Aço (Fonte: SerraMetal, 2020)

2.2. Coqueria e Sinterização

O processo em que o material é exposto a uma temperatura de aproximadamente 1300°C e transforma o carvão em coque (massa rica em carbono) e minério de ferro em sinter (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

2.3. Alto Forno

O coque e sinter produzidos nas etapas anteriores são transportados ao forno onde com a elevação da temperatura e pressão o CO (monóxido de carbono, obtido pela queima parcial do coque) se combina com o oxigênio do óxido de ferro (componente principal do minério de ferro), para formar o dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) e liberar o ferro-gusa (OLIVEIRA; SOUZA,2015).

2.4. Bica Basculante

A Bica Basculante é o equipamento responsável por transferir a gusa para as panelas, que se encontram a direita ou esquerda do canal principal, que o transportarão até a próxima etapa do processo, ou seja, a aciaria. A movimentação da bica é possível devido a esta encontrar-se apoiada em um berço, este ligado a um eixo lateral que é acionado por um atuador eletromecânico do fabricante EUBA. A Bica por onde é direcionado o metal líquido é revestida de material refratário, o qual não está contemplado o escopo da empresa Paul Wurth, serão quatro no total, duas bicas por forno (CSA, 2008).



Figura 2 - Bica Basculante (Fonte: ABB, 2010)

Circuitos elétricos pré-definidos para os acionamentos do motor, são definidos por 4 posições, 11°, 4°, 0°, -4°, -11°. Esses acionamentos são definidos por sensores de proximidade indutivos que de acordo com sua posição cortam a alimentação da gaveta e definem a qual posição irá percorrer o metal líquido para a panela de ferro gusa posicionada na garagem.

2.5. Aciaria

Este processo é um refino para transformação do ferro-gusa em aço, é composto por conversores a oxigênio que através do processo de oxidação dos elementos removem o carbono, silício, fósforo e enxofre obtendo o aço líquido (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

2.6. Motores Elétricos

O motor elétrico é o principal equipamento elétrico usado nas indústrias, atualmente estima-se que quase metade do consumo de energia elétrica no mundo esteja relacionado com o uso de motores elétricos.

Os motores elétricos são equipamentos cuja finalidade é transformar energia elétrica em mecânica, praticamente é utilizado em larga escala no âmbito industrial. Nas indústrias, os motores produzem a força motriz para mover praticamente todas as máquinas (CHAPMAN, 2013).

O princípio básico de funcionamento dos motores são as interações entre campos eletromagnéticos. Os motores podem ser divididos de acordo com sua tensão de alimentação em motores de corrente contínua (C.C) e corrente alternada (C.A).

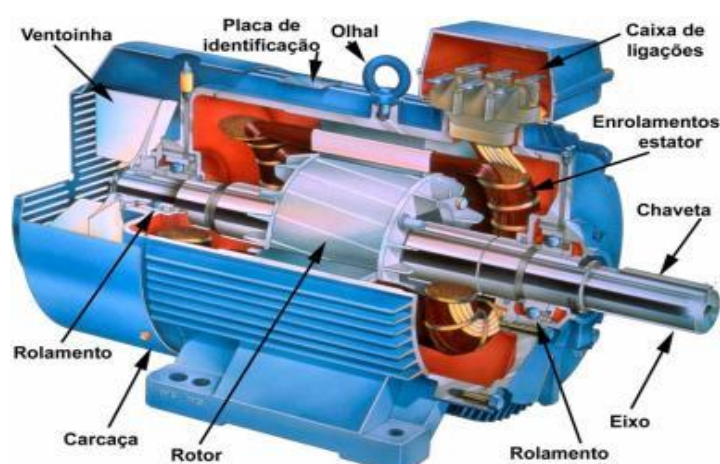


Figura 3 - Motor Elétrico (Fonte: Paraná Equipamentos, 2020)

2.6.1. Motores Elétricos De Corrente Contínua

Os motores de corrente contínua (C.C) foram os primeiros motores a serem desenvolvidos e utilizados. São motores cujo controle de velocidade é preciso, mas seu elevado custo de manutenção, construção e com o advento das novas tecnologias de acionamento tornaram-no obsoleto e acabou caindo em desuso. É um motor que se aplica em casos especiais, mas ainda existem em indústrias que possuem maquinários antigos, que funcionam utilizando em grande escala os motores CC.

2.6.2. Motores Elétricos de Corrente Alternada

São os motores mais utilizados atualmente devido sua facilidade de manutenção, de fabricação e de manutenção. O seu custo de fabricação, quando comparado aos motores de corrente contínua é mais baixo. São motores que utilizam a corrente alternada (C.A) para o seu funcionamento, ou seja, como a distribuição de energia também é realizada em C.A a viabilidade desse motor é evidente.

No início os motores C.A perdiam espaço para os motores C.C, pois eram motores em que o controle de velocidade não era tão preciso, só que com o desenvolvimento de novas tecnologias e a expansão da eletrônica esse motor passou a ser utilizado em grande escala até mesmo em aplicações em que se deseje um controle preciso de velocidade. Os motores C.A podem ser divididos em síncronos e assíncronos.

2.6.3. Motores Síncronos

Os motores tipo Síncrono, são motores que possuem velocidade constante independentemente da condição da carga aplicada no eixo. No motor síncrono o campo magnético tem velocidade síncrona com o rotor, ou seja, não possui escorregamento. São motores utilizados onde não se podem variar a velocidade do motor com o aumento de carga aplicada no eixo. O motor síncrono possui uma característica que é a de poder efetuar o controle do fator potência de uma instalação elétrica. Um motor síncrono pode funcionar sub-excitado ou sobre-excitado. Quando funciona de modo sub-excitado ele gera potência reativa na rede, mas quando

funciona de modo sobre-excitado ele consome parte da potência reativa da rede controlando o fator de potência de uma instalação elétrica.

2.6.4. Motores Assíncronos

Os motores tipo Assíncrono, são os motores elétricos mais utilizados devido ao baixo custo de manutenção e construção. São motores em que há uma variação entre a velocidade do campo magnético e a velocidade do rotor, ou seja, possui escorregamento. Os motores assíncronos são na maioria das vezes os grandes responsáveis pelo baixo fator de potência de instalações elétricas, pois são máquinas que sempre geram potência reativa ao sistema. Por isso durante a aquisição de motores elétricos devem se procurar utilizar os que possuem o maior fator de potência possível. Os motores assíncronos já estão muito difundidos no mundo e seu uso é muito comum.

2.6.5. Motores De Indução

Uma máquina com apenas um conjunto de enrolamentos amortecedores é denominada máquina de indução. São denominados assim porque a tensão do rotor (que produz a corrente do rotor e o campo magnético do rotor) é induzida nos enrolamentos do rotor em vez de ser fornecida por meio de uma conexão física de fios a característica que diferencia um motor de indução dos demais é que não há necessidade de uma corrente de campo para o motor funcionar, há dois tipos diferentes de rotores de motor de indução, que são denominados como gaiola de esquilo e rotor bobinado (CHAPMAN, 2013).

Motores de indução trifásicos são altamente empregados por terem alta eficiência, baixo custo, robustez e também pela configuração de nossos sistemas distribuição de energia, que é feita em corrente alternada (CA). Por estas características o motor trifásico é ideal em quase todo tipo de operação, largamente encontrado na indústria. No que se diz respeito à velocidade, este motor possui velocidade constante, variando em função de cargas a ele acopladas e na utilização de um inversor de frequência. Seu princípio de funcionamento é baseado no campo magnético girante, que surge quando um sistema de alimentação de corrente

alternada é aplicado em polos defasados entre si 120° . Desta forma surge o campo magnético, através deste defasamento.

A velocidade de rotação do motor trifásico está ligada a velocidade proporcionada pelo campo magnético girante. Esta velocidade é chamada de velocidade síncrona, em função do número de polos do motor (característica construtiva) e em função da frequência da rede a qual está ligado. Portanto concluímos que a velocidade do motor elétrico trifásico é diretamente proporcional à frequência da rede. Matematicamente: Velocidade síncrona (N_s) em RPM é o produto de 120 vezes a frequência em Hz (f), dividido pelo número de polos do motor (p). O motor se compõe fundamentalmente de duas partes:

- Estator: O estator se compõe de enrolamentos ou bobinas, o núcleo construído de chapas de aço com grãos orientados e a carcaça;



Figura 4 - Estator de um Motor de Indução (Fonte: Autor, 2021)

- Rotor: O rotor se compõe do enrolamento, do núcleo de chapas e do eixo



Figura 5 - Rotor de um Motor de Indução (Fonte: Autor, 2021)

As bobinas do estator formam o campo magnético, dentro do qual, faça o rotor girar dentro do motor a figura 6 representa esta dinâmica rotor/estator.

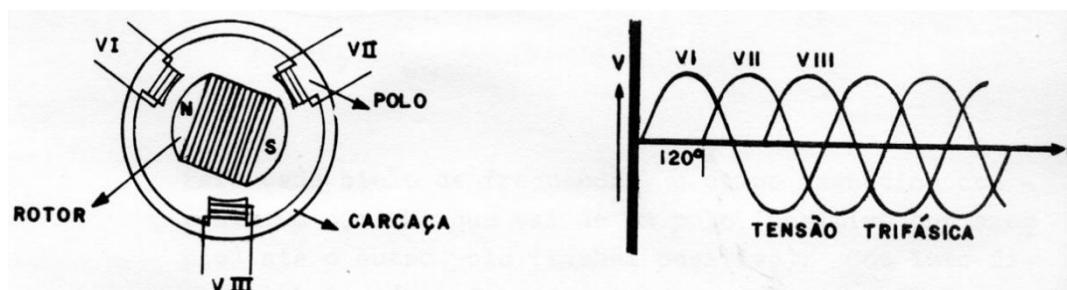


Figura 6 - Dinâmica do campo magnético entre Rotor/Estator (Fonte: Autor, 2021)

As bobinas dos motores são normalmente construídas de modo que podem ser ligadas de diferentes modos, dependendo do esquema de ligação das bobinas o motor poderá trabalhar com diferentes níveis de tensão e corrente, a figura 7 apresenta os esquemas de ligações dos motores e suas determinadas tensões.

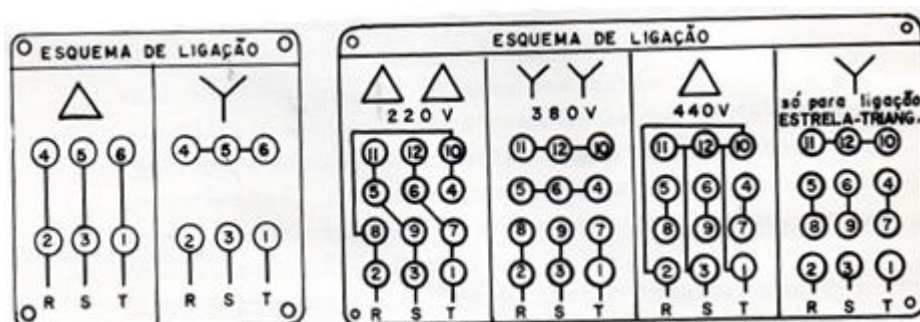


Figura 7 - Esquemas de ligações dos motores (Fonte: Autor, 2021)

2.6.6. Rotor Bobinado

Um rotor bobinado tem um conjunto completo de enrolamentos trifásicos que são similares ao conjunto do estator. As três fases do rotor são usualmente ligadas em Y e suas terminações são conectadas aos anéis deslizantes no eixo do rotor. Os enrolamentos do rotor, após o processo de partida, são colocados em curto-circuito por meio de escovas que se apoiam nos anéis deslizantes. Para o processo de partida são necessárias inclusões de resistências de partida rotórica, que são automaticamente retiradas do circuito por contadores posicionados e ligados de forma

que após atingir a rotação nominal todas as resistências de partida fiquem curto circuitadas. A figura 8 mostra um esquema de força para partida de motores de indução com rotor bobinado.

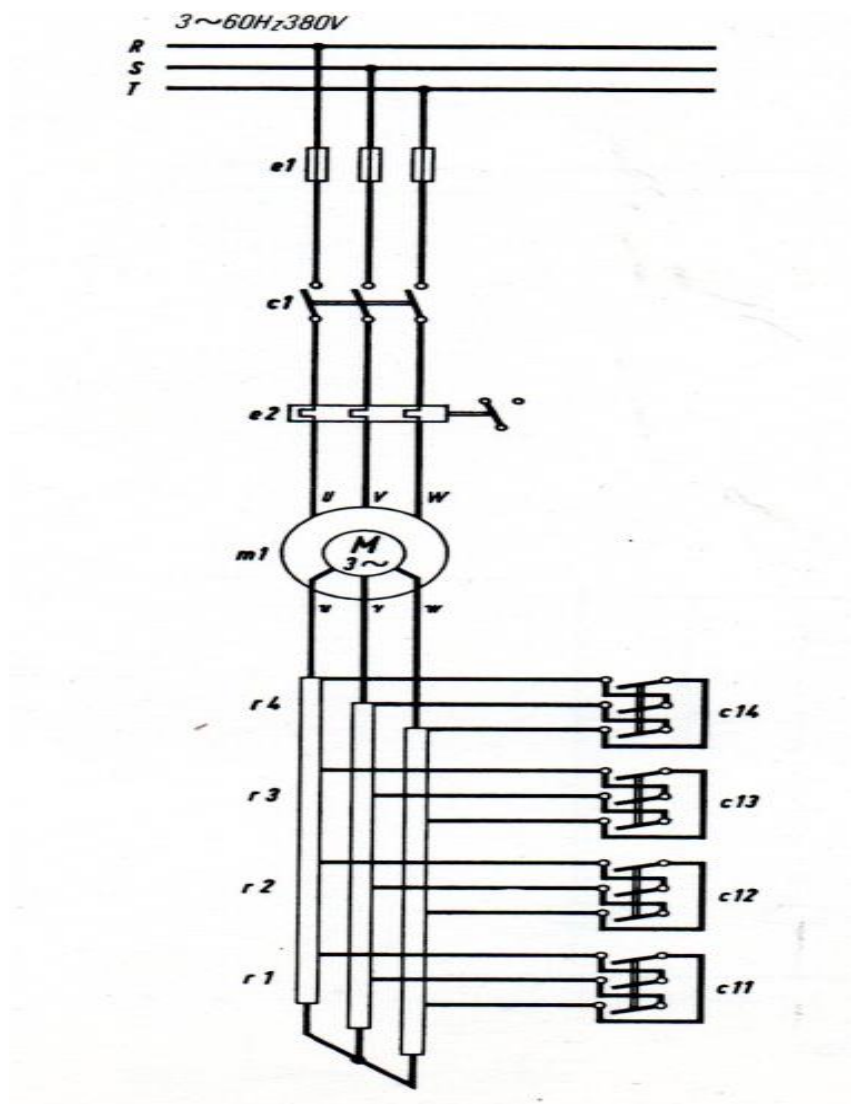


Figura 8 - Partida automática de motores trifásicos (Fonte: Autor, 2021)

Portanto, nos motores de indução de rotor bobinado, as correntes no rotor podem ser acessadas por meio de escovas, nas quais as correntes podem ser examinadas e resistências extras podem ser inseridas no circuito do rotor. (CHAPMAN, 2013).

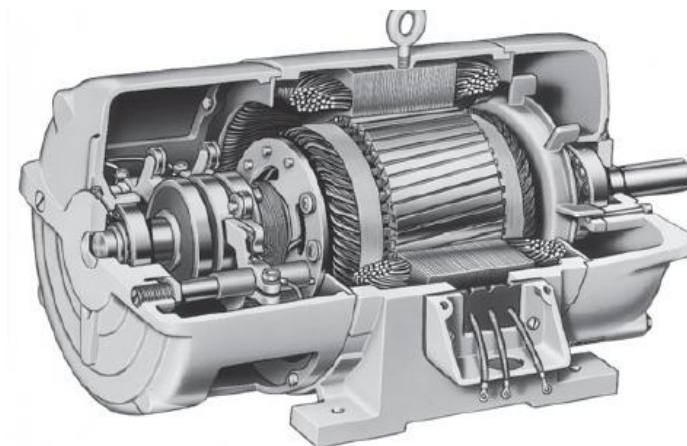


Figura 9 - Vista em Corte de Um Motor de Indução de Rotor Bobinado. (Fonte: Chapman, 2013)

2.6.7. Rotor Gaiola de Esquilo

O rotor Gaiola de esquilo consiste em uma série de barras condutoras que estão encaixadas dentro de ranhuras na superfície do rotor e postas em curto-circuito em ambas as extremidades por grandes anéis de curto-circuito. Essa forma construtiva é conhecida como rotor de gaiola de esquilo porque, se os condutores fossem examinados isoladamente, seriam semelhantes àquelas rodas nas quais os esquilos ou os hamsters correm fazendo exercício. Como mostra na Figura 10 (CHAPMAN, 2013).

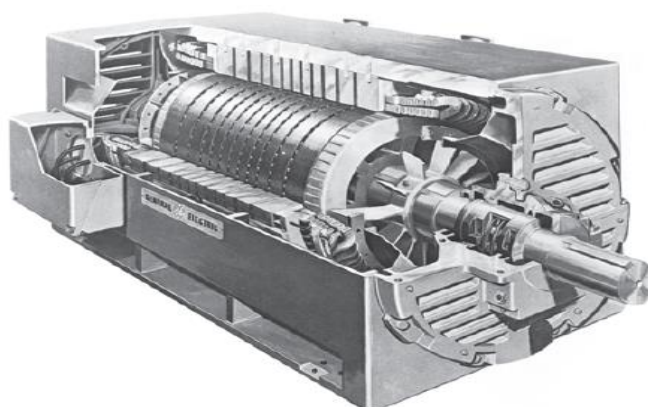


Figura 10 - Diagrama de Corte do Rotor Tipo Gaiola de Esquilo de Indução (Fonte: Chapman, 2013)

2.6.8. Conjugado

O conjugado, também conhecido como torque, momento ou binário, é a força realizada por um motor, mais precisamente pelo eixo do conjunto do rotor do motor, quando realiza um trabalho de força ou movimento. De forma mais usual se diz que, um esforço que exercido sobre uma alavanca, origina-se um conjugado. O tamanho da grandeza chamada conjugado depende da: amplitude da grandeza força, amplitude do comprimento do braço de alavanca, ou seja, da distância vertical da força até o ponto de apoio (FRANCHI, 2018).

No caso de um motor o sistema mecânico nada mais e do que a carga e o torque resistente são representados pelo torque da carga, como mostra a figura 11 o torque existe como produto de uma força pela distância radial ao centro do eixo de rotação e mesmo que o corpo não gire o torque não é nulo, pois a distância considerada é a distância radial e ela nunca será nula.

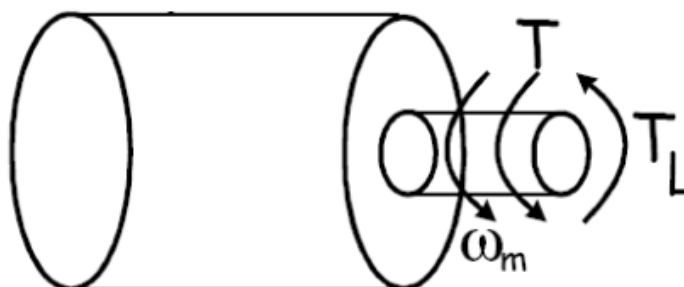


Figura 11 - Representação gráfica dos toques no rotor (Fonte: Oliveira e Souza, 2015)

2.6.8.1. Conjugado ou Momentos em motores de Indução

Definição => Potência = momento x velocidade

$$P = M \times n \quad (1)$$

O Conjugado ou Momento, é o binário produzido pelo eixo do rotor. Ele não é constante desde o momento da partida até atingir a velocidade nominal, a variação do

Conjugado é chamada de “curva de conjugado” e seus valores são expressos em porcentagem, sempre sobre o conjugado nominal do motor, ou seja, sobre o conjugado na velocidade a plena carga.

Cada motor tem a sua curva típica de conjugado, que é normalmente fornecida pelo fabricante do motor, ela varia com a potência, com a quantidade de polos e mesmo em motores de mesma potência e tensão, de fabricantes distintos, essa curva pode variar. Os limites mínimos devem ficar dentro de parâmetros estabelecidos pelas Normas específicas da ABNT para motores elétricos e a curva típica de “Conjugado” é a apresentado na figura 12.

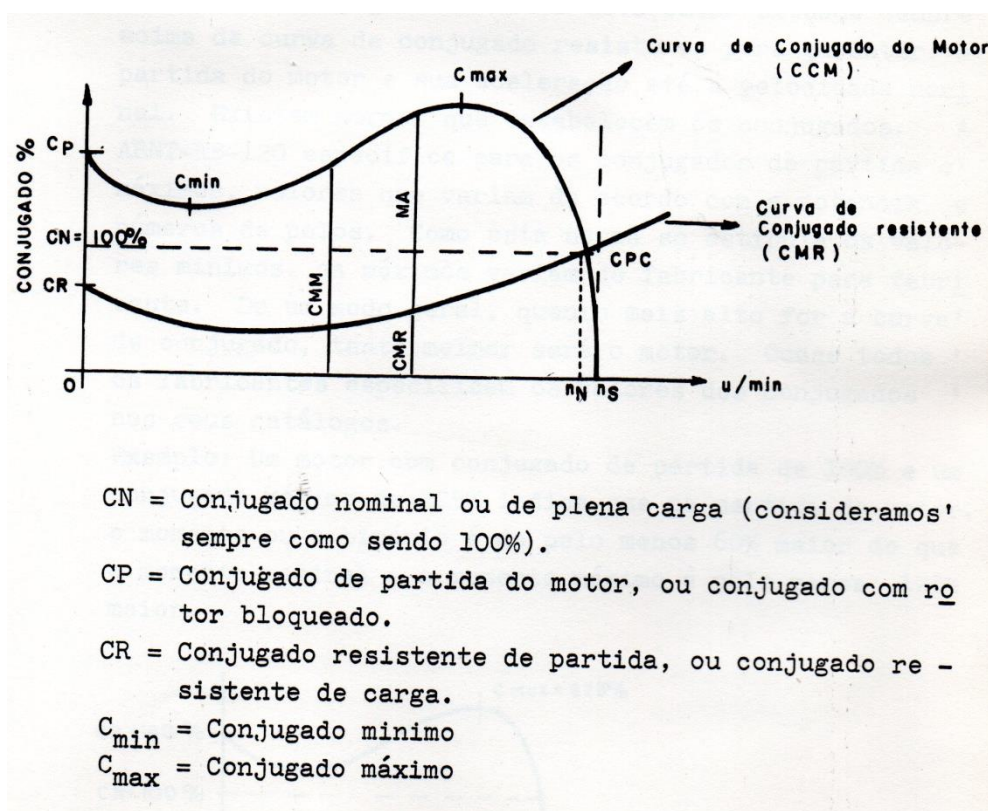


Figura 12 - Curva característica de Conjugado do Motor (Fonte: Autor, 2021)

2.6.9. Escorregamento De Motor De Indução

É denominado como escorregamento do motor, a diferença entre as velocidades síncronas e a velocidade aplicada após o conjugado no eixo do estator. Que usualmente é dada pela fórmula 2.

$$S = \frac{W - W\theta}{W} \quad (2)$$

Onde:

$W\theta$ = Velocidade angular após carga mecânica

W = Velocidade síncrona do rotor

Quando o motor está girando sem a presença de carga mecânica no eixo, chamado usualmente de motor a vazio, o rotor desenvolve uma velocidade síncrona do campo girante do estator. Adicionando a carga mecânica no eixo o rotor diminui a sua velocidade, que apresenta a fração de rotação que perde no rotor a cada rotação do campo rotórico. (MAWEDE FILHO, 2000).

2.6.10. Partida de motores de indução

Várias são as formas de partida de um motor de indução com o intuito de limitar a corrente durante a partida de motores elétricos. Com relação aos motores de indução trifásicos (MIT) destacam-se: Partida Direta, Partida Estrela-Triângulo.

2.6.10.1. Partida Direta

Em muitos motores usualmente comuns a partida pode ser feita simplesmente ligando os terminais diretamente na linha de potência, denominada assim partida Direta, porém os motores somente atende a partida direta se forem adequadas algumas exigências, por exemplo, a corrente nominal da rede é tão elevada que a corrente de partida se torna insignificante ou não é considerada, a corrente de partida do motor é relativamente baixa devido à baixa potência e principalmente quando a partida do motor tem que ser feita sem carga. A figura 13 demonstra o circuito equivalente de força e controle de uma partida direta.

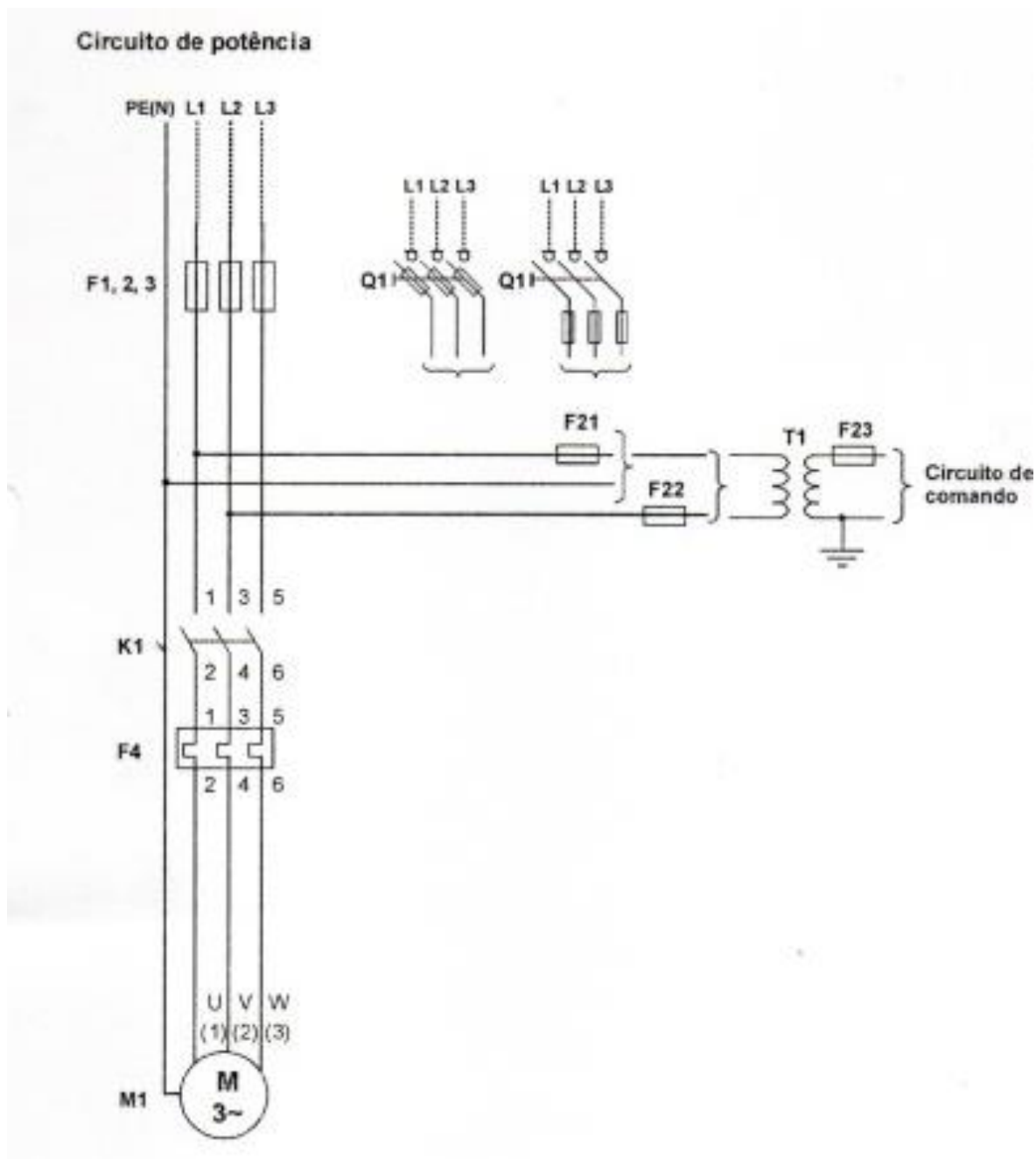


Figura 13 - Ligação Direta de motor trifásico (Fonte: Mawede Filho, 2000)

2.6.10.2. Partida Estrela- Triângulo

O procedimento para acionamento do motor é feito, inicialmente, ligando-o na configuração estrela até que se alcance uma velocidade próxima da velocidade de regime, quando, então esta conexão é desfeita e executada a ligação em triângulo. A troca de ligação durante a partida é acompanhada por uma elevação de corrente,

fazendo com que as vantagens de sua redução desapareçam se a comutação for antecipada em relação ao ponto final. (MAMEDE FILHO, 2000).

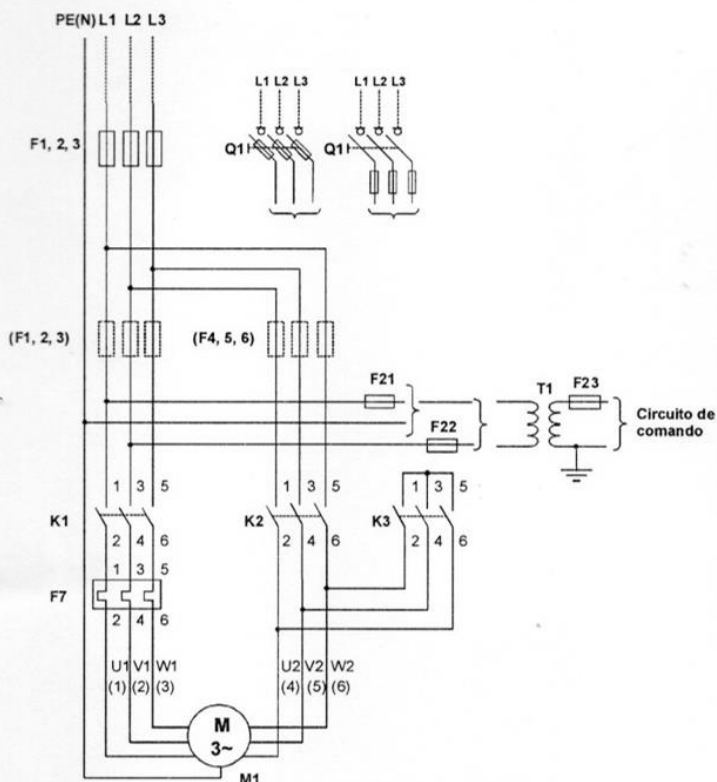
Esse tipo de partida normalmente é utilizada em máquinas / acionamentos que partem em vazio ou com conjugados de partida baixos, tais como máquinas para usinagem de metais (tornos, fresas etc.).

O conjugado de partida nesse tipo de acionamento é reduzido a um terço do conjugado de partida comparado com uma partida direta a plena tensão, para que seja possível a partida em estrela-triângulo, a tensão em triângulo da ligação do motor tem que coincidir com a tensão nominal da rede:

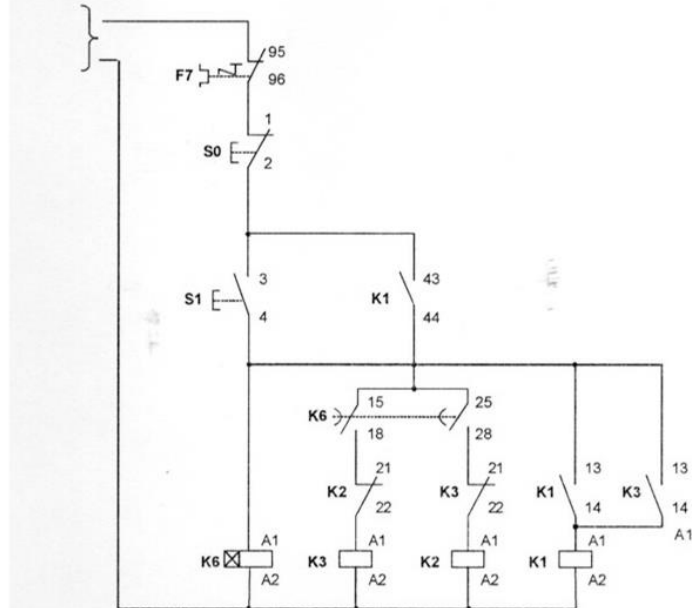
Como exemplo, um motor com placa / conexões de 220/380/440/760V só é possível partir em estrela-triângulo se a tensão da rede for 220V ou 440V. Em redes de 380V esse motor não é possível partir em estrela-triângulo.

Esquemas de ligação

Circuito de potência



Circuito de comando



F1, 2, 3
(F1, 2, 3) e (F4, 5, 6) - Fusíveis
 Utilização de fusível em separado, aplicar fusível com capa de proteção.
 (alternativa **Q1** - Seccionador-fusível 3NP4 ou **Q1** - Seccionador com porta-fusíveis ERGONFUSE que permite acionamento rotativo externo)

F21 a F23 - Fusíveis de comando

T1 - Transformador de comando

K1, K2 e K3 - Contatores (contatos auxiliares para contator, consulte catálogo do produto)

F7 - Relé de sobrecarga

M1 - Motor

S0 e S1 - Botões de comando

K6 - Relé de tempo

7PU05 71-1□□15 de 1,5 a 15 s (completar o tipo (□□) para tensão de comando, consulte catálogo de produto).

Nota: O contato 15-18 (fecha instantâneo) com o retardo na abertura no ajuste do tempo de partida. O contato 25-28 com retardo de fechamento no ajuste do tempo de partida mais um tempo de ≈50 ms para garantir a transição da ligação de estrela para triângulo.

Montagem: Para permitir a proteção contra toque acidental e garantia da isolamento, nos contatores 3RT10 / 3TF6 e relés de sobrecarga 3RB20 / 3RB12, devem ser aplicadas capas de proteção nos terminais de conexão. Consulte catálogo dos produtos.

Figura 14 - Esquema de ligação Estrela-Triângulo (Fonte: Autor, 2021)

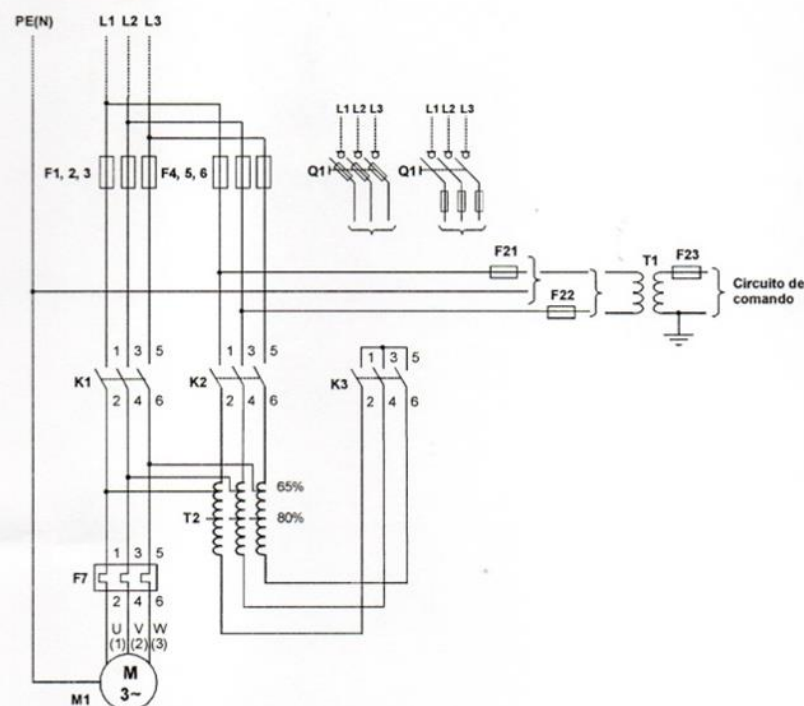
2.7. Partida por chave compensadora

As máquinas que necessitam de alto conjugado de partida, tais como bombas, compressores, ventiladores, exaustores etc, também podem partir com “partida por chave compensadora” onde é inserido um auto transformador de partida com tap’s que reduzem a tensão na partida para 65% e 80% da tensão nominal. Esse tipo de chave normalmente permite atingir conjugados / torques de partida maiores do que

nas partidas com chave estrela-triângulo, porém o seu custo e dimensões é maior devido a necessidade do auto transformador.

Esquemas de ligação

Circuito de potência



F1, 2, 3 e F4, 5, 6 - Fusíveis

Utilização de fusível em separado, aplicar fusível com capa de proteção.
(alternativa Q1 - Seccionador-fusível 3NP4 ou Q1 - Seccionador com porta-fusíveis ERGONFUSE que permite acionamento rotativo externo)

F21 a F23 - Fusíveis de comando

T1 - Transformador de comando

K1, K2 e K3 - Contatores (contatos auxiliares para contator, consulte catálogo do produto)

F7 - Relé de sobrecarga

T2 - Auto-transformador

M1 - Motor

S0 e S1 - Botões de comando

K11 - Contator auxiliar

3RH11 22-1A□□□ (completar o tipo (□□) para tensão de comando, consulte catálogo de produto).
Nota: Aplicado para garantir a passagem do regime de partida para o regime nominal.

K6 - Relé de tempo

7PU05 11-1□□30 de 3 a 30 s (completar o tipo (□□) para tensão de comando, consulte catálogo de produto).

Montagem: Para permitir a proteção contra toque acidental e garantia da isolamento, nos contatores 3RT10 / 3TF6 e relés de sobrecarga 3RB20 / 3RB12, devem ser aplicadas capas de proteção nos terminais de conexão. Consulte catálogo dos produtos.

Circuito de comando

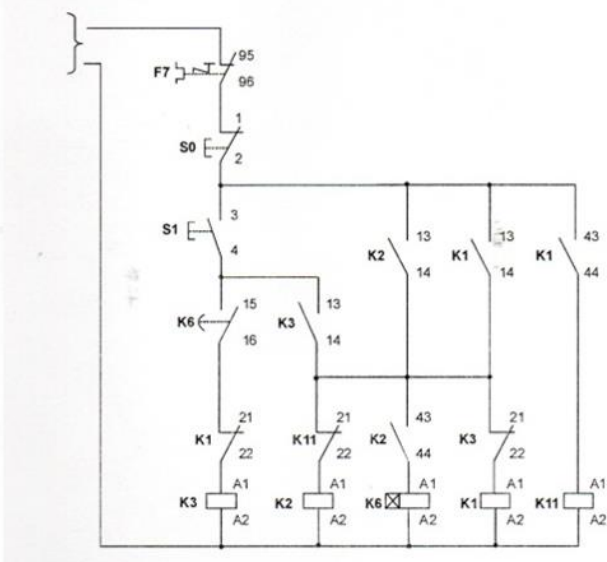


Figura 15 - Esquema de Ligação de Partida por chave compensadora (Fonte: Autor, 2021)

2.8. Inversores De Frequência

Os Inversores de Frequência são dispositivos eletrônicos cuja função é efetuar o controle dos motores elétricos trifásicos, principalmente de velocidade.

De maneira genérica, inversor de frequência é um dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de giro de um motor de indução trifásico. É um dispositivo que

transforma corrente elétrica alternada fixa (corrente e tensão) em corrente elétrica CA variável controlando a potência consumida pela carga através da variação da frequência e tensão entregue pela rede. Este dispositivo possui este nome pela maneira que ele faz esta variação de giro do motor trifásico.

O inversor de frequência retifica a corrente alternada em contínua e logo após os IGBT's (Insulated Gate Bipolar transistor - transistor de porta isolada) fazem a lógica PWM (Pulse Width Modulation – Modulação por largura de pulso) efetuar o controle do motor. A Figura 16 demonstra o esquema simplificado do inversor de frequência.

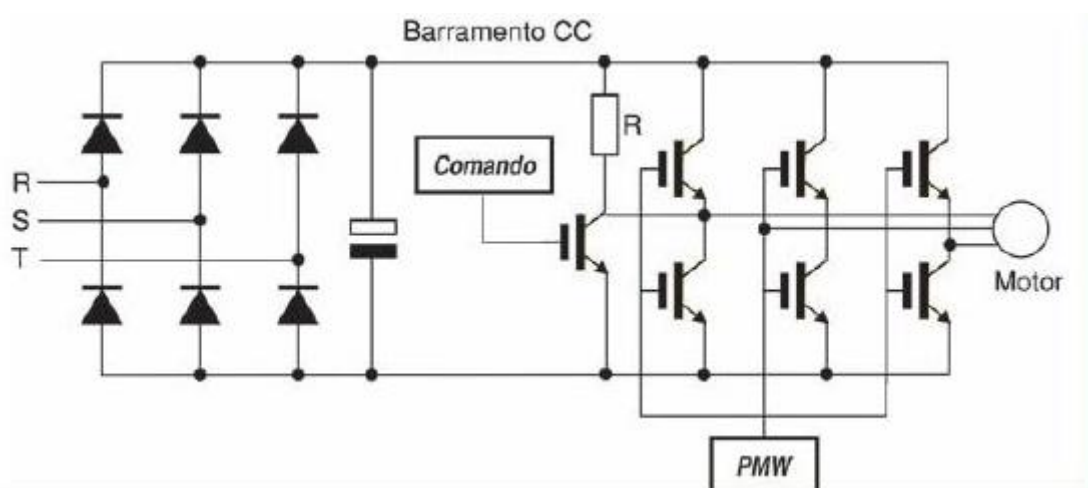


Figura 16 - Inversor de frequência (Fonte: Mawede Filho, 2000)

Devido ao baixo custo da técnica de acionamento por inversores em comparação com os motores em corrente contínua, o uso dos inversores de frequência tomou espaço na técnica moderna de acionamento de motores AC e tornou-se indispensável no âmbito industrial para o acionamento de máquinas.

2.9. Indutores

Os indutores, também conhecidos em alguns lugares como solenoide ou bobina, são dispositivos capazes de armazenar energia em forma de campo magnético. Este campo magnético é produzido pela corrente que passa pelo indutor, sendo sua capacidade de armazenagem de energia medida pela grandeza física Henry (H) e descrita pela letra (L). (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000).

Quanto à conexão na rede elétrica, esses indutores podem ser monofásicos e trifásicos e são instalados na saída do inversor e exercem a função de filtro e servem para reduzir os harmônicos e melhorar as formas de ondas, que não chega a ser perfeitamente senoidal. São indicados quando o comprimento do cabo é maior que 25 metros entre o inversor e o motor, reduzir as frequências harmônicas para diminuir as perdas e o aquecimento do motor, comparando quando não é utilizado, o indutor também faz a proteção do inversor contra curto-circuito na carga (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000).

2.10. Contatores Elétricos

Os contatores são elementos principais de comandos eletromecânicos, que permitem o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente. O contator é caracterizado como chave de operação não manual, eletromagnética, com uma única posição de repouso, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito.

É constituído de uma bobina que quando alimentada, cria um campo magnético no núcleo fixo que atrai o núcleo móvel que fecha o circuito. Cessando a alimentação da bobina, é interrompido o campo magnético, provocando o retorno do núcleo por molas. Assim podemos distinguir as quatro principais partes do contator, como mostrado na Figura 17 (FRANCHI, 2018).

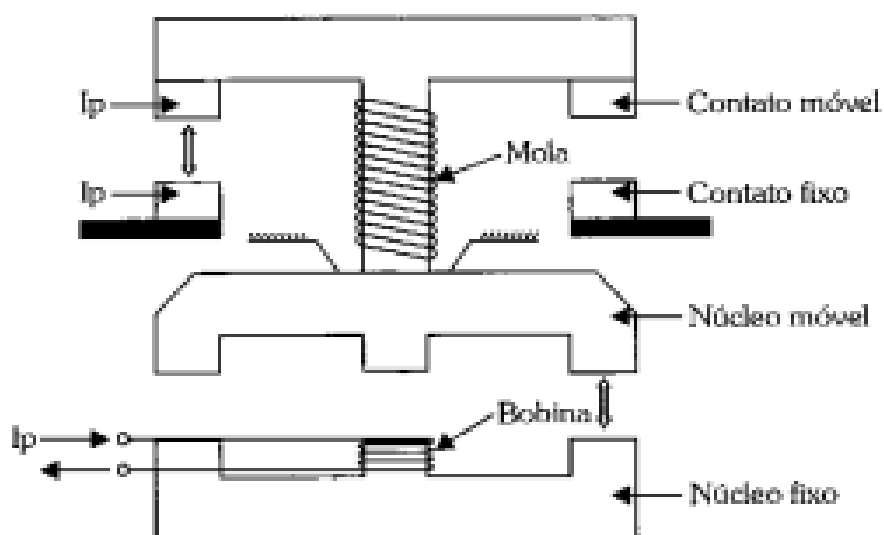


Figura 17 - Contator (Fonte: Franchi, 2018)

Bobina: representa a entrada de controle do contator que, ao ser ligada a uma fonte de tensão, circula na mesma corrente elétrica que cria um campo magnético que envolve o núcleo de ferro. As bobinas são partes dos contadores que devem ser escolhidas de acordo com a tensão e o tipo de energia de alimentação (CC ou CA) dos circuitos de controle dos comandos elétricos.

Núcleo de ferro: atraído para dentro da bobina pelo campo magnético, está acoplado do contato e, conseqüentemente, o movimento do núcleo aciona o contato.

Contato: é acionado pelo núcleo de ferro e está acoplado a uma mola que tende a leva-lo a posição de repouso, porém quando a bobina é energizada, a força do campo magnético é maior que a da mola, fazendo com que o núcleo fixo atraia o núcleo móvel.

Mola: elemento responsável por levar de volta o contato à posição de repouso quando a bobina é desconectada da fonte, quando cessa o campo magnético e a mola torna-se mais forte que o núcleo (FRANCHI, 2018);

2.11. Instrumentação e Controle

A instrumentação é parte integrante do controle de processos das indústrias que atuam principalmente nas áreas de siderurgia, petróleo, petroquímica, química, celulose e geração de energia. Em virtude dos mais variados tipos de processos e produtos, a composição do sistema e sua forma de controle variam conforme as necessidades e exigências do produto a ser fabricado, no sentido de oferecer confiabilidade e qualidade. (RIBEIRO, 1999).

O controle de processos e instrumentação tem como finalidade a manutenção de certa variável ou condição num certo valor (fixo ou variante). Este valor que pretendemos é o valor desejado. Podemos definir controle de processos como a manutenção do valor de uma certa condição através da sua média, da determinação do desvio em relação ao valor desejado, e da utilização do desvio para se gerar e aplicar uma ação de controle capaz de reduzir ou anular o desvio (RIBEIRO, 1999).

2.11.1. Sistema de Malha Aberta

É aquele sistema no qual a ação de controle é independente da saída, portanto, a saída não tem efeito na ação de controle, a sua saída não é medida e nem comparada com a entrada. A figura 18 demonstra o sistema de malha aberta.

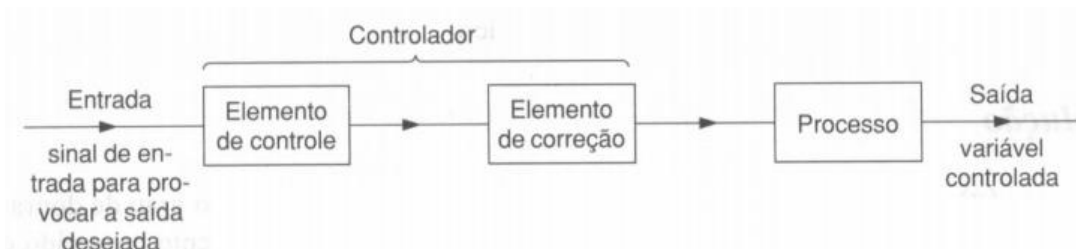


Figura 18 - Esquema de sistema Malha Aberta (Fonte: NISE, 2021)

2.11.2. Sistema de Malha Fechada

É aquele sistema no qual a ação de controle depende de algum modo, da sua saída é sempre medida e comparada com a fim de reduzir o erro e manter a saída do sistema no valor desejado. O sistema abaixo exemplificado pela figura 19 demonstra o sistema de malha fechada.

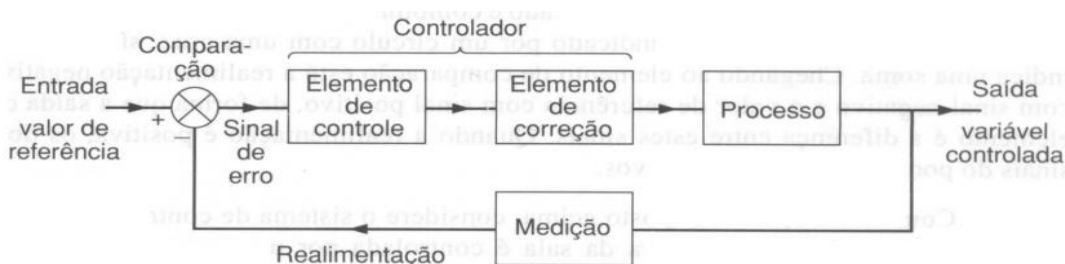


Figura 19 - Esquema de sistema Malha fechada (Fonte: NISE, 2021)

2.12. Definição dos Instrumentos

Um instrumento industrial é todo dispositivo usado para medir e/ou controlar uma variável direta ou indiretamente. Os instrumentos de medição podem ou não estar relacionados e cada um tem uma determinada tarefa a ser executada no processo industrial, a seguir a definição de alguns deles

2.12.1. Transmissores

Os transmissores são instrumentos que através de elementos primários que em contato direto ou indireto com a variável medida e/ou controlada, efetua a detecção de sua variação e transmite à mesma, a distância. Os elementos primários podem não necessariamente fazer parte do transmissor (PROCEL INDUSTRIA, 2008). A Figura 20 ilustra o modelo de transmissor de pressão utilizado no processo do Alto Forno.



Figura 20 - Transmissor de Pressão Siemens (Fonte: PROCEL, 2008)

2.12.2. Conversores

Os conversores são instrumentos que convertem um sinal recebido seja eletrônico ou pneumático vindo de um outro instrumento em um sinal de saída padrão, podendo ser de 4 a 20 mA ou 0,2 a 1,0 Kgf/cm² (PROCEL INDUSTRIA, 2008).

2.12.3. Encoder Incremental Linear

Encoders lineares sentem e digitalizam mudança de posição linear para a medida de posição e realimentação do sistema de controle. Encoders lineares absolutos criam um único sinal de posição que está disponível em qualquer lugar ao

longo da peça física. A posição exata é lida depois do ciclo de tarefas e controle. Encoders incrementais não geram um único sinal. O encoder é zerado depois do desligamento e confia em outro interruptor ou elemento incremental de controle para referência inicial.

Especificações de desempenho importantes para encoder lineares incluem alcance de medida linear, contas por distâncias ou linhas por distância, o alcance de medida linear é simplesmente a distância da viagem que pode ser codificada. Contagem por distancia determina o incremento mínimo da posição linear que pode ser determinado. Linhas por distancia se referem às marcas atuais ou outros elementos físicos do elemento linear móvel que é codificado (THOMAZINI, 2005).

2.12.4. Encoder Incremental Angular

Encoders incremental angular são baseados na condução elétrica que apresentam estrias condutoras depositadas sobre a superfície de um disco isolante acoplado ao equipamento que está sendo monitorado. As estrias são eletricamente conectadas no verso do disco, sobre o qual é mantido um potencial elétrico. O contato dos pinos nas estrias faz com que o circuito seja ligado, tornando a saída a 0 v, e quando o pino está entre as estrias a saída fica alta (nível lógico 1).

Para a flexibilidade do máximo o uso, os discos dos encoders são construídos de tal forma que as saídas A e B estejam defasadas 90°. A trilha zero gera um pulso por revolução do disco e tem o objetivo de sincronização (THOMAZINI, 2005).

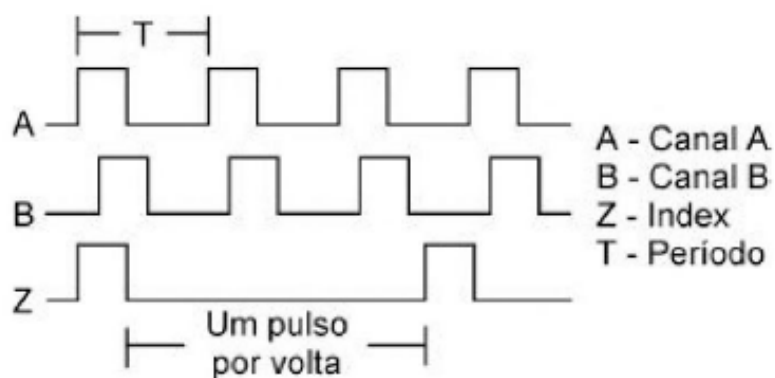


Figura 21 - Sinais gerados nas saídas dos Encoders incrementais (Fonte: Thomazini, 2005)

2.12.5. Sensores de proximidades indutivos

São dispositivos de proximidade sem contato que utilizam um campo de frequência de rádio com um oscilador e uma bobina. A presença de um objeto metálico altera esse campo e o circuito eletrônico do sensor pode descobrir a alteração. Um sensor de proximidade indutivo inclui um circuito oscilador gera um campo eletromagnético.

Se um objeto metálico se aproxima da face do sensor são induzidas correntes de Foucault, as perdas resultantes tiram energia do circuito oscilador, de alta frequência, que é emitido na face do sensor. Reduzindo ou parando as oscilações. O comparador de sinal converte essa informação em um sinal bem definido, que é amplificado no estágio seguinte (THOMAZINI, 2005).

2.12.6. Elementos finais de controle

São os elementos que recebem os sinais da saída dos controladores e atuam sobre a variável manipulada, no sentido de variar a quantidade de energia e manter a variável controlada a um valor predeterminado (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

2.13. Controlador Lógico Programável (CLP)

Controlador Lógico Programável é um dos principais equipamentos em um processo industrial moderno, pois tem a capacidade de efetuar o controle das variáveis de um sistema de forma sequencial, podendo ser utilizado nas mais diversas aplicações de controle, a criação do CLP veio da necessidade de substituição de sistemas que utilizavam relés para o controle de determinadas atividades, com essa é possível modificar a sequência de operação dos equipamentos sem a necessidade de modificações em suas ligações elétricas.

O CLP possui módulos de entrada para o recebimento de sinais pertinentes ao processo, um processador para a execução do programa do usuário e módulos de saída para enviar sinais ao processo. O funcionamento do CLP é basicamente efetuar a leitura dos sinais de entrada, efetuar a execução do programa do usuário e efetuar a atualização das saídas (SILVEIRA, 2004).

2.14. Linguagens de Programação

As linguagens de programação permitem aos usuários se comunicar com o CLP através de um dispositivo de programação e definir as tarefas que o mesmo deve executar para atingir o objetivo pré-estabelecido.

2.14.1. Diagramas em bloco FDB

É a linguagem cujos elementos são expressos por blocos interligados, semelhantes dos utilizados em eletrônica digital. Essa linguagem permite um desenvolvimento hierárquico e modular, uma vez que podem ser construídos blocos de funções mais complexos a partir de outros menores e mais simples. Normalmente os blocos são construídos utilizando a linguagem do texto estruturado (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

2.14.2. Linguagem Ladder

A função principal da linguagem Ladder é controlar o acionamento de saídas, dependendo da combinação lógica dos contatos de entrada, uma técnica adotada para descrever uma função lógica utilizando contatos e relés. (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

3. MÉTODO

No estudo de caso foram substituídas ligações diretas de motores por alimentação via Central de Comando de Motores (CCM) e sem controle de velocidade, corrente ou torque, por um sistema automatizado via Inversor de frequência controlando a energização do motor utilizando saídas e entradas do inversor e PLC para substituição de valores de corrente e torque para se evitar a quebra excessiva do acoplamento e eixo atuador da fabricante EUBA.

3.1. Especificações Técnicas dos Equipamentos

Este item é dividido em: Bica Basculante, Inversor ACS550 e Parâmetros do Inversor.

3.1.1. Bica Basculante

No processo de produção de metal líquido, a gusa e a escória são coletadas na região interna do alto-forno, denominada de “cadinho”, localizada logo abaixo das ventaneiras. Devido à diferença de peso específico (densidade), a gusa e a escória não se misturam. A escória possui um peso específico de 2,4 t/m³ (toneladas por metro cúbico), ao passo que a gusa possui um peso específico de 7,2 t/m³. Graças a essa diferença de pesos específicos, a escória “flutua” sobre o banho de gusa líquido e os dois produtos formam camadas distintas sem se misturar.

A gusa é direcionada para um canal secundário onde é despejado em uma “Bica Basculante”. A bica basculante funciona como uma panela de controle e transferência da gusa líquida para os carros especiais de transporte chamado Multi Mover Kirow, como é mostrado na Figura 22.



Figura 22 - Vista perpendicular do Multi Mover Kirow (Fonte: Thyssenkrupp, 2008).

Essas panelas são posicionadas sob a bica basculante, em um pavimento inferior à casa de corrida, onde recebem a gusa líquida e o transfere para a próxima etapa de produção, na aciaria.

- Características:
 - ❖ Temperatura da gusa: 1450°C
- Dimensões:
 - ❖ Comprimento 7 m.
 - ❖ Largura 7,5 m.
 - ❖ Altura 2,8 m.

O atuador da fabricante EUBA da bica basculante é um atuador eletromecânico com o eixo na linha de atuação. Este eixo é protegido contra contaminação do ambiente através de uma capa deslizante e protegido internamente contra torção, conforme mostrado na Figura 23.

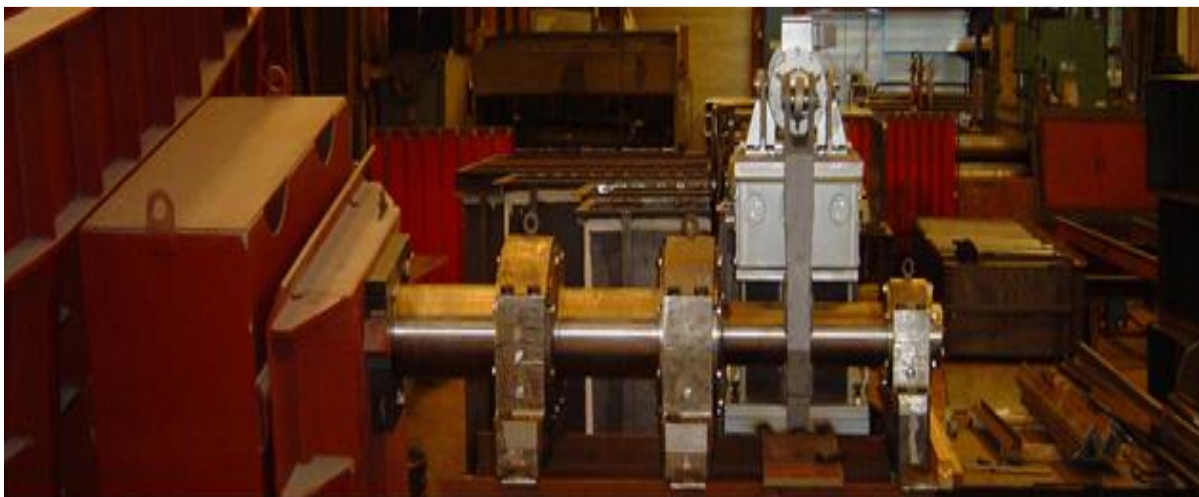


Figura 23 - Eixo atuador EUBA da Bica basculante (Fonte: Thyssenkrupp, 2008).

3.1.2. Inversor ACS550

O inversor utilizado foi o modelo AC S550 da marca ABB que é ideal para aplicações de torque variável e constante, desde bombas e ventiladores até transportadores e misturadores, bem como muitas outras aplicações de torque variável e constante.

Como o presente projeto visava o uso de um controle de torque mais refinado e diante das especificações deste inversor, foi constatado que este era o modelo disposto que mais se encaixa para o projeto, devido à sua potência de saída e ajuste de torque. O Quadro 2 descreve a especificação do inversor utilizado e a Figura 24 e 25 apresentam a etiqueta e a aparência do inversor respectivamente, especificando qual o modelo exato que foi utilizado.

Quadro 1 - Especificação do inversor.

Entrada	U1 3~ 380...450 V
	I1 8.8 A
	f1 48...63 Hz
Saída	U2 3~ 0... 450 V
	I2 8.8/5.9 A
	f2 0... 500Hz
Motor	PN 4.0/3 kW

Fonte: ABB, 2010.



Figura 24 - Etiqueta do inversor utilizado (Fonte: ABB, 2010)



Figura 25 - Figura modelo do inversor de Frequência, ACS550 (Fonte: ABB, 2010)

3.1.2.1. Parâmetros de utilização do inversor

Os parâmetros de um inversor, são determinadas regras que o equipamento segue para o funcionamento específico de operação. O número de parâmetros a serem programados depende da marca e tipo, o Quadro 3 apresenta os parâmetros utilizados no inversor para o controle e monitoramento de torque do projeto.

Quadro 2 - Parâmetros dos Inversores das bicas basculante.

GRUPOS	PARÂMETROS	DESCRIÇÕES	VALORES	DESCRIÇÃO DOS VALORES
99	1	Seleção de linguagem	5	Português
99	4	Modo de Controle do Motor	3	Velocidade Escalar
99	5	Tensão Nominal do Motor	460	460V
99	6	Corrente nominal do motor	4,0	4,0A
99	7	Frequência do Motor	60	60Hz
99	8	Velocidade do Motor	1700	1700 RPM
99	9	Potência Nominal do Motor	2,2	2,2Kw
10	1	Seleção de Comando EXT1	2	ED1,2
10	2	Seleção de Comando EXT2	0	Não Selecionado
10	3	Seleção de Referência de Velocidade	3	Pedido
12	1	Seleção Velocidade Constate	1	ED1
12	2	Velocidade Constate 1	1	60 Hz
15	1	Saída Analógica	105	Torque
15	2	SA1 Mínimo	-100%	-100%
15	3	SA1 Máximo	100%	100%
15	4	Saída mA Mínimo	4	4mA
15	5	Saída mA Máximo	20	20mA
15	7	Seleção Conteúdo SA2	104	Corrente
15	8	Conteúdo Min SA2	0	0
15	9	Conteúdo Max SA2	10	10A
15	10	SA2 Mínimo	4	4mA
15	11	SA2 Máxima	20	20mA
16	8	Arranque Activ 1	0	Não Selecionado
16	9	Arranque Activ 2	0	Não Selecionado
20	1	Velocidade Mínima	0	0 Rpm
20	2	Velocidade Máxima	1700	1700 Rpm
20	3	Corrente Máxima	10	10A
20	5	Controle Sobre tensão	1	Ativo
20	7	Frequência Mínima	Hz	0
20	8	Frequência Máxima	Hz	60 Hz
21	2	Função Paragem	2	Rampa
21	4	Corrente CC para Travagem	2	Parada CC
22	3	Tempo Desaceleração	2	2 Segundos
30	5	Proteção Térmica Motor	1	Falha
30	23	Falha Cabo	0	Inativo

Fonte: Autor, 2020.

3.1.3. Especificação Central de Comando de Motores (CCM)

De acordo com o desenho de implantação fornecido pela empresa Paul Wurth, os dados técnicos do Centro de Controle de Motores são demonstrados no Quadro 4.

Quadro 3 - Dados técnicos CCM

Cubículo N°	ITEM	Fabricado	5/AD
Serviço de usuário			Linha de Entrada "A" do PU16/0-G-EHB-QDBT-01 Alimentação
Poder Avaliador			800A
Tipo de alimentação elétrica			
Disjuntor	Tipo	ABB	T6H800-3P
	Corrente Nominal do Relé		800A
	Tipo de Relé		PR2220S/P
	Ajuste de Range		
Interruptor de Carga	Tipo	ABB	E933/50
Fusível de Linha	Tipo		14X51 2A
Contator	Tipo	ABB	TAIH10C800
Especificações do Relé	Tipo/Range/Set	ABB	800/1A / 8VA 0,5
Transformador de Corrente	Tipo	IME	TVVBC460C110
	Carga de Rádio		460/110V / 6A 0,5
Transformador de Tensão	Tipo	IME	
	Carga de Rádio		MF4ATP0016
Aux./ Transformador	Aliment./ Razão		
Multímetro	Tipo	BRIGNOLO	31RV3E110
Amperímetro	Tipo	IME	
Relé de Subtensão	Tipo	IME	
Aux.Cir.Detector de Isolamento	Tipo		
Dispositivo de Proteção Termistor	Tipo		
Numeração da Folha do Diagrama			070-075
Cabeamento Interno			
Bloco de Terminais de Energia			
Cabo Externo			PU16/0-003-BT-ARG7R-

Fonte: Autor, 2020

3.1.4. Especificação motor trifásico

O Quadro 5 apresenta as especificações e parâmetros do motor trifásico utilizado no projeto.

Quadro 4 - Especificação do Motor

Cubículo Nº	ITEM	Fabricado	3F	PU01/1-C- CB-01-M-01
Serviço de Usuário			ACIONADOR 1 DA CALHA BASCULANTE	
Poder Avaliador			2,2KW	
Tipo de Alimentação Elétrica			RDOL-4	
Disjuntor	Tipo	ABB	T2L 160 3P	
	Corrente Nominal de Relé		5A	
	Tipo de Relé		µf	
	Ajuste de Range		13n	
Interruptor de Carga	Tipo	ABB		
Fusível de Linha	Tipo		A26-30-00	
Contator	Tipo	ABB	E16DU16.30/ 2 + 6,30A/ 4 A	
Terminais do Relé	Tipo/Range/Set	ABB		
Transformador de Corrente	Tipo	IME		
	Carga de Rádio			
Transformador de Tensão	Tipo	IME		
	Carga de Rádio			
Transformador Auxiliar	Aliment./ Razão			
Multímetro	Tipo	BRIGNOLO		
Amperímetro	Tipo	IME		
Relé de Subtensão	Tipo	IME		
Aux. Circ. Detector de Isolamento	Tipo	LOVATO		
Dispos. de Proteção Termoresistor	Tipo	CONTREL	CM-MSS.12	
Numeração da Folha de Diagrama			096-097	
Cabo Interno			5Sqmm	
Bloco com Terminais de Alimentação			M8	
Cabeamento Externo			sqmm 4G6	

3.1.5. Encoder Absoluto TR

O encoder linear tem a função de mostrar a posição correta em que a bica está o que é de extrema importância para que o PLC consiga movimentar automaticamente, porém também temos a ajuda dos sensores indutivos que são a redundância do encoder caso ele venha a dar alguma falha.

Essa função é controlada via CCL que é mostrado na Figura 26 está totalmente na mão do operador decidir qual é a função adotada e a especificação técnica do encoder CMW58M utilizado é apresentado na Figura 27.



Figura 26 - CCL de acionamento (Fonte: Autor ,2020).

Application	Industrial
Available measurement lengths (m)	5
Suits encoder series	58
Diameter of measurement wire	1,0 mm
Measurement wire made from	Stainless steel, covered with polyamide
Housing of drum	Aluminium anodized
Housing of spring	
Ratio	315,23 mm/turn (typ.)
Options available	Single deflection pulleys
Protection class	IP65
ATEX zone	

Figura 27 - Especificação técnica (Fonte: Autor, 2020).

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Funcionamento do circuito antes da melhoria.

O funcionamento anterior a implantação das melhorias do processo, era constituído apenas por uma ligação simples de um motor em um Central de Comando de Motores (CCM), sem controle de velocidade, torque ou corrente. A alimentação dos motores das bicas 1 e 2 eram fornecidas pela gaveta 3F e eles eram acionados por partida direta, de acordo com as Figuras 28 e 29.

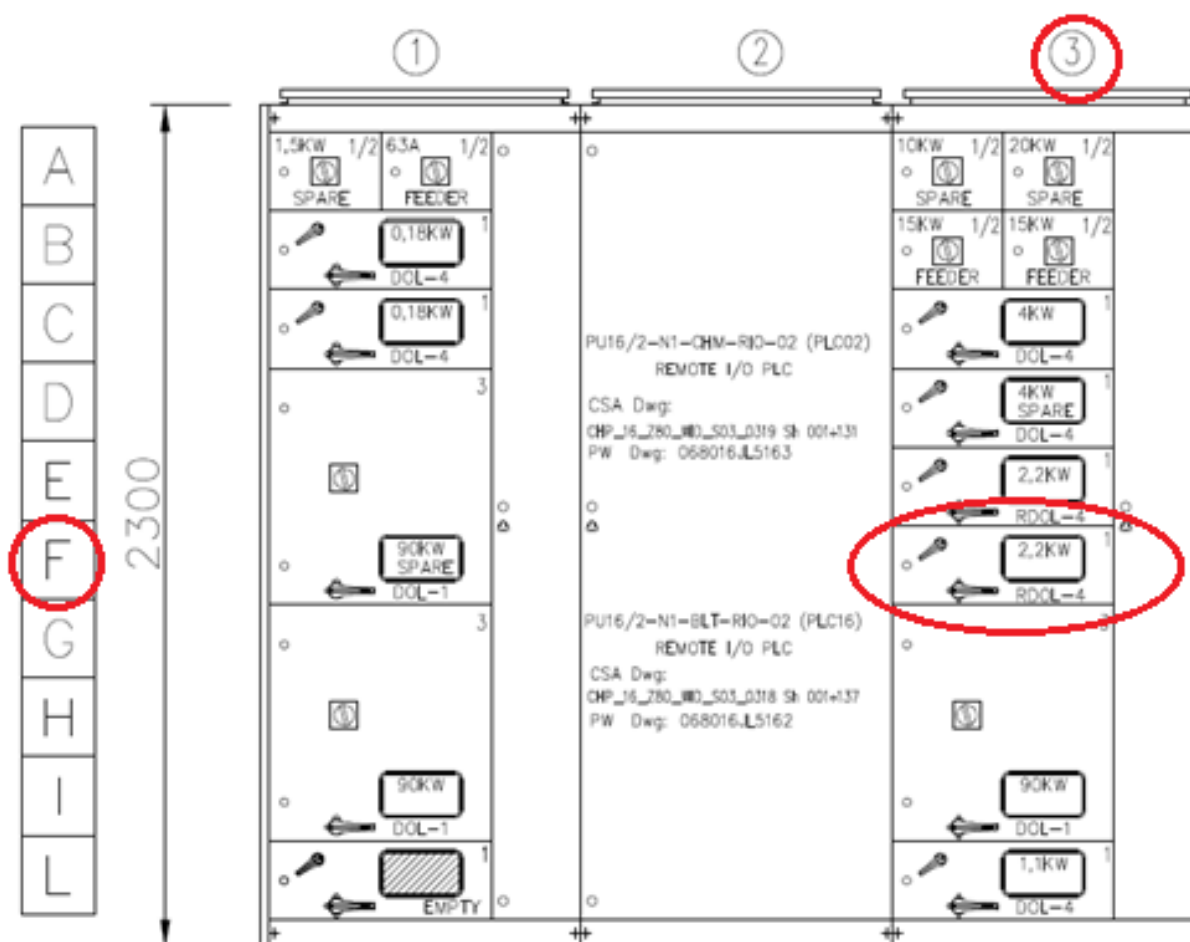
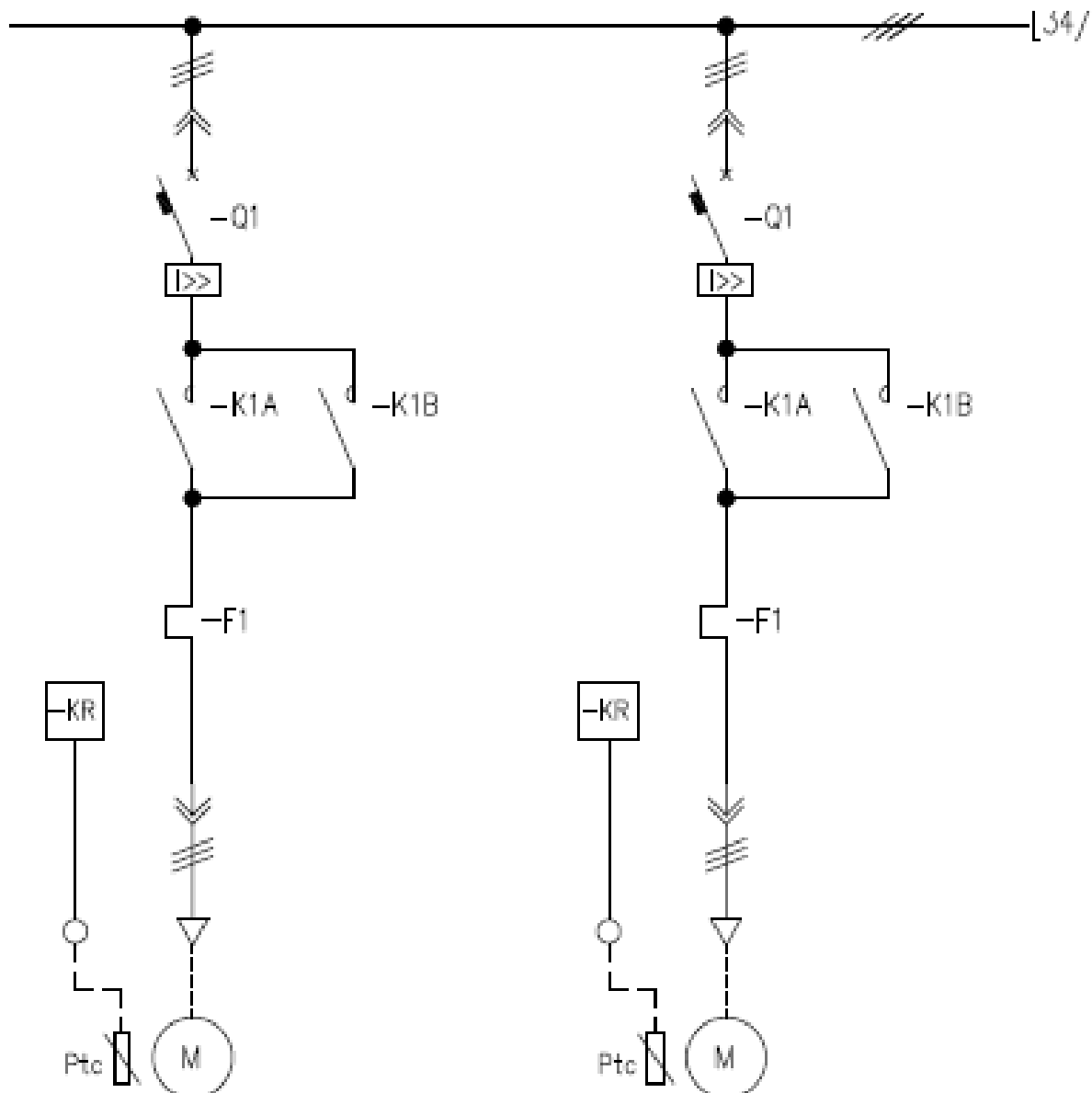


Figura 28 - Layout frontal gaveta 3F antes das modificações (Fonte: Autor ,2020).



3E	PU01/2-C-CB-01-M-01	3F	PU01/2-C-CB-02-M-01
ACIONADOR 1 DA CALHA BASCULANTE		ACIONADOR 2 DA CALHA BASCULANTE	
2.2 kW		2.2 kW	
RDOL-4		RDOL-4	
T2L 160 3P		T2L 160 3P	
5A		5A	
MF		MF	
13In		13In	
-		-	
-		-	
A26-30-00		A26-30-00	
E16DU6,30 / 1,9+6,3A / 1,9A		E16DU6,30 / 1,9+6,3A / 1,9A	

Figura 29 - Circuito de ligação direta dos motores na gaveta 3F (Fonte: Autor, 2020).

Anteriormente o circuito funcionava da seguinte maneira, quando o disjuntor Q1 fornecia alimentação para a bobina do K2 o contato 13 e 14 de K2 permitia de acordo com o feedback dos contatos dos sensores indutivos, contato 14 liberação de CCL ativado deveria estar continuamente fechado, contato 17 fechado alimenta a bobina de K4A dando permissão para o motor girar no sentido horário e o contato 18 fechado alimenta a bobina de K4B dando permissão para o motor girar no sentido anti-horário, o circuito descrito é apresentado no diagrama elétrico da Figura 30.

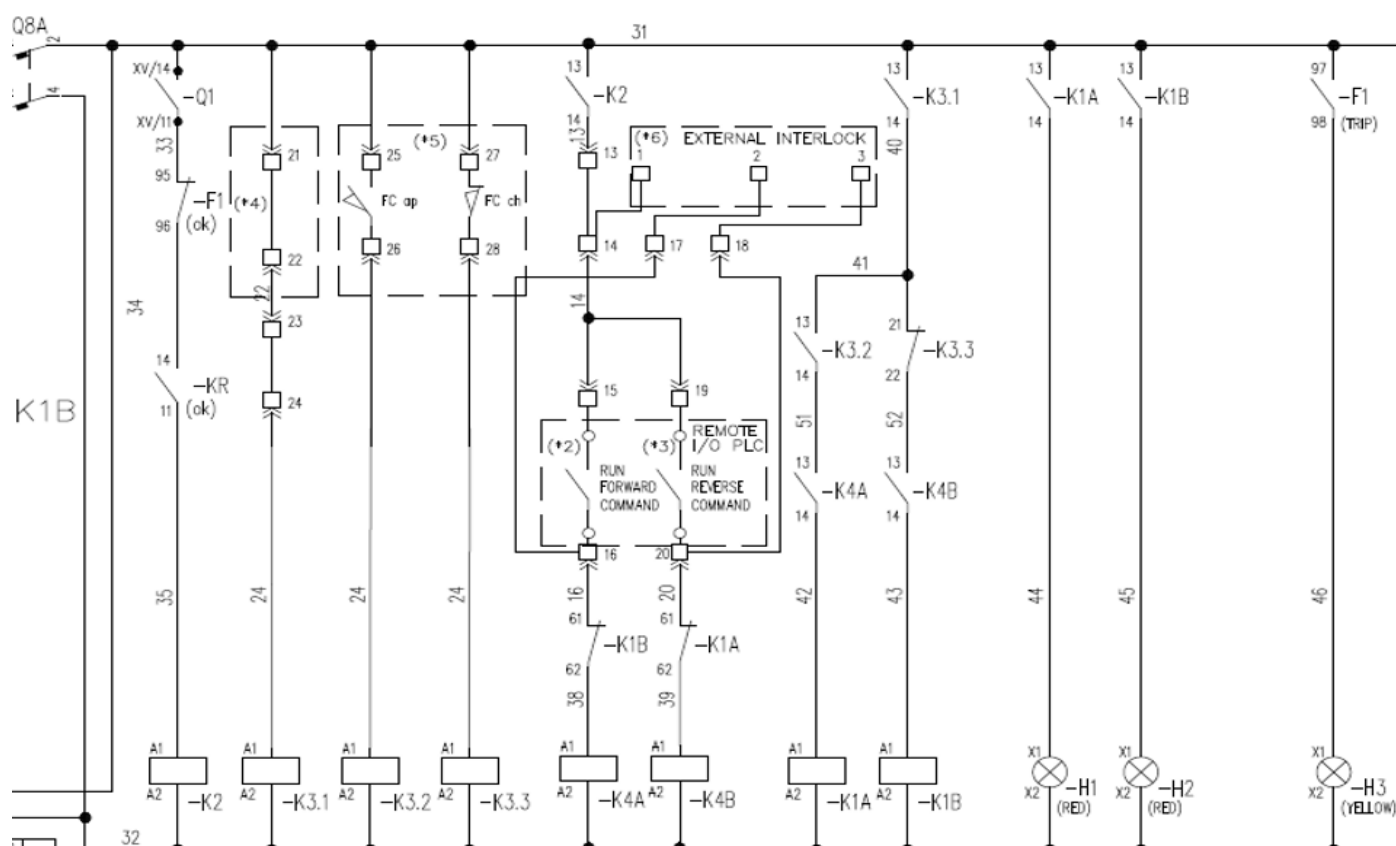


Figura 30 - Diagrama elétrico motor gaveta 3F antes das modificações (Fonte: Autor, 2020)

4.2. Modificações implementadas

No início do projeto foram feitas análises para instalação de um painel Central de Comando de Motores (CCM) exclusivo para o motor da bica basculante e os circuitos elétricos neles envolvidos, porém devido ao seu alto custo de projeto foi descartada esta possibilidade.

Visando uma melhoria estendida, resolvemos internamente realizar a modificação de alguns componentes eletrônicos utilizando a alimentação de duas gavetas reservas que não estavam sendo utilizadas no CCM e uma gaveta que era utilizada para alimentação de óleo lubrificante de uma unidade externa, a Figura 31 apresenta o layout frontal do CCM indicando a localização da gaveta.

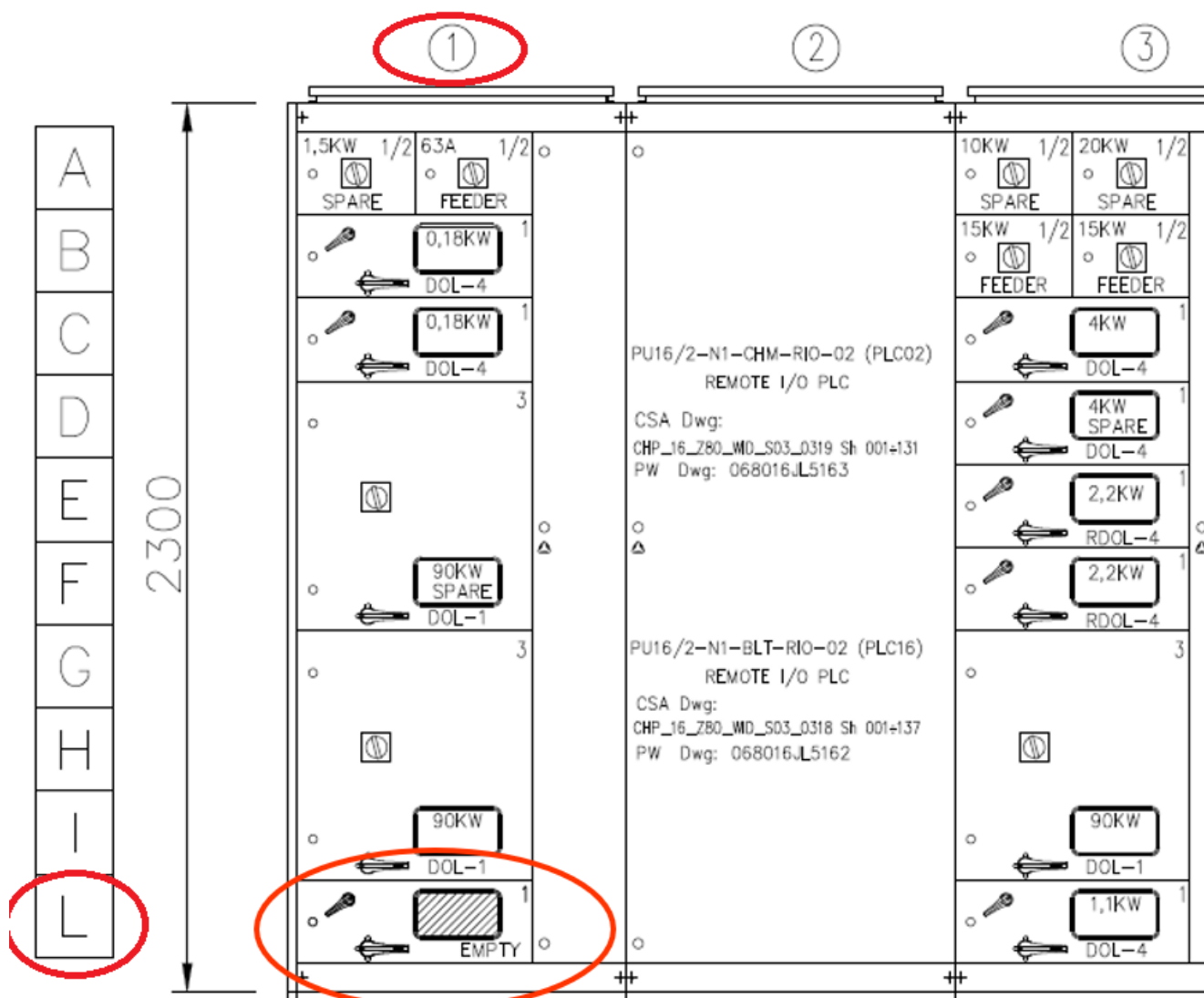


Figura 31 – Vista frontal da gaveta de alimentação 1L. (Fonte: Autor, 2020).

A alimentação do inversor foi inserida na gaveta conforme apresenta o diagrama elétrico na Figura 32.

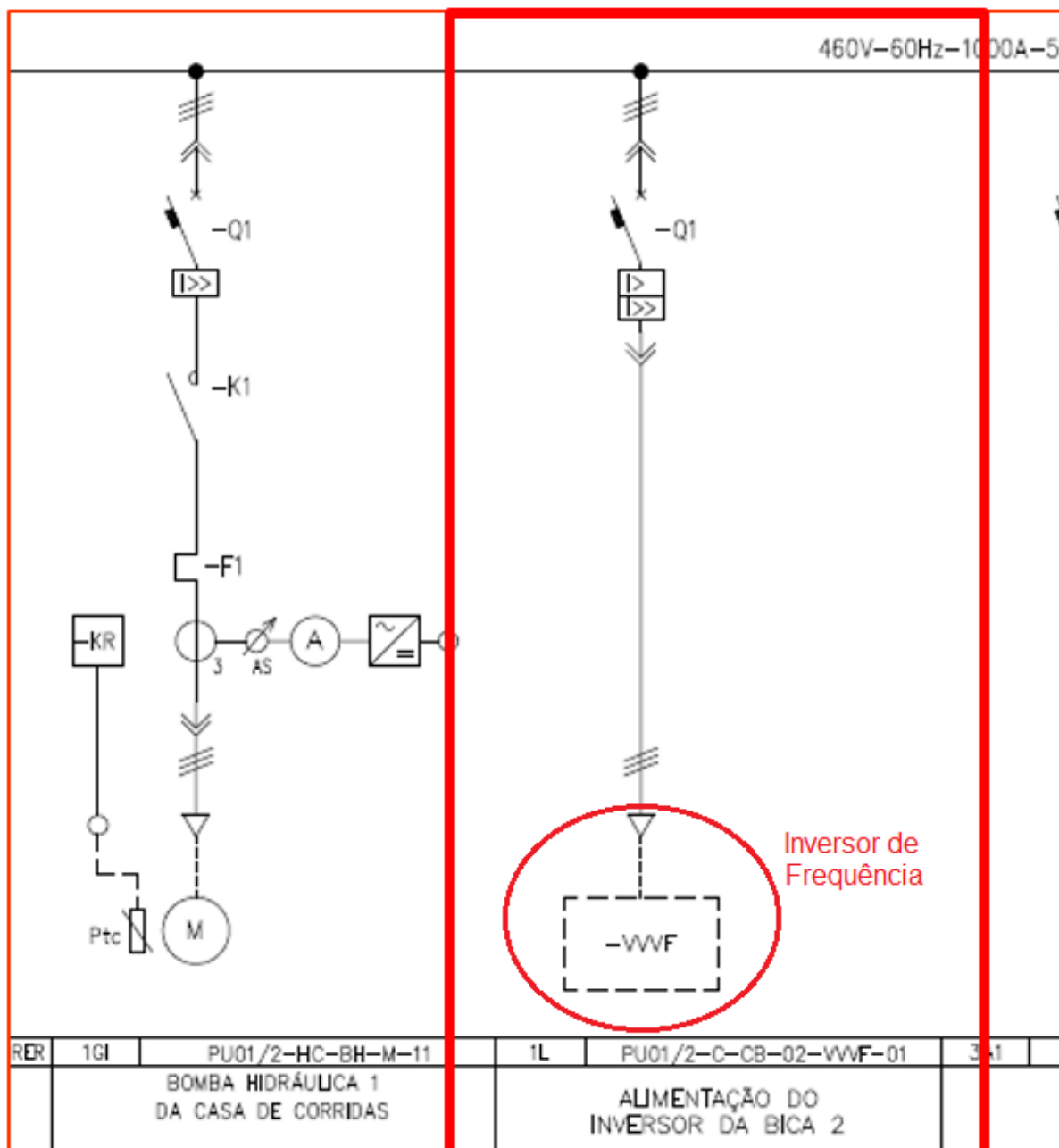


Figura 32 - Diagrama elétrico gaveta 1L após modificações (Fonte: Autor, 2020).

A alimentação oriunda da Gaveta 1L foi destinada para gaveta 4F onde o inversor de frequência está armazenado, essa mesma gaveta era responsável pelo abastecimento de óleo hidráulico externo e com isso foi retirado o mesmo do local.

Como podemos ver a figura 33 antes das modificações e a figura 34 após as modificações que descrevem o diagrama elétrico do inversor onde foram ligadas as alimentações dos motores.

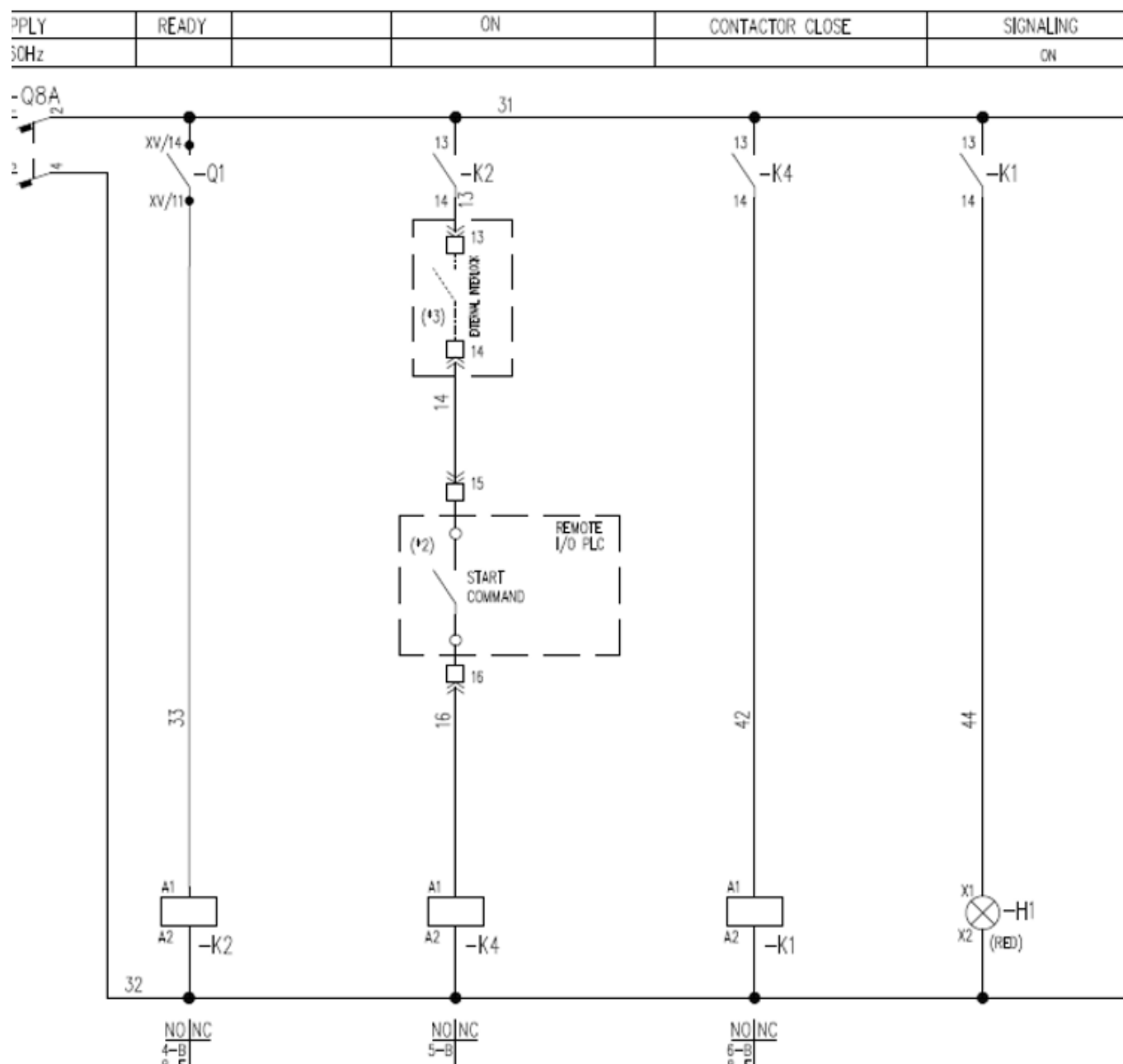


Figura 33 - Gaveta 4F antes da modificação (Fonte: Autor, 2020).

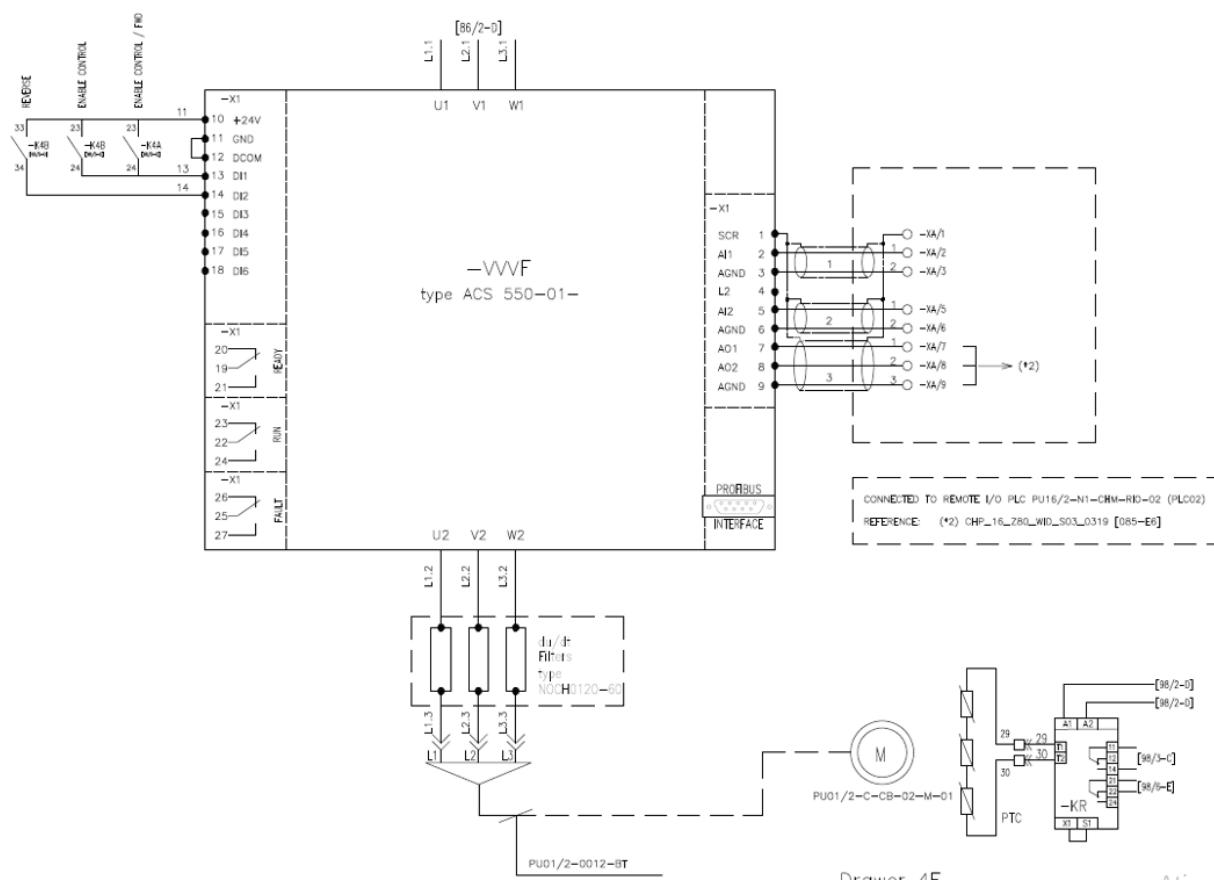


Figura 34 - Gaveta 4F após modificação (Fonte: Autor, 2020).

A alimentação do motor trifásico era armazenada na gaveta 3F do CCM, porém com a modificação do projeto a alimentação passou a ser fornecida pelo inversor de frequência que está na gaveta 4F. Como a gaveta 3F fornecia a alimentação do motor das bicas e o mesmo foi retirado e será oriunda a alimentação do inversor, a gaveta 3F está servindo como reserva, caso o inversor apresente alguma falha para a não parada do processo, o circuito será substituído novamente para a alimentação automática da mesma.

O diagrama elétrico de acionamento do motor foi retirado da gaveta e realizado a modificação cruzada dos contatos elétricos para que o mesmo fosse controlado via PLC de acordo com os valores pré-estabelecidos de torque e corrente.

Com a modificação do circuito elétrico, foi inserido um contato fechado do CLP na linha de acionamento do K2 para a alimentação do motor, como é mostrado na Figura 35.

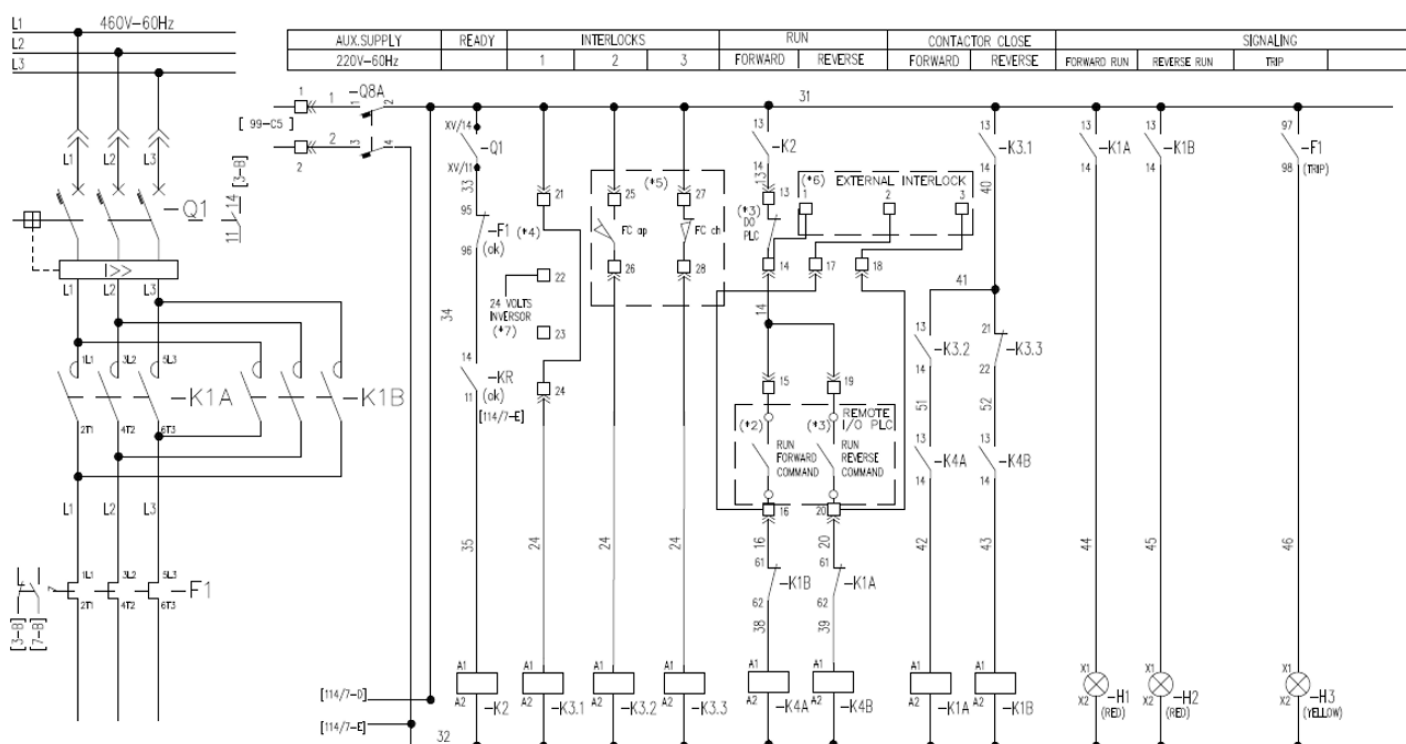


Figura 35 - Diagrama elétrico após as modificações (Fonte: Autor, 2020).

As entradas DI01 e DI02 do inversor são alimentados por $24V_{cc}$ oriundas das saídas 22 e 23 do terminal block do MCC, foram inseridos os contatos 13 e 14 na linha de alimentação da bobina de K2 para DO01 para interromper a alimentação do motor caso a saída analógica A02 (corrente) e A01 (torque) que controla o sinal de 4 a 20 mA do PLC não atenda as condições pré estabelecidas pela lógica, a DO01 é ligada em uma saída do cartão do PLC para essa interrupção de energia.

A lógica abordada pelo CLP controla o intertravamento do sinal de saída de torque que deverá ser abaixo de 80% e o sinal de saída de corrente que deverá ser abaixo de 5A para que o contato se mantenha fechado e permita passagem de alimentação para as bobinas dos contadores de acionamento do circuito do motor, como mostra as figuras de 36 a 42.

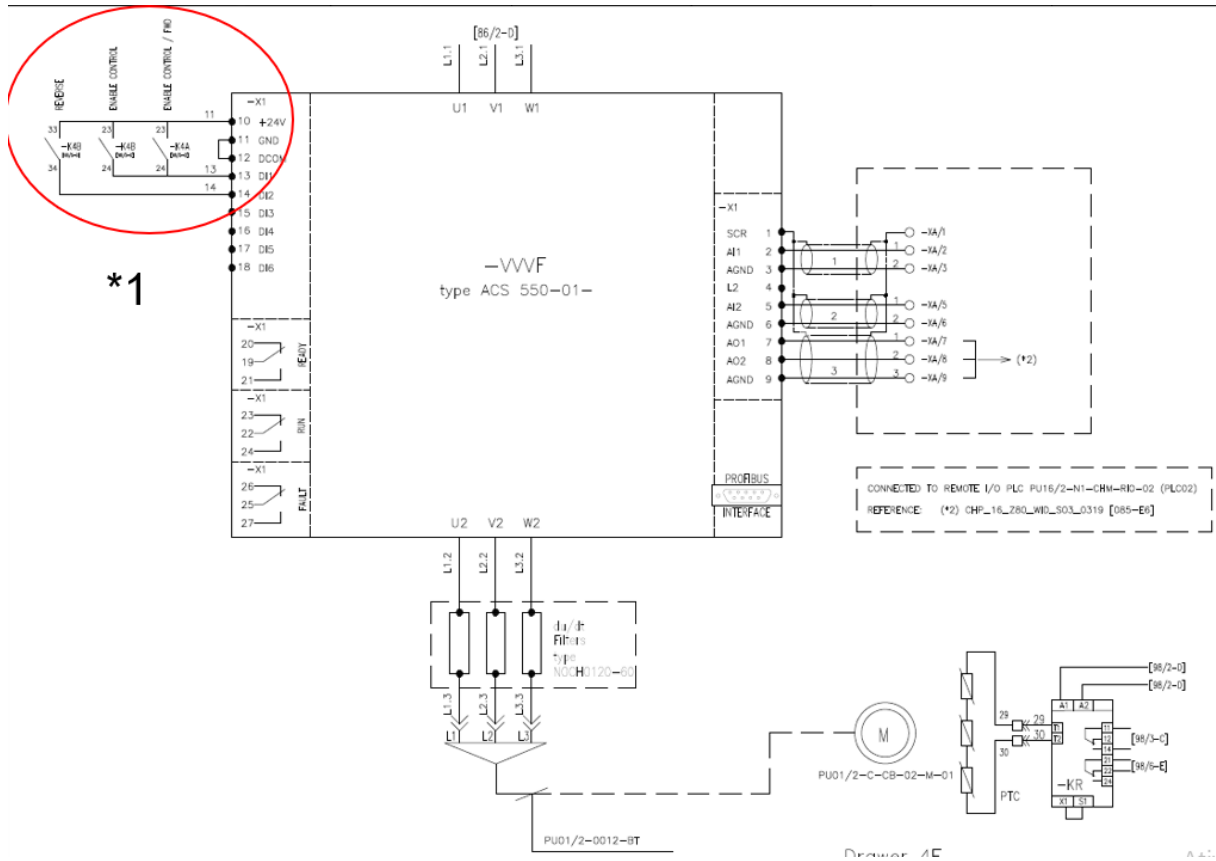


Figura 36 - Saídas digitais do inversor (Fonte: Autor, 2020).

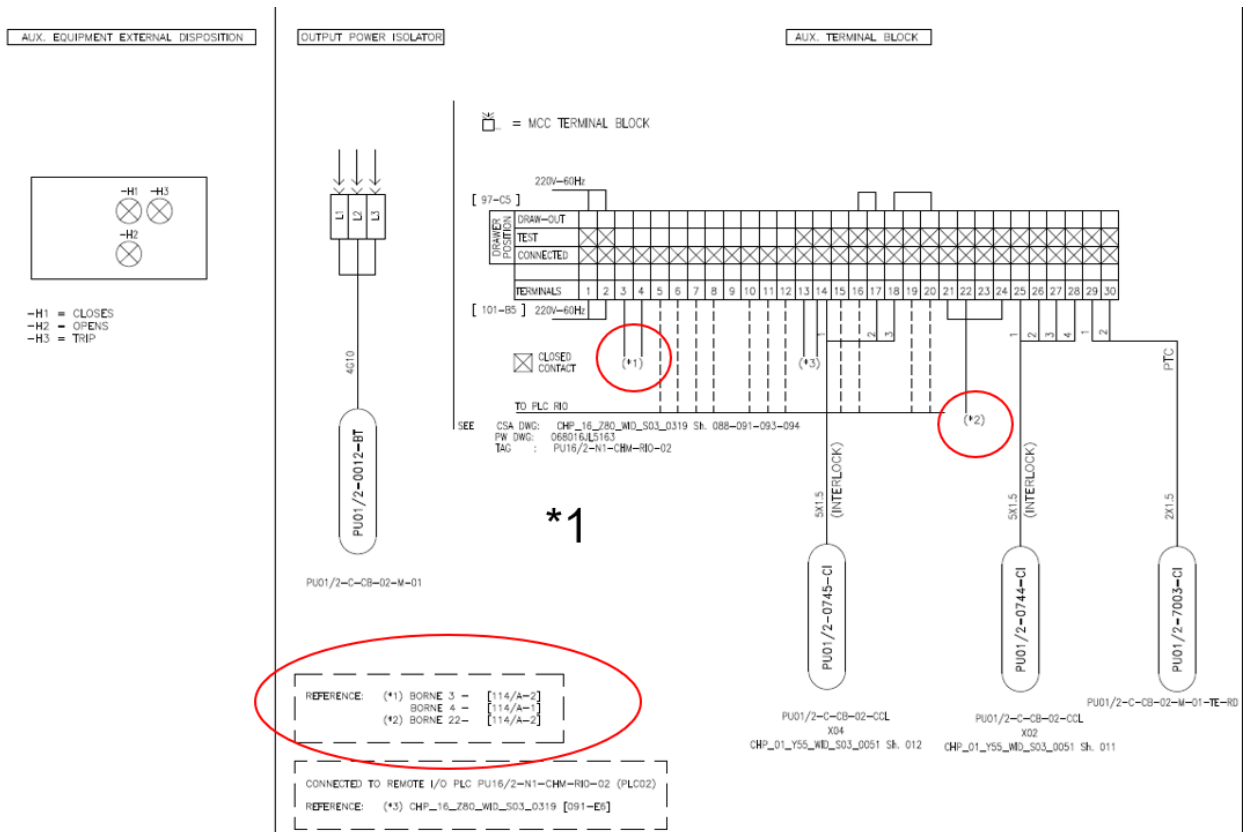


Figura 37 -Alimentação terminal block MCC (Fonte: Autor, 2020).

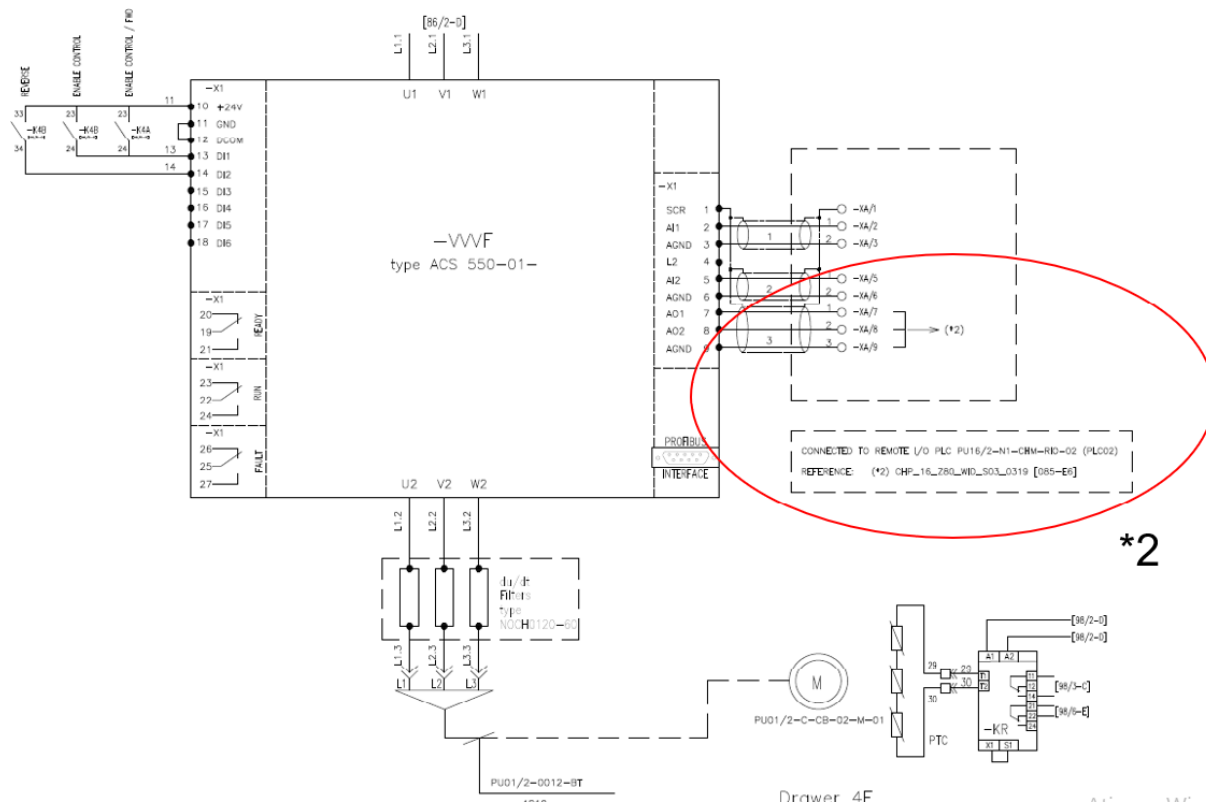


Figura 38 - Saída analógica do inversor (Fonte: Autor 2020).

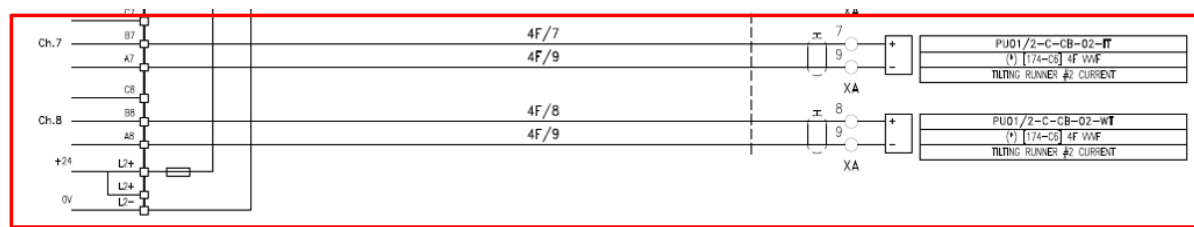
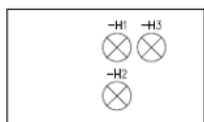


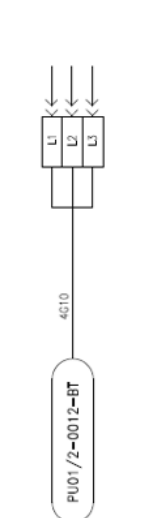
Figura 39 - Entrada analógica do PLC (Fonte: Autor, 2020).

AUX. EQUIPMENT EXTERNAL DISPOSITION



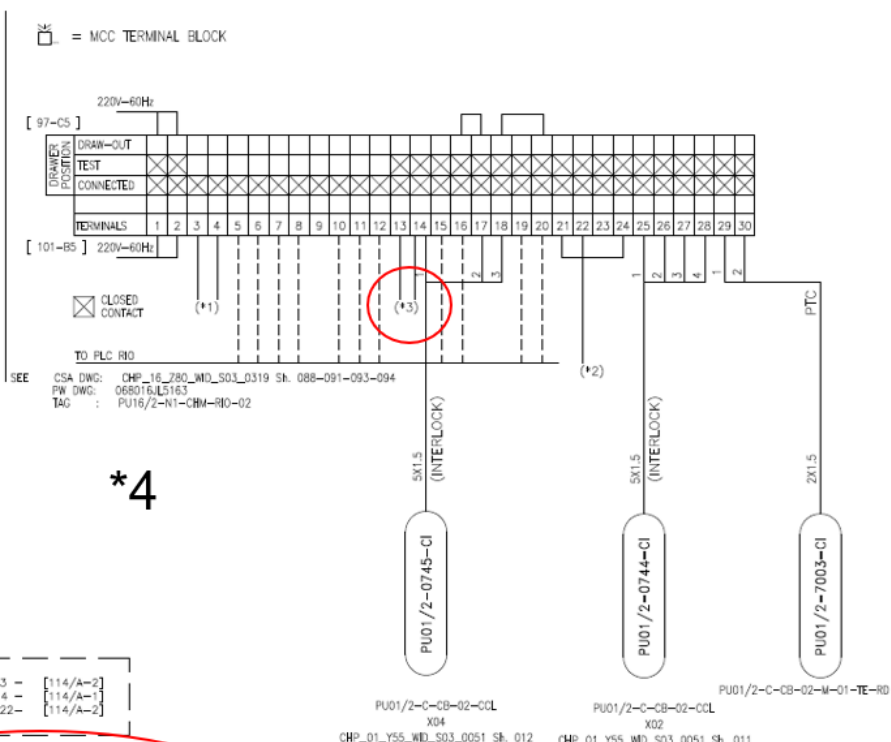
-H1 = CLOSES
 -H2 = OPENS
 -H3 = TRIP

OUTPUT POWER ISOLATOR



PU01/2-C-CB-02-M-01

AUX. TERMINAL BLOCK



REFERENCE: (*1) BORNE 3 - [114/A-2]
 BORNE 4 - [114/A-1]
 (*2) BORNE 22- [114/A-2]

CONNECTED TO REMOTE I/O PLC PU16/2-N1-CHV-RIO-02 (PLC02)

REFERENCE: (*3) CHP_16_780_WID_S03_0319 [091-E6]

Drawer 3F
 Terminal block -X3F

Figura 40 - Contatos da DO para o PLC (Fonte: Autor, 2020).

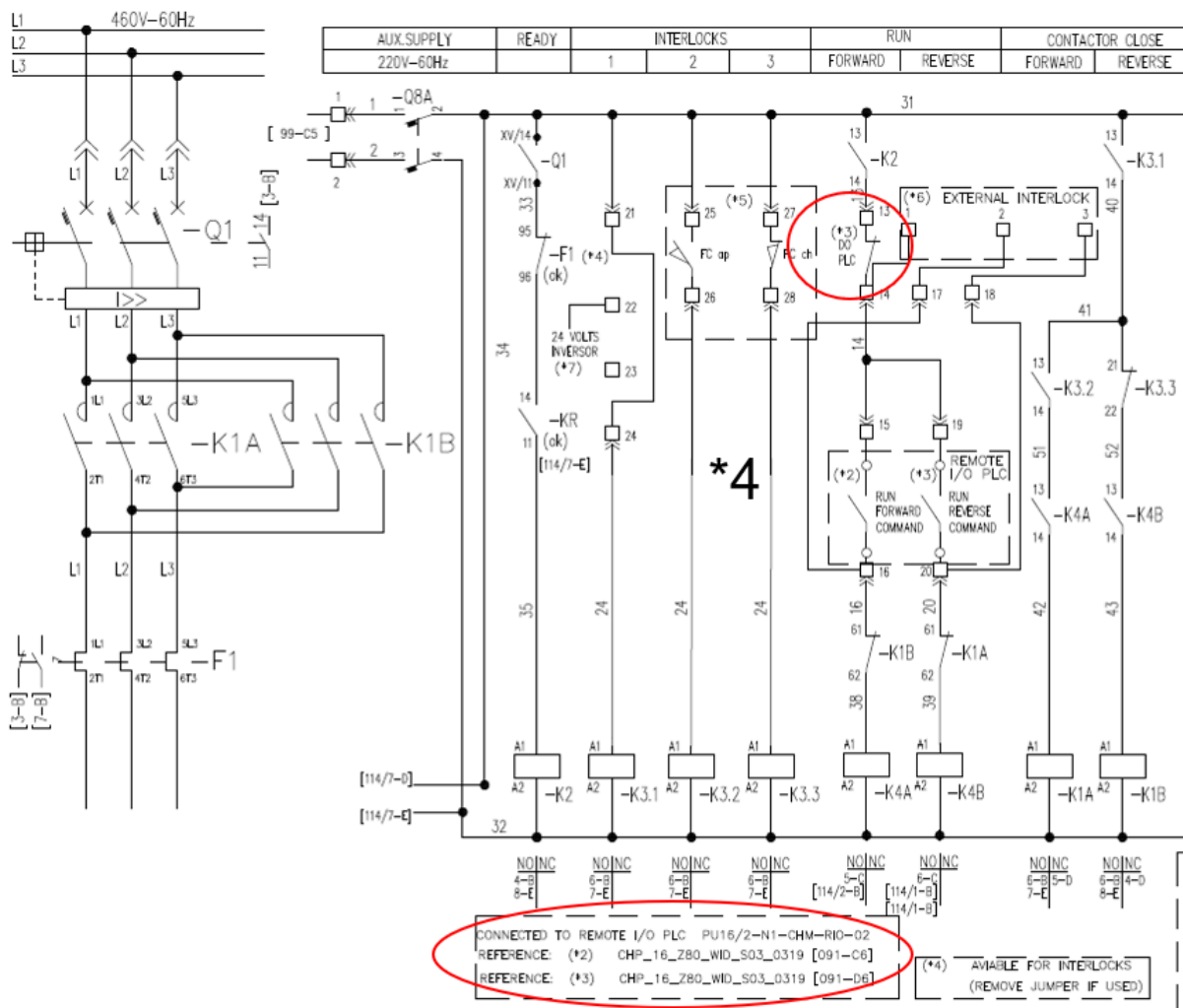


Figura 41 - Ligação da DO no terminal block do PLC (Fonte: Autor, 2020).

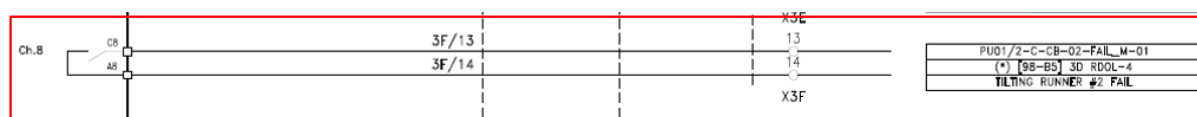


Figura 42 - PLC cartão de saída de falha (Fonte: Autor, 2020).

4.3. Fundamentação matemática para controle de torque

Juntamente com a equipe mecânica responsável pelo eixo EUBA da bica basculante, estabelecemos um valor de 80% predefinido para que a energia fosse interrompida, esse valor de torque foi definido pelo cálculo da fórmula do torque nominal.

$$P = \tau \times \omega \quad (3)$$

Onde:

P= Potência do motor (Watts)

τ = Torque do motor (N/m)

ω = Velocidade angular (rad/s)

- Os dados do motor são:
 - 2,2 kw de potência nominal – 3CV
 - 1700 rpm de velocidade nominal

O torque em Nm e ω em Rad./ seg a potência resultará em Watts.

$$P = \frac{\tau Nm \times N rpm}{9549.30} kW \quad (4)$$

$$\tau = \frac{2,2 \times 9549.30}{1700} Nm \quad (5)$$

$$\tau = 12,35 Nm$$

O valor equação acima referente será do torque nominal máximo, o valor estabelecido de 80% será de 9,88Nm.

4.4. Mudança da lógica FDB

Para a inserção dos limites de interrupção da alimentação foi realizada uma alteração na lógica em diagrama de blocos, mudança na saída para que eles fossem inseridos nos respectivos faceplates e com isso os resultados do projeto fossem satisfatórios, as Figuras 43 a 45 representam essa lógica FDB.

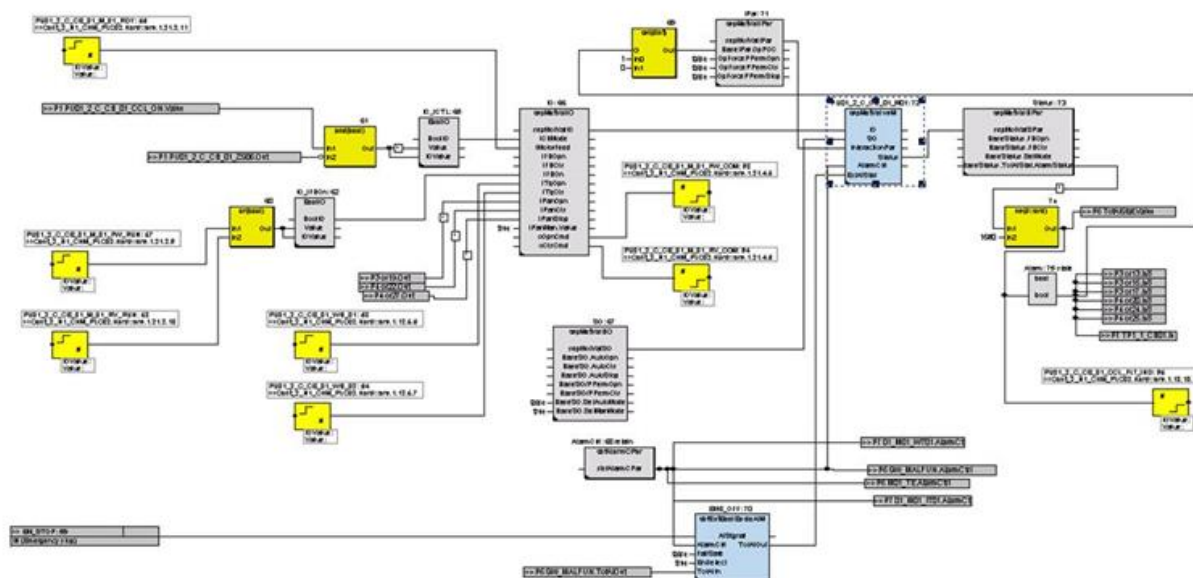


Figura 43 - Lógica FDB para sistema ABB (Fonte: Autor, 2020).

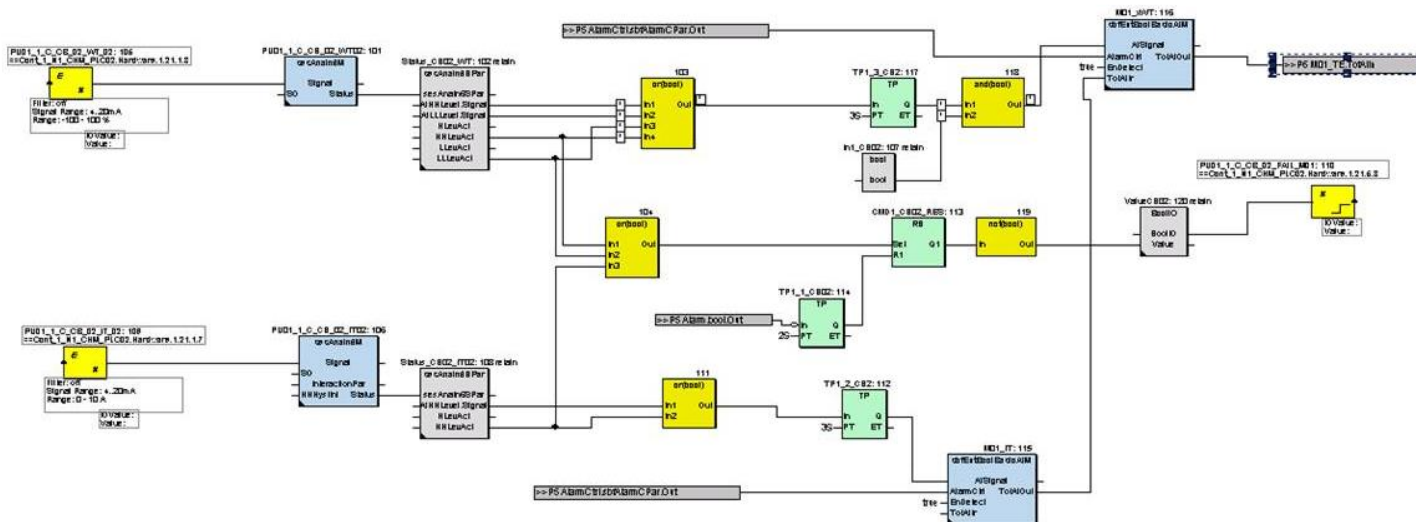


Figura 44 - Lógica FDB para sistema ABB (Fonte: Autor, 2020).

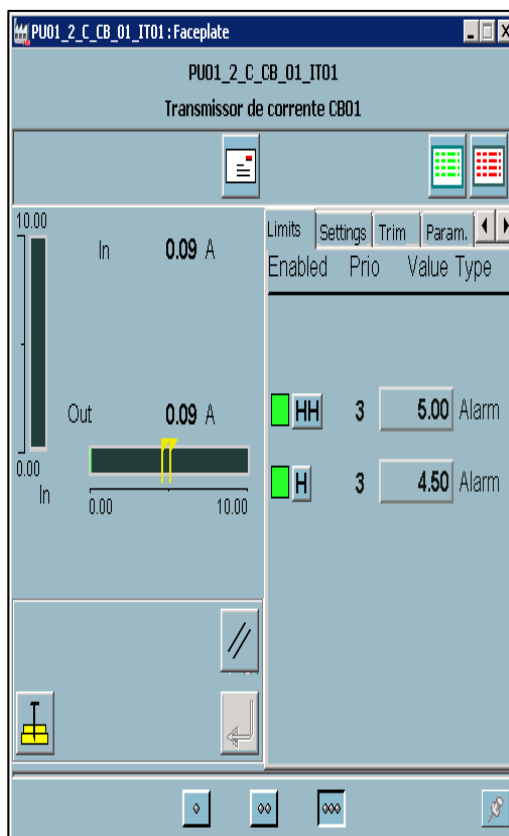


Figura 46 - Faceplate de sobrecorrente (Fonte: Autor, 2020).

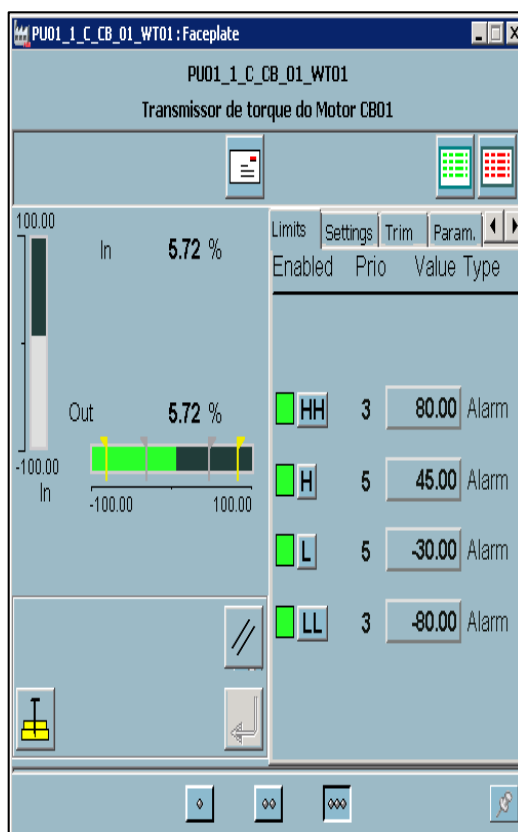


Figura 47 - Faceplate do sobretorque (Fonte: Autor, 2020).

4.5. Sistema Supervisório

O ABB, como mostra a Figura-48, é provido de inúmeras ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de variadas aplicações com HMIs e SCADA, no sentido de desenvolver sistemas de automação direcionados aos mais variados tipos de processos, supervisão e controle.

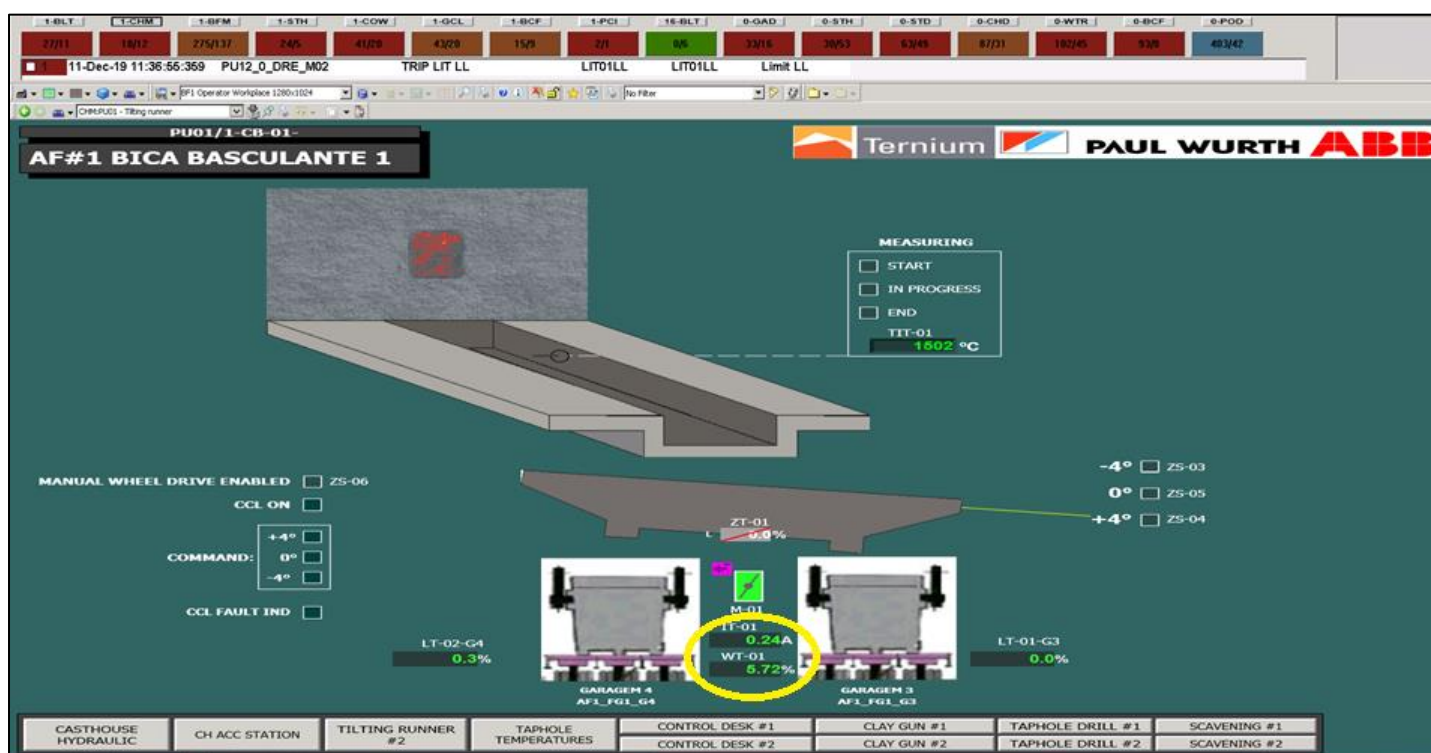


Figura-48 - Sistema supervisório ABB (Fonte: Autor 2020).

Para controle de processo e geração de históricos de variáveis de medição de controle, utilizamos a ferramenta de supervisório ABB, nela implantamos duas variáveis IT e WT de controle na tela para que o operador tivesse a consciência da medição atual.

5. RESULTADOS

Com a instalação dos inversores não tivemos mais ocorrências de quebra de eixos de acionamento, com a melhoria do presente projeto a interrupção de energia do circuito de proteção de sobrecorrente e sobretorque o acionamento é imediato, não necessitando de aquecimento do relé térmico para desarme de sobrecorrente, com isso a atuação de desarme é imediato após valores chegarem aos limites setados no faceplate e com acompanhamento de histórico de corrente e torque dos motores da bica.

Já tivemos inúmeros desarmes por sobretorque e sobrecorrente, porém após a inspeção para conhecimento da causa foi encontrado cascão nas bicas e com isso forçando o eixo do motor para a movimentação sem sucesso, evitando a quebra de mais eixos de acionamento.

Como prova da diminuição de quebras de eixo, obtivemos gráficos que mostram as diferentes variações de corrente e torque, para que antes de chegar ao seu valor nominal elas interrompem a alimentação, as figuras 49 e 50 apresentam os gráficos que demonstram a redução da variação de sobrecorrente e sobretorque.

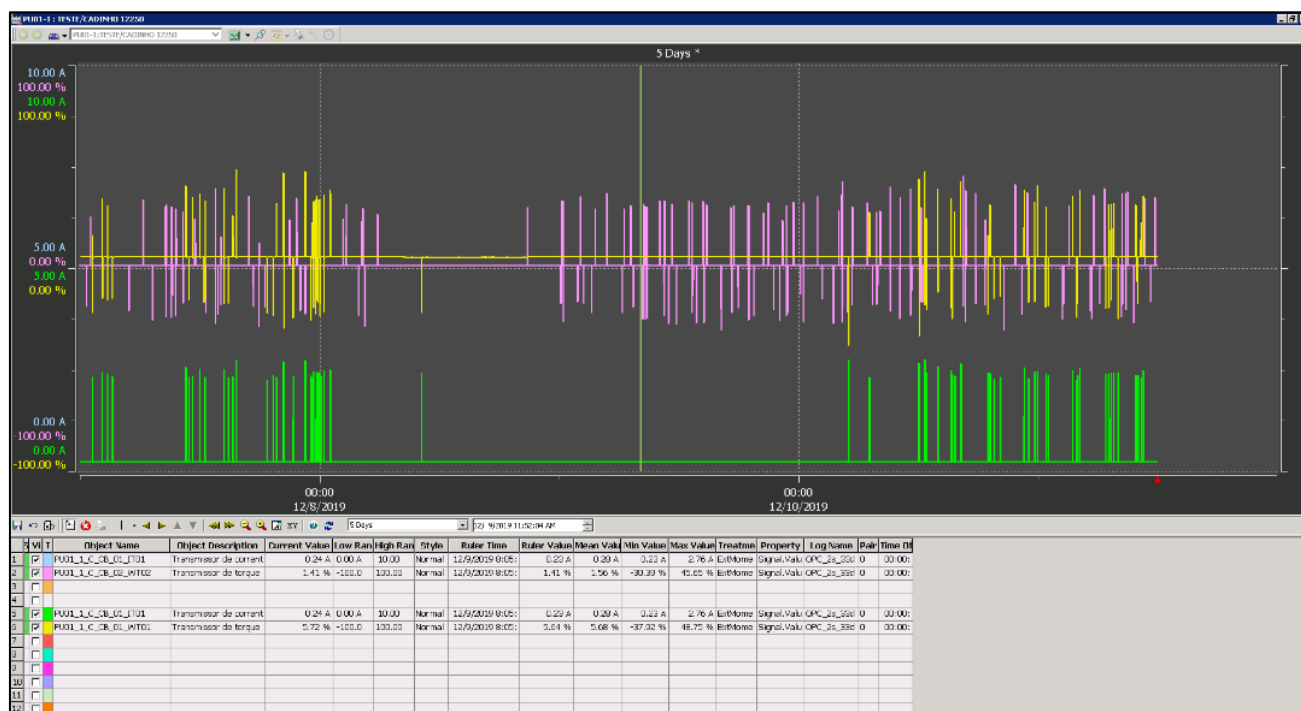


Figura 49 - Variações de corrente e torque antes da implementação do projeto (Fonte: Autor, 2020).

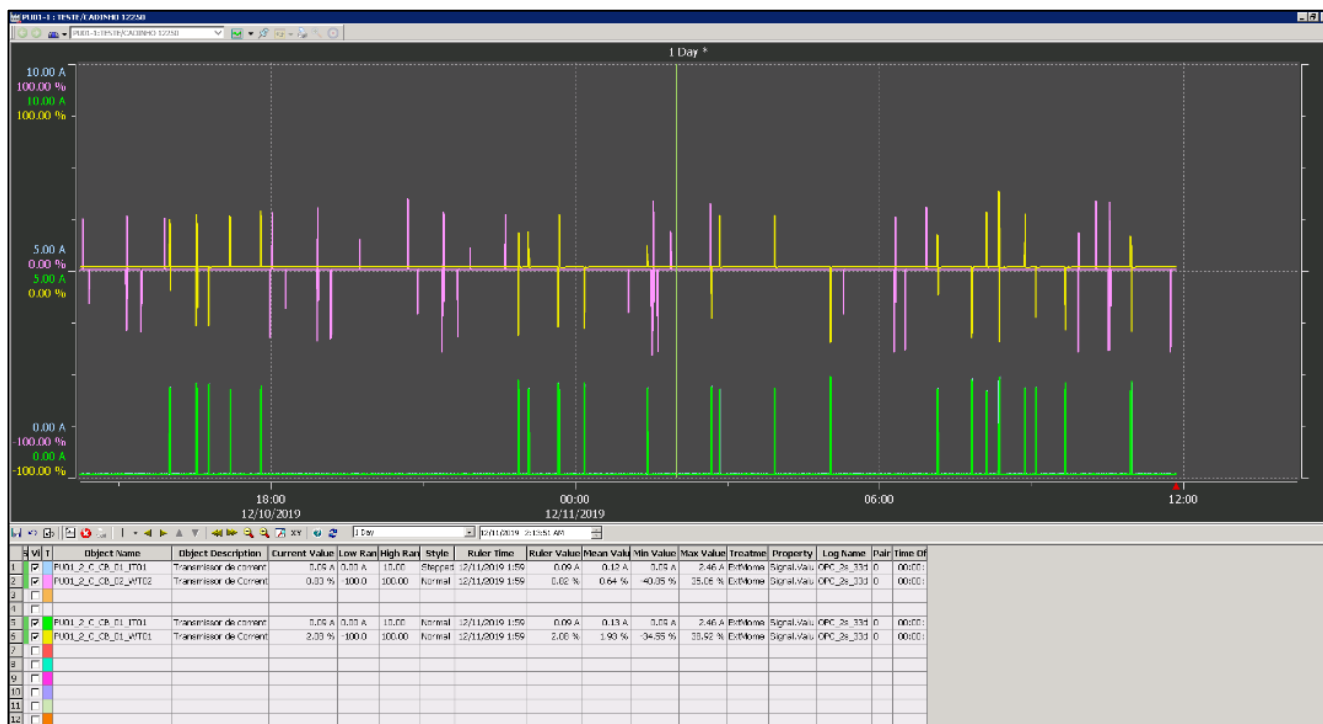


Figura 50 - Variações de corrente e torque após à implementação do projeto (Fonte: Autor, 2020)

6. CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou entender que com o aumento da produtividade e a necessidade de se tornarem cada vez mais competitivos no mercado de trabalho as indústrias siderúrgicas visando a modernização dos seus processos e redução de custo, implementaram em suas linhas de produção equipamentos e tecnologias para esse fim.

Para se definir uma compreensão desta realidade de modernização dos processos industriais, foram definidos dois objetivos, o primeiro, identificar qual ponto mais crítico era necessário o uso da melhoria descrita no trabalho proposto, no caso o sistema de movimentação da bica basculante dos altos fornos. E o segundo foi efetuar os devidos estudos e cálculos que seriam aplicados no projeto de melhoria no sistema de movimentação das bicas basculantes dos altos fornos.

Portanto, após, os estudos realizados e a utilização dos inversores e CLP instalados no novo sistema de movimentação das bicas basculantes dos altos fornos, concluímos que o projeto foi de grande eficácia, tornando o controle do sistema de movimentação das bicas basculantes mais precisos e seguros.

Além de toda otimização feita no projeto, o impacto ocasionado na parte de custos da empresa em relação à compra de componentes, foi reduzido consideravelmente como mostramos na parte de resultados do presente projeto apresentado, vemos a diminuição considerável da corrente e torque, e conseqüentemente a diminuição de troca dos componentes, vemos essa comprovação nos gráficos apresentados acima, pois, antes da modernização, o valor gasto com a troca dos componentes era bem elevados por conta da falta de controle da corrente e torque, pois, os componentes que mais sofriam avarias eram os eixos e os motores, por conta do excesso de toque e corrente que não era controlado, eram trocados de duas a três vezes ao mês, e após a implantação do novo sistema de movimentação destas bicas basculantes.

Até a presente data ainda não obtivemos a quebra total ou avaria dos componentes do novo sistema de movimentação das bicas basculantes, comprovando a redução dos valores gastos, melhorando a operação das mesmas e facilitando a manutenção e tornando a operação mais segura para o operador.

Em melhorias futuras, pretendemos aplicar este e outros projetos de otimização e/ou modernização em outros setores da empresa de modo a torna os equipamentos atualizados de acordo com as novas tecnologias, fazendo com que a manutenção dos mesmos se tornem mais fáceis, reduzindo os gastos os e deixando os equipamentos mais seguros.

7. REFERÊNCIAS

ABB. ACS550: Manual do utilizador: **Programa primário de controlo do ACS880**. Estados Unidos, 2010.

ABB. Manual de firmware: **Programa primário de controlo do ACS880**. Estados Unidos, 2011.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. AMGH Editora, 2013.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. Saraiva Educação SA, 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. Vol. 3**. Grupo Gen-LTC, 2000.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. Grupo Gen-LTC, 2000.

OLIVEIRA, L. M.; SOUZA, R. D. **Retrofit de um medidor de espessura da CSN**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Volta Redonda, 2015.

PARANÁ EQUIPAMENTOS – **Empresa de Equipamentos industriais. Motores Elétricos**. Disponível em: < <http://www.paranaequip.com.br/manutencao-motores-eletricos> >. Acesso em 14 de nov. de 2020.

PROCEL INDÚSTRIA. **Instrumentação e Controle: Guia básico**. Edição seriada. 142 p. Brasília, DF, 2009.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação industrial, 9ª Edição**. Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. Érica, 2004.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2005.

THYSSENKRUPP. **Manual Técnico: Casa de corrida Bica Basculante**. Florianópolis, 2008.

WEG S.A. Seleção de Motores Elétricos: **Guia de Especificação. Ecatalog**. Disponível em: < http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp >. Acesso em 14 de nov. de 2020.

Informativo Técnico nº 1 – Siemens – **Dispositivos de comando e proteção em baixa tensão**

Catálogos Técnicos Siemens – **Métodos de partida de motores elétricos**