

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

MARIANA NOGUEIRA BRUM PANDELÓ

**RETROFIT DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE
REVESTIMENTO DE ZINCO DA LINHA DE ZINCAGEM CONTÍNUA 2 -
CSN**

VOLTA REDONDA

2017

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

**RETROFIT DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE
REVESTIMENTO DE ZINCO DA LINHA DE ZINCAGEM CONTÍNUA 2 -
CSN**

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

Aluno: Mariana Nogueira Brum Pandeló

Professor Orientador:

M.Sc. Cláudio Márcio de Freitas da Silva

Professor Coorientador:

Eng. Aloano Régio Almeida Pereira

VOLTA REDONDA

2017



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Elétrica

Acadêmico: Matrícula: Mariana Nogueira Brum Pandeló 201310095

Título do TCC: Retrofit do Sistema de Automação do Processo de Revestimento de Zinco da Linha de Zincagem Contínua 2 - CSN

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em 04 de Novembro de 2017

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

Cláudio Márcio de Freitas da Silva, Mestre, UniFOA

Professor Avaliador

Edson de Paula Carvalho, Mestre, UniFOA

Professor Avaliador

Bruno Moreira da Silva, Especialista, UniFOA

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à toda minha família, em especial aos meus pais, Nilson e Luciana, por todo amor, apoio e incentivo que me deram e, principalmente, por estarem ao meu lado em todos os momentos difíceis. Agradeço a todos os mestres, que tive o prazer de conhecer durante essa caminhada, pela imensa contribuição na minha formação acadêmica e moral. Agradeço aos meus orientadores acadêmicos que me ajudaram com sua sabedoria na construção deste trabalho, Aloano Régio e Cláudio Márcio, assim como meus orientadores da CSN José Américo e Wagner Viana, entre outros que de alguma forma contribuíram para a conclusão do mesmo. Agradeço, também, a todos os amigos que fiz durante esta longa jornada, assim como aos que já possuía, por permanecerem ao meu lado em tempos difíceis.

RESUMO

A obsolescência de equipamentos e processos vem se tornando um problema na indústria nos tempos atuais. O conceito de retrofit relaciona-se ao processo de modernização de equipamento com tecnologia ultrapassada. O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo apresentar as vantagens de se fazer um retrofit no sistema de controle de um equipamento de uma linha de processo industrial. Apresentar-se-ão os conceitos necessários para realizar a troca de um PLC Simatic S5 pelo PLC Simatic S7, assim como quaisquer outras trocas necessárias para tornar o controle do processo estudado confiável. O processo estudado será o de revestimento de zinco em chapa de aço, localizado na Linha de Zincagem Contínua 2 da CSN. Ao final, diante dos conceitos discutidos, será realizada uma avaliação de custo x benefício a fim de concretizar a viabilidade econômica de um retrofit.

Palavras-chave: PLC; retrofit; revestimento de zinco; Linha de Zincagem Contínua.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1. Justificativa | 17 |
| 1.2. Objetivos..... | 18 |
| 1.2.1. Objetivo Geral | 18 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos..... | 18 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 19 |
| 2.1. Processo de Zincagem..... | 19 |
| 2.2. Linha de Zincagem Contínua 2..... | 20 |
| 2.2.1. Seção de Entrada | 21 |
| 2.2.2. Seção de Processo..... | 24 |
| 2.2.3. Seção de Saída | 28 |
| 2.3. Processo de Revestimento de Zinco | 30 |
| 2.3.1. Pote de Zinco..... | 31 |
| 2.3.1.1. Sink Roll | 32 |
| 2.3.1.2. Raspador..... | 34 |
| 2.3.1.3. Rolo Corretor..... | 34 |
| 2.3.1.4. Rolo Estabilizador..... | 35 |
| 2.3.2. Navalhas de Ar | 35 |
| 2.3.2.1. Ajuste de Distância das Navalhas de Ar..... | 37 |
| 2.3.2.2. Ajuste de Ângulo das Navalhas de Ar | 38 |
| 2.3.2.3. Controle de Revestimento de Borda – Baffles..... | 39 |
| 2.3.2.4. Abertura Rápida das Navalhas de Ar | 40 |
| 2.3.2.5. Posicionamento Vertical da Estrutura das Navalhas – Skew | 41 |
| 2.3.2.6. Posicionamento Horizontal da Estrutura das Navalhas - Scan | 42 |
| 2.3.2.7. Dispositivo de Elevação da Estrutura das Navalhas de Ar..... | 42 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.3.2.8. | Controle de Abastecimento de Ar..... | 44 |
| 2.3.2.9. | Sistema de Rastreamento de Solda..... | 45 |
| 2.4. | Conceitos Técnicos | 46 |
| 2.4.1. | Controlador Lógico Programável | 46 |
| 2.4.1.1. | Simatic S5 | 50 |
| 2.4.1.2. | Simatic S7 | 53 |
| 2.4.2. | Fluxograma | 58 |
| 2.4.3. | Motor de Indução Trifásico CA..... | 64 |
| 2.4.4. | Motor de Passo..... | 65 |
| 2.4.5. | Servo Motor | 65 |
| 2.4.6. | Inversor de Frequência | 67 |
| 2.4.7. | Soft Starter..... | 69 |
| 2.4.8. | Potenciômetro..... | 70 |
| 2.4.9. | Encoder Absoluto..... | 71 |
| 2.4.10. | Válvulas Controladoras..... | 72 |
| 2.4.11. | Transmissor de pressão..... | 74 |
| 3. | TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O RETROFIT..... | 76 |
| 3.1. | Sistema de Distância das Navalhas | 76 |
| 3.2. | Encoders | 79 |
| 3.3. | Sistema Supervisório..... | 80 |
| 3.4. | Troca do PLC | 83 |
| 3.5. | Transposição da Lógica de Programação | 85 |
| 3.5.1. | Sink Roll..... | 86 |
| 3.5.2. | Rolo Corretor | 87 |
| 3.5.3. | Rolo Estabilizador | 87 |
| 3.5.4. | Raspador | 88 |
| 3.5.5. | Altura das Navalhas..... | 88 |
| 3.5.6. | Distância das Navalhas..... | 90 |
| 3.5.7. | Ângulo das Navalhas | 90 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.8. Abertura Rápida..... | 90 |
| 3.5.9. Baffles..... | 91 |
| 3.5.10. Skew..... | 91 |
| 3.5.11. Scan..... | 92 |
| 3.5.12. Ajuste de Pressão..... | 92 |
| 4. AVALIAÇÃO “CUSTO X BENEFÍCIO” DO RETROFIT | 94 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 100 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 102 |
| 7. ANEXOS..... | 104 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Comparação entre motores..... | 66 |
| Tabela 2 - Retrofit do Sistema de Distância das Navalhas..... | 78 |
| Tabela 3 - Lista de materiais utilizados pelo S5. | 83 |
| Tabela 4 – Lista de materiais do S7. | 84 |
| Tabela 5 – Tempo de operação do processo. | 94 |
| Tabela 6 - Paradas da navalha. | 95 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Painel elétrico composto por relés. | 15 |
| Figura 2 - Equipe criadora do PLC Modicon 084..... | 16 |
| Figura 3 - Estimativa de vida útil de aços zincados em diferentes atmosferas..... | 19 |
| Figura 4 - Layout de uma LZC..... | 20 |
| Figura 5 - Rolo tensor..... | 21 |
| Figura 6 - Desenroladeira 1..... | 22 |
| Figura 7 - Máquina de Solda. | 23 |
| Figura 8 - Discos da máquina de solda; (a) ilustração; (b) imagem real. | 24 |
| Figura 9 - Loop car de entrada. | 25 |
| Figura 10 – Rolo guia do loop car de entrada. | 26 |
| Figura 11 - Processo de remoção do excesso de zinco através da Navalha de Ar...27 | |
| Figura 12 - Característica de uma chapa zincada. | 27 |
| Figura 13 - Medidor de espessura..... | 28 |
| Figura 14 - Laminador. | 29 |
| Figura 15 - Bobinas de aço zincado. | 29 |
| Figura 16 - Feedback do sink roll e navalha de ar..... | 31 |
| Figura 17 - Pote de Zinco e Navalha de Ar. | 32 |
| Figura 18 - Sink roll. | 33 |
| Figura 19 - Estrutura das navalhas de ar. | 36 |
| Figura 20 - Navalha de Ar. | 36 |
| Figura 21 - Movimentos de scan e skew. | 37 |
| Figura 22 - Ordem de processamento de um PLC..... | 48 |
| Figura 23 - Exemplo de programação em ladder. | 49 |
| Figura 24 - Exemplo de programação em blocos..... | 49 |
| Figura 25 - Exemplo de programação em lista de instruções..... | 50 |
| Figura 26 - Ilustração de uma programação em blocos no Step5. | 51 |
| Figura 27 - Terminal de programação. | 52 |
| Figura 28 - PLC Simatic Step 5 usado atualmente..... | 53 |
| Figura 29 - A estrutura de um hardware do S7 300. | 54 |
| Figura 30 - Esquema básico de controle do PLC. | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 31 - Interface do programa step 7. | 56 |
| Figura 32 - Tipos de dados..... | 57 |
| Figura 33 - Fluxograma para retorno de MP. | 59 |
| Figura 34 - Fluxograma para retorno de MP. | 60 |
| Figura 35 - Fluxograma para retorno de MP. | 61 |
| Figura 36 - Fluxograma para retorno de MP. | 62 |
| Figura 37 - Fluxograma para processamento de bobina..... | 63 |
| Figura 38 - Partes de um MIT..... | 64 |
| Figura 39 - Relação entre largura de pulso PWM e ângulo de um servo motor..... | 66 |
| Figura 40 - Diagrama básico de um inversor de frequência..... | 68 |
| Figura 41 - Inversor de frequência SIMOVERT P. | 69 |
| Figura 42 - Tipos de partidas de motores..... | 70 |
| Figura 43 - Encoder absoluto. | 72 |
| Figura 44 - Válvula borboleta. | 73 |
| Figura 45 - Transmissor de pressão..... | 74 |
| Figura 46 – Drive WD5-008..... | 77 |
| Figura 47 - Diagrama de controle do drive. | 77 |
| Figura 48 - Tela de supervisor para o revestimento de zinco antiga. | 81 |
| Figura 49 - Tela de supervisor para o revestimento de zinco nova. | 82 |
| Figura 50 - Ligação elétrica do MIT para a altura das navalhas..... | 89 |
| Figura 51 - Representação do overcoating em uma chapa de aço zincada..... | 97 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1 - Layout da LZC 2..... | 104 |
| Anexo 2 - Layout da mesa de operação do Pote de Zinco e Navalha de Ar. | 105 |
| Anexo 3 - Descontinuidade da família S5 pela Siemens. | 106 |
| Anexo 4 - Folha de dados do encoder 842A-31GB..... | 107 |
| Anexo 5 - Folha de dados da CPU 317-2 PN/DP..... | 108 |
| Anexo 6 - Folha de dados do cartão para leitura de posição do encoder..... | 109 |

LISTA DE SIGLAS

CPU – Central Processing Unit.
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional.
DB – Bloco de Dados.
FB – Bloco de Função.
FC – Função.
FOEN – Fontaine Engineering und Maschinen GMBH.
I/O – Input and Output.
IHM – Interface Homem Máquina.
LZC – Linha de Zincagem Contínua.
MIT – Motor de Indução Trifásico.
MTBF – Mean Time Between Failures.
MTTR – Mean Time To Repair.
NEMA – National Electrical Manufacturers Association.
OB – Bloco de Organização.
PB – Bloco de Programa.
PLC – Programmable Logic Controller.
PG – Programmierungs Geräte.
PWM – Pulse Width Modulation.
S5 – Step 5.
S7 – Step 7.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização começou a partir de 1770 com a construção de máquinas simples, mas apenas no século XIX é que surgiram os mecanismos automáticos e as linhas de produção em massa.

As linhas de produção utilizavam dispositivos eletromecânicos, em torno da década de 50, para a realização do controle lógico. Estes dispositivos, em geral relés, possuíam uma real importância na indústria automobilística, onde a complexidade dos processos produtivos exigia instalações de painéis com um número elevado de dispositivos eletromecânicos e interconexões, além das cabines de controle com inúmeras botoeiras. Além do grande espaço ocupado, esses painéis necessitavam de proteção contra umidade, gases inflamáveis, oxidação, poeira, sobretemperatura, entre outras.

Apesar de funcional, esse sistema de controle apresentava problemas práticos relevantes. Pois com esta quantidade de elementos, a ocorrência de uma falha significava inúmeras horas ou até mesmo dias de trabalho para a pesquisa e correção da mesma. (SILVEIRA e SANTOS, 1999)

Além das dificuldades mencionadas acima, o controle através de interconexões elétricas tornava a lógica fixa, sendo assim, eventuais alterações interrompiam o processo produtivo.

A Figura 1 representa uma pequena parcela da dimensão dos painéis utilizados na época.

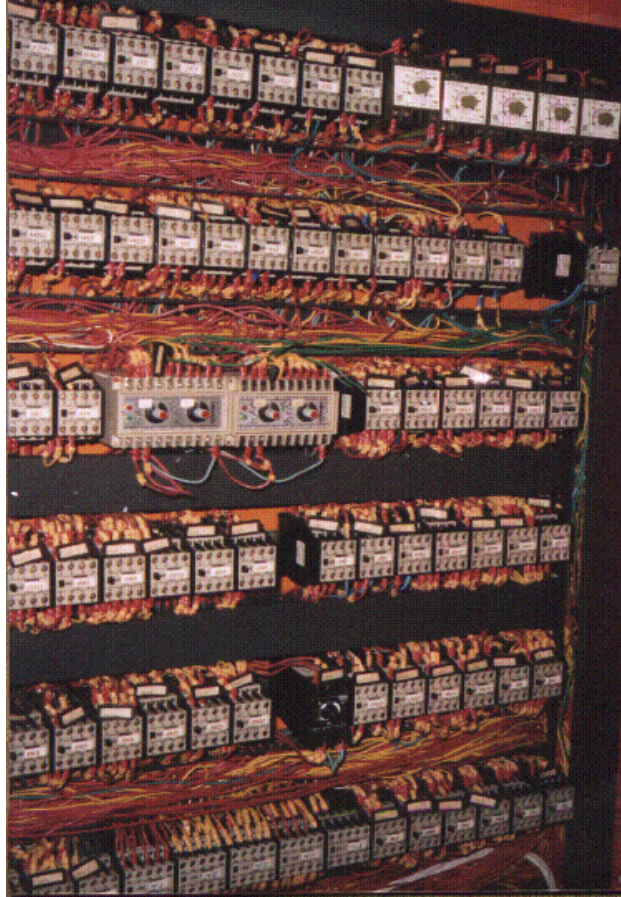


Figura 1 - Painel elétrico composto por relés.

Fonte: CSN.

As fronteiras se abriram às tecnologias para a automação industrial com o surgimento de componentes eletrônicos integrados. Sendo assim, em 1968 foi realizada a primeira experiência com programação por software, através da parceria entre a General Motors Corporation e a Modicon: um minicomputador capaz de realizar operações de entrada e saída através de sua capacidade de programação, o qual recebeu melhorias com os microprocessadores nos anos 70, chamado de PLC Modicon 084, representado na Figura 2.



Figura 2 - Equipe criadora do PLC Modicon 084.

Fonte: PLC e Scada, 2016.

No Brasil, foi apenas na década de 80 que o PLC se proliferou na indústria, através da absorção de tecnologias utilizadas em matrizes de multinacionais.

O PLC, segundo define a norma NEMA, é um equipamento eletrônico digital que armazena instruções através de uma memória programável e, através de módulos de entradas e saídas, controla vários tipos de máquinas ou processos. (SILVEIRA e SANTOS, 1999)

No mundo globalizado, buscam-se cada vez mais vantagens para o destaque no cenário nacional e internacional. Sendo o investimento em inovação da tecnologia a chave para conseguir a transformação necessária, buscando a otimização de processos para garantir qualidade e menor custo.

Para alcançar tal eficiência, uma das ações a ser tomada está na atualização de sistemas elétricos de equipamentos considerados defasados, sem a necessidade de alto investimento, processo chamado de retrofit.

Apresentar-se-á, neste trabalho de conclusão de curso, um estudo teórico do retrofit do sistema de automação do processo de revestimento de zinco, localizado na Linha de Zincagem Contínua 2 da CSN, sigla para Companhia Siderúrgica Nacional. Esse processo é essencial para proporcionar a camada ideal de revestimento de zinco à chapa de aço, garantindo a qualidade e integridade da mesma.

Atualmente o controle lógico deste processo é realizado pelo PLC Simatic S5 do fabricante Siemens, instalado no startup da linha em 1989. Trata-se de um equipamento com tecnologia defasada em relação às disponíveis atualmente, assim como outros equipamentos auxiliares deste sistema, como, por exemplo, drives, motores e potenciômetros.

No passado, para seguir a crescente necessidade de evolução tecnológica, houve a necessidade da troca dos componentes eletromecânicos pelos microcomputadores, considerados a melhor tecnologia da época. Atualmente, também para seguir a evolução tecnológica, há a necessidade da troca do sistema de controle atual do processo de revestimento de zinco.

1.1. Justificativa

Ao utilizar-se um PLC de tecnologia defasada encontram-se problemas que possuem impactos significativos na linha de produção, como por exemplo, a falta de sobressalentes e de conhecimento técnico do mesmo.

Recentemente a Siemens emitiu um comunicado, situado no Anexo 3, informando que continuará fornecendo sobressalentes para os PLC's da linha S5 somente até 2020, o que torna cada vez mais difícil mantê-lo em funcionamento. Além de, atualmente, existirem poucos profissionais familiarizados com as particularidades e interface do S5, dificultando significativamente sua manutenção.

Outros equipamentos que compõem o processo de revestimento de zinco também foram descontinuados, tornando-se necessária a troca dos mesmos. E outros podem ser substituídos por equipamentos com um melhor desempenho.

O retrofit deste processo trará uma melhora significativa às atividades da equipe de manutenção e ao próprio desempenho do processo, trazendo uma relação “custo x benefício” que irá satisfazer a empresa, gerando economia e melhoria na qualidade do produto final.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar-se-á o estudo teórico da troca do PLC Simatic S5 por seu predecessor S7, assim como de outros equipamentos utilizados, que foram descontinuados por seus fabricantes ou que possam ser substituídos por outros com tecnologia atual, facilitando a manutenção e melhorando o desempenho do equipamento.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudo teórico do processo, lógicas e intertravamentos;
- Avaliação da lógica de programação inicial;
- Adequação da lógica de programação dos comandos básicos para o Simatic S7;
- Descrição e especificação dos equipamentos necessários para o novo sistema de controle;
- Inserção de informações e comandos no supervisório existente na linha;
- Avaliação “custo x benefício” do retrofit.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Processo de Zincagem

O processo de corrosão dos materiais acontece através de reações eletroquímicas na presença de oxigênio, umidade, dióxido de carbono, ambientes salinos, entre outros.

Combinando-se o zinco com o ferro, é possível prevenir a corrosão do ferro, uma vez que o zinco age como uma barreira protetora do ferro evitando a entrada de agentes corrosivos. Esse processo garante uma maior durabilidade à chapa, já que a corrosão do zinco é de cerca de 10 a 50 vezes menor que a do aço em áreas industriais e rurais, e de 50 a 350 vezes em áreas marinhas. (FREIRE)

O zinco adere à superfície do aço através da formação de uma camada de liga Fe-Zn, onde a camada de zinco pura, a ser depositada na chapa, corresponde à agressividade do meio ao qual a chapa será submetida.

No gráfico da Figura 3 está representada a vida útil em anos do aço zincado, em diferentes atmosferas, em relação à camada de zinco dada à chapa de aço.

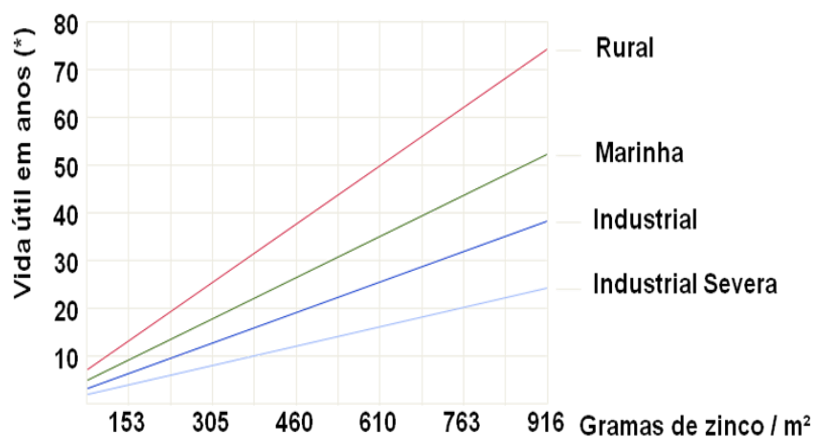


Figura 3 - Estimativa de vida útil de aços zincados em diferentes atmosferas.

Fonte: CSN.

2.2. Linha de Zincagem Contínua 2

A Linha de Zincagem Contínua 2 foi instalada em 1989 na CSN, projetada para produzir, de forma contínua, bobina, de aço baixo carbono laminado a frio, zincada por imersão. Pode ser operada a uma velocidade máxima de 122m/min e possui uma capacidade de produção de 280.00t/ano, de acordo com manual Laminados Planos Zincados da CSN.

A LZC 2 foi projetada para processar chapas com largura de 610 a 1524mm e espessura de 0,4 a 3mm, as quais estão mudando de acordo com as necessidades de produção.

A Figura 4 representa um esquema básico de uma LZC, mostrando alguns dos equipamentos da mesma. Para uma visualização mais completa da linha, ver o Anexo 1.

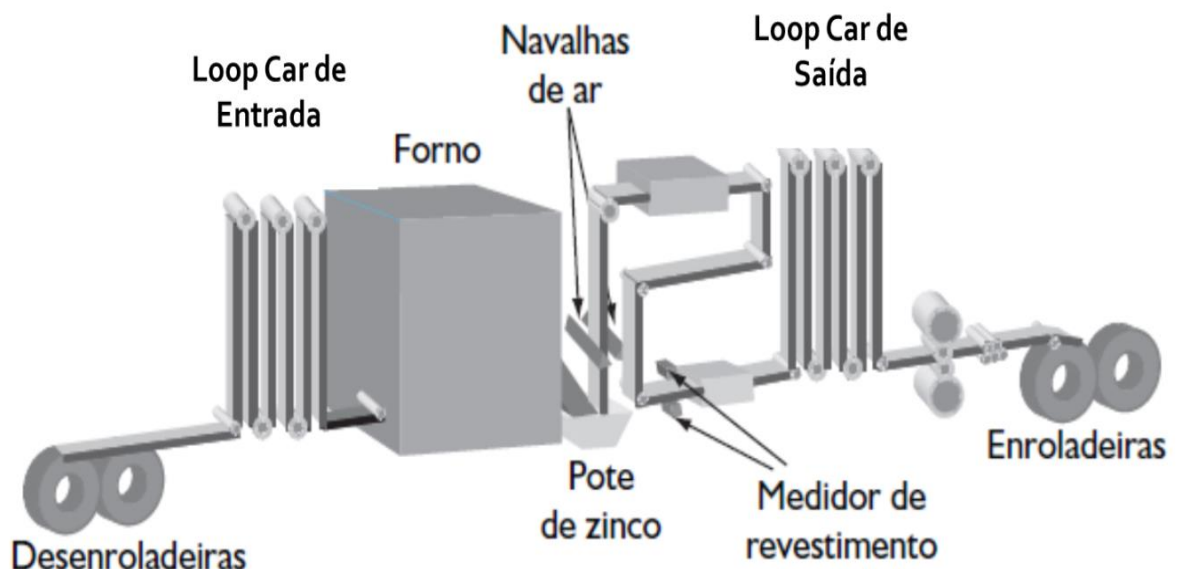


Figura 4 - Layout de uma LZC.

Fonte: CSN.

A LZC é separada em três seções, de acordo com suas funções, sendo elas: a seção de entrada, de processo e de saída. Para que a chapa consiga se movimentar entre elas, utiliza-se um sistema de rolos motorizados.

Esses rolos podem ser rolos tensores, como os da Figura 5, os quais possuem a função de manter a tensão da chapa evitando acúmulos em locais indesejados. E podem, também, possuir um diâmetro menor, a fim de guiar a chapa pelo processo.

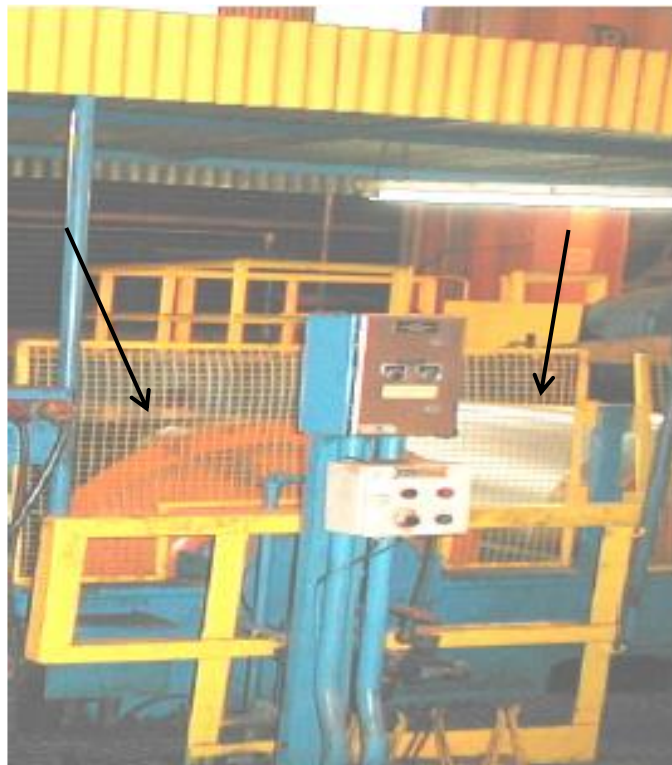


Figura 5 - Rolo tensor.

Fonte: CSN, 2005.

2.2.1. Seção de Entrada

A seção de entrada é responsável por abastecer a linha de processo com bobinas de aço laminado a frio. Onde, a bobina é inserida na desenroladeira 1 ou 2,

como se pode ver na Figura 6, conforme seu diâmetro, e encaminhada aos outros equipamentos da seção de entrada.



Figura 6 - Desenroladeira 1.

Fonte: CSN, 2005.

O processo anterior à LZC, a Laminação a Frio, deixa a chapa com diferenças de espessura em suas extremidades, ponta e cauda. Portanto existem tesouras, uma para cada desenroladeira, cuja função é de realizar o descarte dessa diferença até chegar ao ponto em que se inicia uma estabilidade na espessura.

Após o descarte, a chapa é direcionada à máquina de solda, representada na Figura 7. Sua função é de unir a cauda da chapa em processo com a ponta da chapa seguinte, tornando o processo contínuo.

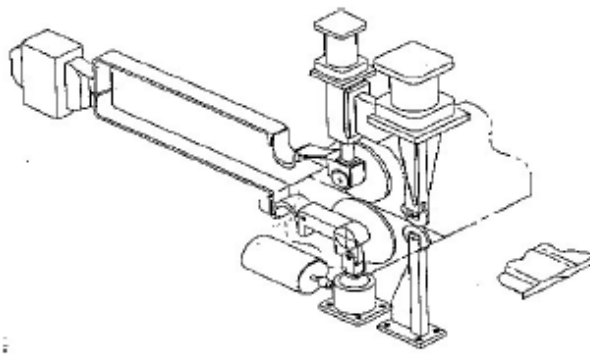


Figura 7 - Máquina de Solda.

Fonte: CSN, 2005.

A solda é realizada de forma automatizada, de acordo com a receita escolhida pelo operador. Relacionando os parâmetros de soldagem às especificações metalúrgicas e físicas dos materiais a serem soldados, como, por exemplo, a composição química e a espessura.

A máquina de solda utiliza-se de dois eletrodos em forma de disco, representados na Figura 8, os quais são pressionados contra as extremidades das chapas a serem soldadas. A partir disso, o controle da máquina faz circular uma corrente elétrica entre os discos, os quais percorrem toda a extensão de largura das chapas de aço, gerando calor suficiente para fundir e unir as mesmas.



(a)



(b)

Figura 8 - Discos da máquina de solda; (a) ilustração; (b) imagem real.

Fonte: CSN, 2005.

2.2.2. Seção de Processo

A seção de processo é responsável por acumular a chapa, permitindo paradas nas seções de entrada e saída, e por realizar o tratamento da mesma.

Para a realização da solda na seção de entrada, a mesma precisa parar, deixando de enviar chapa ao processo durante esse tempo. Entretanto, para que o processo permaneça operando de forma contínua, é necessário que continue recebendo chapa.

O loop car de entrada funciona como um acumulador de chapa, onde ao mesmo tempo em que recebe chapa da entrada, envia ao processo, de modo que continue cheio para que quando houver a necessidade de parada da entrada, haja chapa o suficiente para abastecer o processo.

Quando houver a necessidade da seção de entrada parar e o loop car abastecer o processo, ele se esvaziará de forma proporcional ao tempo de parada da entrada e à velocidade do processo. Para que o ciclo possa se repetir, na partida da seção de entrada a mesma irá rodar à uma velocidade maior que a da seção de

processo, durante o tempo necessário para abastecer o loop car de entrada novamente.

Para que a chapa fique acumulada, é necessário um caminho para a mesma percorrer, chamado de lance. O loop car possui dois lances, onde a chapa faz o caminho de ida e de volta, como se pode ver na Figura 9, a fim de acumular o máximo de chapa possível.



Figura 9 - Loop car de entrada.

Fonte: CSN, 2017.

Em cada lance, há um rolo, movido através de um carro, como se pode ver na Figura 10. O qual possui a finalidade de aumentar o caminho que a chapa percorre, fazendo com que o loop car se abasteça, ou diminui-lo, de modo a se esvaziar.



Figura 10 – Rolo guia do loop car de entrada.

Fonte: CSN, 2017.

O processo de preparação da chapa para receber o zinco se inicia através do forno de recozimento contínuo, onde são retiradas as impurezas superficiais da mesma. Além de promover um tratamento térmico para normalizar as propriedades mecânicas da chapa, as quais foram alteradas no processo anterior de laminação a frio.

Esse tratamento térmico é realizado em uma atmosfera de gás protetor para prevenir a oxidação superficial da chapa. O tempo que a chapa leva para percorrer o caminho do forno, assim como a temperatura do mesmo são de vital importância para que a chapa alcance as propriedades mecânicas exigidas. Portanto, cada material possui uma velocidade de processo diferente.

Depois de recozida, dá-se início ao processo de revestimento de zinco. Onde a chapa recebe uma camada de zinco no pote e um acabamento através das navalhas de ar, como se pode ver na Figura 11, deixando a mesma com a espessura de zinco pré-estabelecida pelo operador.

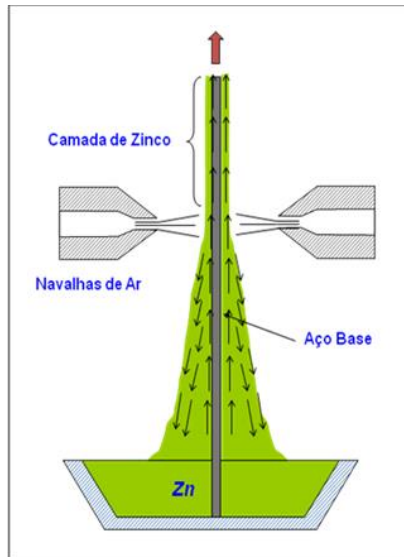


Figura 11 - Processo de remoção do excesso de zinco através da Navalha de Ar.

Fonte: CSN.

Para a solidificação dos cristais de zinco, a chapa passa por uma torre de resfriamento, ficando com a característica da Figura 12.

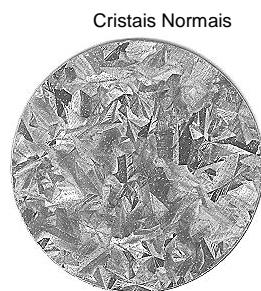


Figura 12 - Característica de uma chapa zincada.

Fonte: CSN.

Logo após a torre, está localizado o medidor de espessura, representado na Figura 13. O medidor possui a finalidade de enviar um feedback da espessura da

camada de zinco ao operador de processo. De modo com que o operador possua uma referência para realizar os ajustes das navalhas de ar.



Figura 13 - Medidor de espessura.

Fonte: CSN, 2005.

Para finalizar os processos de tratamento da chapa, a mesma passa pelo tanque de tratamento químico. Onde recebe uma camada de ácido crômico, cuja finalidade é melhorar a proteção da chapa contra a corrosão.

Em seguida é conduzida ao loop car de saída, cujo funcionamento é semelhante ao de entrada, diferindo apenas por trabalhar vazio e acumular chapa quando a seção de saída parar.

2.2.3. Seção de Saída

Na seção de saída a chapa chega já processada, e um conjunto de rolos promove um tensionamento a mais para a retirada dos defeitos superficiais da mesma, sendo eles: a desempenadeira e o laminador, representado na Figura 14.

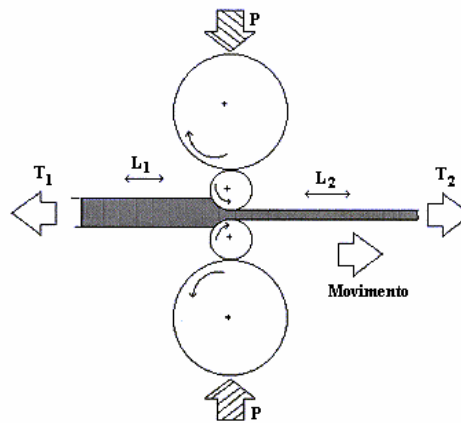


Figura 14 - Laminador.

Fonte: Damec.

Quando a solda chega à saída, a seção precisa parar para realizar o descarte da mesma e separar as chapas que foram unidas na seção de entrada, através de uma tesoura igual à de entrada. Sendo assim, a chapa volta ao formato de bobina, como se pode ver na Figura 15, através das enroladeiras, cujo funcionamento se assemelha às desenroladeiras.



Figura 15 - Bobinas de aço zincado.

Fonte: Damec.

2.3. Processo de Revestimento de Zinco

O processo de revestimento de zinco está concentrado no pote de zinco e nas navalhas de ar, onde a chapa recebe a camada de zinco no pote e o acabamento necessário nas navalhas.

As funções de ambos os equipamentos estão interligadas e se encontram no mesmo PLC. Portanto, para um melhor entendimento, serão detalhados o funcionamento ideal e acionamentos de todos os componentes de ambos os equipamentos, de modo a facilitar a transposição da lógica de programação.

As informações dos próximos itens foram retiradas do manual do fabricante dos mesmos, a FOEN, sigla para Fontaine Engineering und Maschinen GMBH.

Para uma melhor visualização da linha de processo, a mesma é dividida em lado de acionamento, onde ficam os motores e salas elétricas, e lado de operação, onde está localizada a equipe de operação da mesma. Os quais serão citados na descrição dos próximos itens.

Na Figura 16 estão representados, através de setas, alguns dos ajustes possíveis dos rolos e das navalhas.

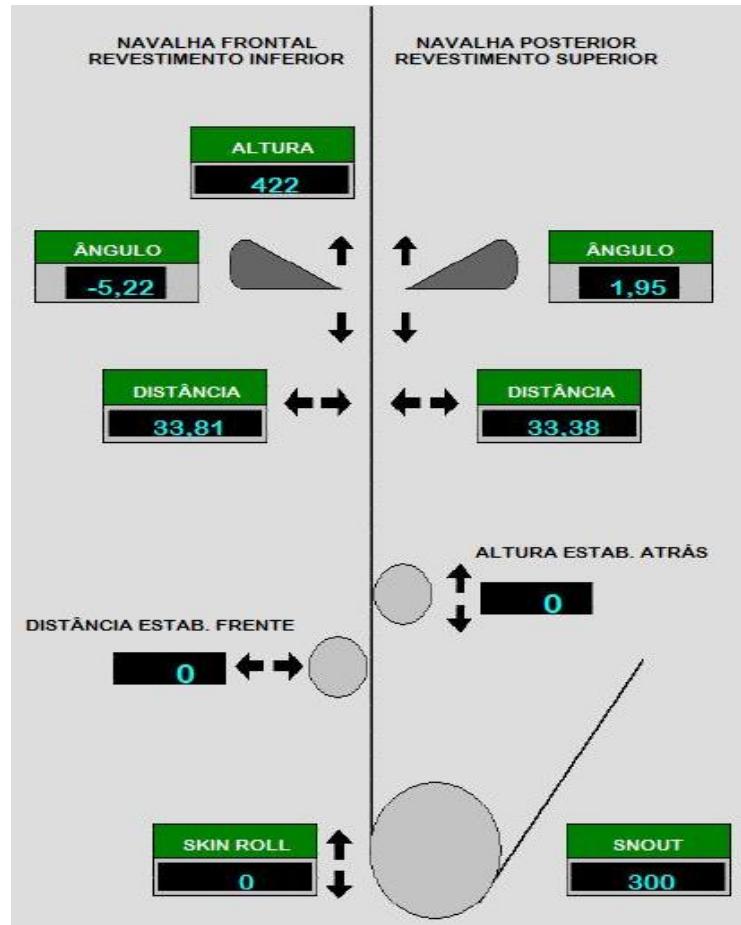


Figura 16 - Feedback do sink roll e navalha de ar.

Fonte: CSN, 2017.

2.3.1. Pote de Zinco

Como se pode ver na Figura 17, o pote de zinco é composto basicamente pelo sink roll, rolo corretor e rolo estabilizador, também chamado de sistema three roll. Esses rolos possuem a função de dar à chapa a estabilidade necessária para garantir um revestimento uniforme.

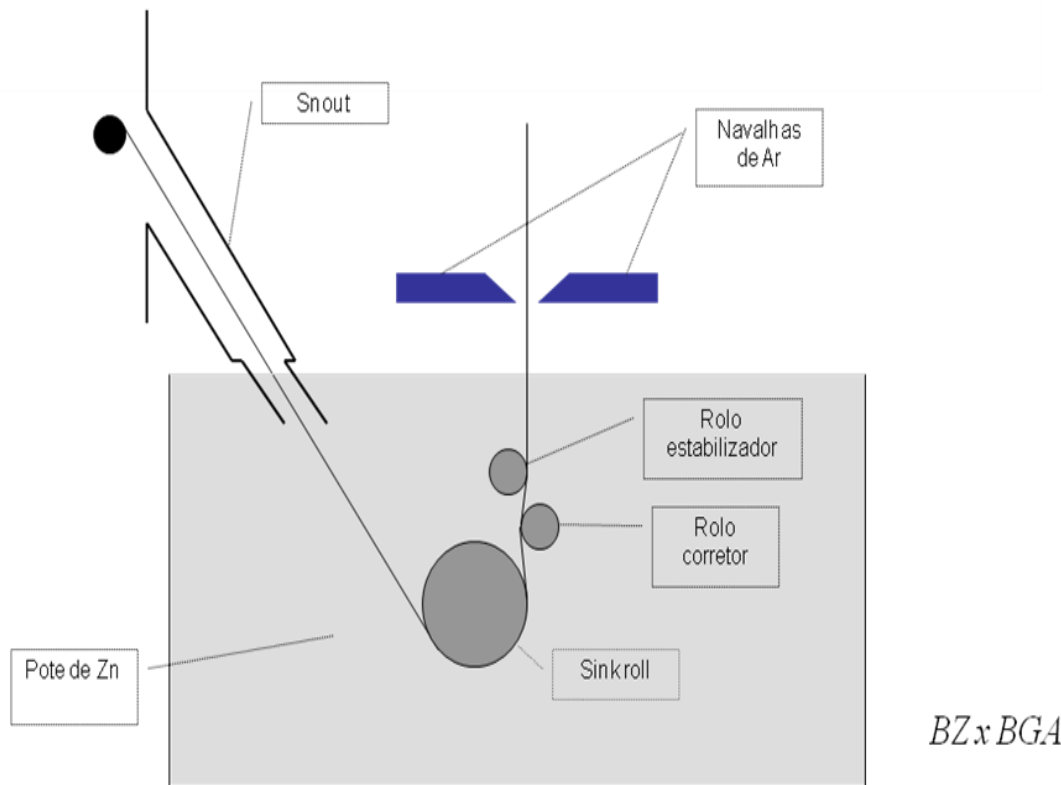


Figura 17 - Pote de Zinco e Navalha de Ar.

Fonte: CSN.

2.3.1.1. Sink Roll

O sink roll é um rolo não energizado, representado na Figura 18, e localizado dentro do pote de zinco. Para realizar a função de guiar a chapa pelo banho, em sua superfície há ranhuras com a função de ajudar a manter a chapa centralizada na linha de processo.



Figura 18 - Sink roll.

Fonte: CSN, 2005.

Seu ajuste horizontal deve ser realizado apenas na oficina de montagem, a fim de compensar o desgaste do rolo.

Seu ajuste vertical pode ser realizado na linha de processo, apenas no lado de operação, a fim de compensar o desgaste da parte inferior do mesmo. Esse ajuste é motorizado e acionado através dois botões, um para subir e outro para descer, localizados no painel de operação. Podendo se movimentar em até 52 mm para cima e 52 mm para baixo, em relação ao centro do pote.

Esses movimentos são realizados através de um motor de indução trifásico, de 0,55 KW, com o auxílio de contadores para mudar a direção de seu movimento. O feedback de posição é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω e visualizado em um display BCD, de sete segmentos, localizado no painel de operação.

2.3.1.2. Raspador

O raspador está localizado na estrutura do sink roll e possui a finalidade de limpar o acúmulo de zinco solidificado no mesmo.

Seu ajuste é realizado através do controle pneumático, acionado por um botão localizado no painel de operação. Ao acionar o botão uma vez, o raspador limpa a superfície do rolo, ao acionar novamente, o mesmo volta à posição inicial. Caso o operador não acione o botão novamente, o raspador retorna para a posição inicial após 30 segundos.

2.3.1.3. Rolo Corretor

O rolo corretor não é energizado e é usado para corrigir o canoamento da chapa, ou seja, a tendência que a chapa possui de ficar encurvada quando esticada demais. Ele fica localizado de frente para a chapa e possui a superfície suave, para que não haja interferência na camada de zinco.

O ajuste horizontal é realizado de acordo com o comportamento da chapa, podendo ser de aproximar ou afastar o rolo da chapa, através de dois botões no painel de operação. Esses movimentos são motorizados, através de um motor de indução trifásico de 0,55 KW, com o auxílio de contadores para mudar a direção de seu movimento.

Tendo como base a parede do pote, o rolo pode se aproximar da chapa a uma distância de até -212 mm e se afastar até +117 mm. O feedback de posição do mesmo é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω e pode ser visualizado em um display BCD, de sete segmentos, localizado no painel de operação.

2.3.1.4. Rolo Estabilizador

O rolo estabilizador não é energizado e possui a superfície lisa, de modo a guiar a chapa até as navalhas sem interferir na qualidade do revestimento. Seu ajuste horizontal só pode ser realizado na oficina, respeitando o desgaste do mesmo.

O ajuste vertical é motorizado, através de um motor de indução trifásico de 0,55 KW, com o auxílio de contadores para mudar a direção de seu movimento. Podendo ser realizado pelo operador durante o processo, a fim de remover o acúmulo de zinco no mesmo.

Os movimentos de subir e descer são realizados através de dois botões localizados no painel de operação. Podendo chegar a uma altura máxima de +167 mm e mínima de -2 mm, tendo como base o nível máximo do banho.

O feedback de posição é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω e mostrado em um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

2.3.2. Navalhas de Ar

As navalhas de ar são compostas por duas câmaras de ar que direcionam o fluxo, em alta pressão, por extremidade afiada, promovendo a remoção do excesso de zinco recém-agregado à chapa. De modo a obter uma camada de revestimento certa e uniforme, mantendo a superfície da chapa lisa durante toda a largura e comprimento da mesma.

A camada de revestimento pode variar entre 60 a 765 g/m³, dependendo do material processado, e a pressão de trabalho das navalhas pode variar entre 0,4 a 2,5 Kg/cm².

Na Figura 19 está uma representação da estrutura das navalhas, indicada através de uma seta.

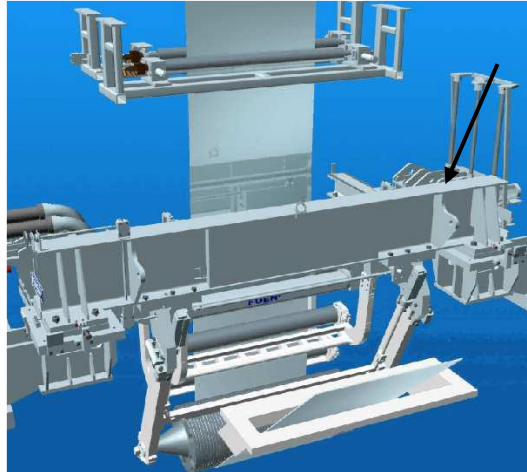


Figura 19 - Estrutura das navalhas de ar.

Fonte: Damec.

A Figura 20 possui a finalidade de uma representação real das navalhas da ArcelorMittal, também fabricada pela FOEN.

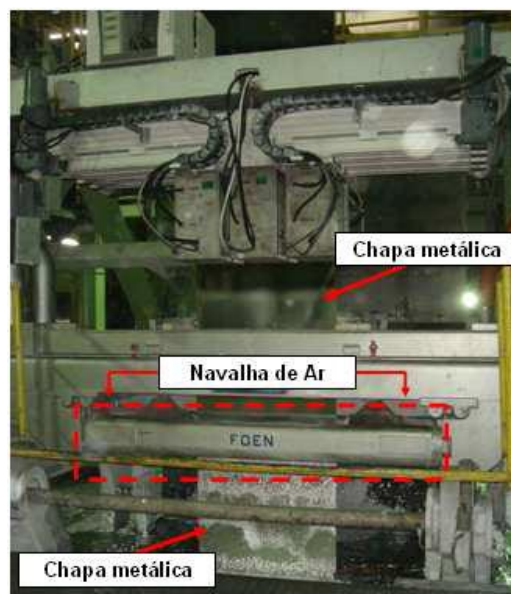


Figura 20 - Navalha de Ar.

Fonte: ArcelorMittal Vega, 2010.

Para garantir a qualidade desejada do produto final, as navalhas possuem os seguintes ajustes: distância das navalhas, altura da estrutura das navalhas e ângulo das navalhas, representados na Figura 16 do item 2.3; ajuste de scan, skew e baffles, representados na Figura 21.

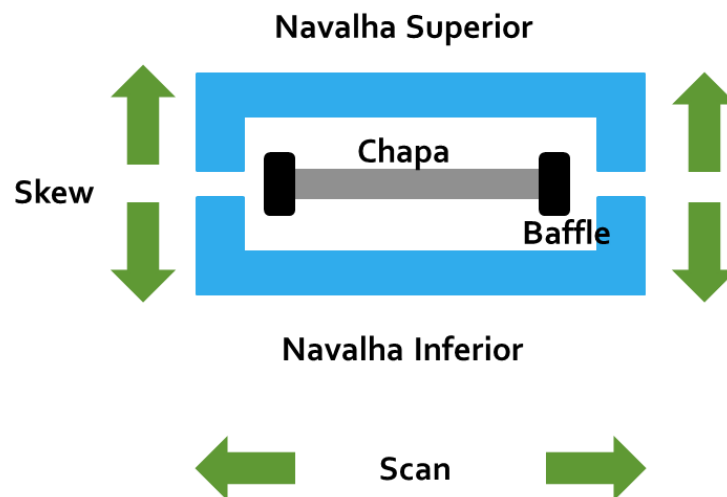


Figura 21 - Movimentos de scan e skew.

Fonte: Autor, 2017.

Esses ajustes estão descritos nos tópicos a seguir, assim como outras funções das navalhas.

2.3.2.1. Ajuste de Distância das Navalhas de Ar

O controle preciso de distância entre as navalhas e a chapa é importante para controlar a espessura do revestimento. A velocidade constante do processo faz com que a mesma quantidade de zinco se acumule na chapa antes das navalhas, sendo assim elas podem se afastar ou se aproximar da chapa quando o revestimento muda.

Esses movimentos são realizados através de um motor de passo para cada navalha, tornando possível diferentes distâncias para a navalha frontal e traseira, através dos seguintes acionamentos:

- RECUAR: a navalha se move para fora da chapa em velocidade lenta à uma distância de até 65,3 mm da chapa.
- AVANÇAR: a navalha se move para perto da chapa em velocidade lenta à uma distância de até 8,7 mm da chapa.
- RÁPIDO: somado a algum dos botões citados acima, o movimento é feito de forma rápida.

O feedback de posição das navalhas é realizado através de um encoder absoluto programável acoplado ao motor de cada navalha e pode ser visualizado em um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

Os controles de velocidade e direção de giro dos motores são realizados através do drive WD5-008, sendo um para cada motor.

2.3.2.2. Ajuste de Ângulo das Navalhas de Ar

As navalhas podem ser inclinadas em duas direções, fazendo um movimento a arco que pode chegar a uma inclinação de até 5°.

Esse ajuste é realizado manualmente através de uma manivela, com o feedback de posição realizado através de um encoder absoluto programável, acoplado ao eixo da mesma. Sua posição pode ser visualizada em um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

Para cada navalha existe um conjunto de manivela, encoder e display.

2.3.2.3. Controle de Revestimento de Borda – Baffles

Por conta das diversas larguras de chapa, a largura das navalhas acaba sendo maior. Sendo assim, durante o processo, o ar da navalha frontal e o da navalha traseira vão um contra o outro onde não há presença de chapa. Esse encontro dos ares frontal e traseiro causa turbulências na borda da chapa, o que, conseqüentemente, causa um excesso de revestimento na borda, efeito chamado de overcoating.

O sistema de controle de revestimento de borda é a simulação de uma chapa mais larga, que tampa completamente o espaço entre as navalhas, a fim de evitar o overcoating e diminuir o nível de turbulências na borda. É composto por dois rolos guia, chamados de baffles, que acompanham a borda da chapa, em contato direto com a mesma.

Os baffles são retraídos para longe da chapa automaticamente na passagem da solda, até atingir os limites mecânicos, para protegê-los quando a largura das chapas é diferente. Quando há uma sequência de bobinas com a mesma largura, a função de afastar os baffles automaticamente pode ser inibida pelo operador.

Para um funcionamento adequado deste sistema, é importante seguir os seguintes itens:

- Os baffles devem estar sempre alinhados à chapa;
- A altura dos baffles deve estar correta, de modo que o espaço entre as navalhas esteja coberto.
- Nenhum zinco deve aderir aos baffles, caso contrário, os mesmos devem ser limpos, para não interferir na qualidade do material.

O acionamento de abrir ou fechar também pode ser feito de modo manual, através de dois botões no painel de controle, separados para o rolo do lado de operação e para o do lado de acionamento.

Esses movimentos são realizados de forma pneumática, através da mudança de estado de uma válvula. Onde na presença de tensão possibilita a passagem de ar, fazendo com que o rolo avance, e na falta de tensão impede a passagem do mesmo, fazendo com que o rolo recue.

No acionamento de fechar os baffles, os mesmos só param de andar quando encostam na chapa. Portanto, esse movimento deve ser feito de forma leve e precisa.

2.3.2.4. Abertura Rápida das Navalhas de Ar

Este sistema possibilita abrir as navalhas rapidamente a fim de protegê-las contra danos, em caso de ruptura da chapa ou defeitos na chapa causados no processo. É operado por dois botões no painel de operação, um para afastá-las e outro para aproximá-las à distância que estavam anteriormente.

Esse sistema é acionado de forma pneumática e quando acionado, são realizadas as seguintes ações:

- Ao abrir, as navalhas se retraem para longe da chapa até o limite final do sistema pneumático
- Ao fechar, as navalhas se aproximam para perto da chapa a uma distância de 65,3 mm, onde será realizado o ajuste fino através do controle de distância das navalhas.
- Os baffles se retraem para longe da chapa.

Em caso de falta de alimentação ou parada de linha, por qualquer motivo, esse sistema será ligado automaticamente.

2.3.2.5. Posicionamento Vertical da Estrutura das Navalhas – Skew

O movimento do skew permite que a estrutura das navalhas se reposicione em relação à chapa. Usado quando há diferentes desgastes nos rolos do banho, quando a chapa deixa o centro da linha de processo ou quando não se pode garantir o paralelismo entre a chapa e a navalha.

Essa correção é feita verticalmente, para dentro da linha de processo e para fora, podendo ser realizado no lado de acionamento e no de operação. Esses movimentos são motorizados, através de um motor de indução trifásico de 0,37 KW para cada lado.

O feedback de posição da estrutura das navalhas é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω para cada motor, podendo ser visualizado em um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

O ajuste pode ser realizando para os dois motores ao mesmo tempo ou um por vez, utilizando o seguinte conjunto de comandos, sendo um para cada motor:

- PARA DENTRO: Aproxima o lado desejado da estrutura à linha de processo, com velocidade lenta, a uma distância de até -65 mm em relação ao centro da mesma.
- PARA FORA: Afasta o lado desejado da estrutura da linha de processo, com velocidade lenta, a uma distância de até +65 mm em relação ao centro da mesma.
- RÁIDO: Combinado a um dos outros dois acionamentos faz com que o movimento seja de forma rápida.

O controle dos motores do skew é realizado através de dois inversores de frequência Simovert P, um para cada motor, a fim de controlar a partida, direção e velocidade de giro dos mesmos.

2.3.2.6. Posicionamento Horizontal da Estrutura das Navalhas - Scan

O movimento do scan faz a correção horizontal da estrutura das navalhas em relação à chapa, seguindo o movimento da mesma para que permaneça sempre entre as navalhas.

Os movimentos são motorizados através de um motor de indução trifásico de 0,37 KW, podendo ir para o lado de operação ou de acionamento, realizado através dos seguintes acionamentos:

- **LADO DE OPERAÇÃO:** Movimenta a estrutura em direção ao lado de operação em até -95 mm, em velocidade lenta.
- **LADO DE ACIONAMENTO:** Movimenta a estrutura em direção ao lado de acionamento em até +95 mm, em velocidade lenta.
- **RÁPIDO:** Combinado a um dos outros dois acionamentos, faz com que o movimento seja de forma rápida.

O controle do motor do scan é realizado através de um inversor de frequência Simovert P, com a finalidade de controlar a partida, a direção e velocidade de giro do mesmo.

Seu feedback de posição é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω acoplado ao motor, visualizado através de um display BCD, de sete segmentos, localizado no painel de operação.

2.3.2.7. Dispositivo de Elevação da Estrutura das Navalhas de Ar

Quanto mais próximas as navalhas estiverem do banho, melhor a precisão do revestimento, pois a solidificação do zinco ainda não aconteceu, tornando mais fácil removê-lo. Entretanto, o quanto mais perto as navalhas estiverem do banho, maior

será a pressão necessária, pois a quantidade de zinco a ser removida também será maior.

Se as navalhas estiverem muito perto do pote de zinco e a remoção for realizada com uma pressão de ar alta, ocorrerão respingos de zinco. Estes respingos podem se depositar na superfície da chapa ou no espaço entre as navalhas e influenciar na qualidade do revestimento. Sendo assim é necessário ajustar a altura das mesmas corretamente para obter uma ótima condição de operação.

Os ajustes da estrutura das navalhas podem ser realizados usando os seguintes acionamentos:

- SUBIR: A estrutura se move para cima, em velocidade lenta, a uma distância de até 800 mm em relação ao banho de zinco.
- DESCER: A estrutura se move para baixo, em velocidade lenta, a uma distância de até 28 mm em relação ao banho de zinco.
- RÁPIDO: Combinado a um dos outros dois botões, faz com que o movimento seja de forma rápida.

Existe, ainda, um limite superior utilizado apenas para manutenção ou limpeza dos equipamentos, localizado a uma distância de 1102 mm. Para alcançar esse limite o acionamento é realizado por um botão diferente ao de elevação e a estrutura da navalha deve estar centralizada, ou seja, os movimentos de skew e scan devem estar zerados.

O feedback de distância da estrutura das navalhas é realizado através de um potenciômetro de 5 K Ω e visualizado em um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

Os movimentos de subir e descer a estrutura são realizados através de um motor de indução trifásico de aproximadamente 3 KW, com o auxílio de contadores para mudar a direção e velocidade de seu movimento.

2.3.2.8. Controle de Abastecimento de Ar

O controle de abastecimento de ar comprimido para as navalhas não é o projeto oficial da FOEN, foi adaptado pelos colaboradores da CSN. Portanto, as informações deste sistema foram retiradas através de desenhos elétricos e mecânicos, e através da experiência de campo da equipe de manutenção da LZC.

O abastecimento de ar é realizado através de um soprador do tipo turbina do fabricante Spencer. O qual possui uma entrada externa de ar e distribui ar comprimido para o processo, através de duas tubulações, uma para cada navalha.

Em cada tubulação, na de entrada e nas de saída do soprador, existe uma válvula controladora para realizar o controle da vazão de ar.

A válvula do sistema de sucção na entrada do soprador, possui a finalidade de controlar o ar de entrada no mesmo, em função das válvulas de saída. Sendo, ainda, importante na partida do soprador, pois limita a entrada de ar em 13% para que não haja sobrecarga no mesmo.

Existe ainda uma válvula de alívio para realizar o alívio de ar na tubulação quando, por exemplo, for necessário diminuir a pressão de ar nas navalhas, ou quando o sistema for desligado.

O controle de abertura e fechamento das válvulas é realizado tendo como referência a medição de pressão do ar nas mesmas. Onde o operador pode subir ou descer a pressão através de dois botões no painel de operação, fazendo com que o PLC controle a abertura e fechamento da válvula.

O feedback de pressão é realizado através de transmissores de pressão e conversores P/I. Onde a pressão é convertida em corrente para que o PLC possa processar a informação, transformando-a para pressão novamente, e enviar um feedback em mbar para um display BCD, de sete segmentos, no painel de operação.

O motor de indução trifásico que controla o soprador, assim como o próprio soprador, possui uma potência de 300 hp, cerca de 223 KW. Por se tratar de um motor com uma potência elevada, sua partida deve ser feita através de um Soft Starter.

Para casos de emergência no motor, no soprador ou no soft starter, existe outro sistema de abastecimento de ar comprimido em stand-by, com os mesmos componentes. Os sopradores são interligados na mesma tubulação de saída, com a manobra de troca realizada através de uma válvula manual.

2.3.2.9. Sistema de Rastreamento de Solda

Em uma LZC são processados diversos tipos de materiais, com diversos tamanhos de largura e espessura. Portanto, para que algumas funções da linha funcionem de forma correta e até mesmo para o controle de indicação da posição da solda para a operação, é necessário ter um sistema de rastreamento de solda.

Esse sistema é realizado através da detecção de um furo próximo à solda, pelo sensor óptico Weld Hole Detector DTS 240 da Delta. Onde, no momento em que a solda passa pelo sensor, localizado na entrada do forno, inicia-se uma contagem para mostrar sua localização.

A indicação da localização da solda é importante em casos de ruptura da mesma, para que a equipe de operação saiba onde atuar. E, como explicado anteriormente, os baffles possuem a função de abrir automaticamente na passagem de solda.

O cálculo realizado no rastreamento de solda utiliza a velocidade atual da linha, o tempo contado a partir do momento em que a solda passa pelo sensor e a distância de 149 m entre o sensor e a navalha. Primeiramente multiplica-se o tempo pela velocidade, encontrando a distância percorrida pela solda. Sendo assim é feita

uma subtração da distância fixa para que a contagem seja feita de forma decrescente.

O furo que permite a localização da solda é realizado por um pulsão, logo após o último corte na tesoura de entrada, cujo movimento é realizado pelo mesmo sistema hidráulico que movimenta a máquina de solda.

No startup da LZC esse sistema funcionava corretamente, mas ao passar dos anos surgiu-se a necessidade do processamento de chapas com dureza elevada, fazendo com que o mesmo não houvesse força o suficiente para acionar o pulsão.

Outros métodos de detecção de solda foram testados e não obtiveram sucesso. Sendo assim, a indicação do sensor foi substituída por um botão no supervísório. Para que esse sistema funcione corretamente, o operador de processo deve acionar o botão quando a solda passa pela entrada do forno, vista através de uma câmera.

Atualmente há um projeto em andamento, com previsão para janeiro de 2018, realizado pela equipe de manutenção mecânica, para a troca do sistema hidráulico. No startup da linha, esse sistema suportava uma pressão de 70 Kbar e com o novo projeto suportará uma pressão de 85 Kbar, o suficiente para atender as necessidades da linha.

2.4. Conceitos Técnicos

2.4.1. Controlador Lógico Programável

Um processo industrial utiliza equipamentos elétricos, mecânicos, eletrônicos, hidráulicos e pneumáticos para chegar ao produto final. Para isso é necessária uma lógica que gerencie as variáveis de entrada para definir as ações de controle e operação do processo.

Um PLC substitui uma lógica feita por dispositivos eletromecânicos, como por exemplo, relés e módulos temporizadores, por uma lógica armazenada em sua memória de programa. (ZANCAN, 2011)

Suas principais vantagens em relação aos painéis eletromecânicos são:

- Maior confiabilidade com a redução de interferências mecânicas.
- Maior flexibilidade, pois não necessita de altos investimentos e elevadas horas de paradas para a modificação de um projeto. O projeto pode ser modificado com a linha de processo em funcionamento.
- Utilização de um espaço menor.
- Menor quantidade de energia consumida.
- Facilidade na programação, reprogramação e visualização de erros.
- Reutilizável para outros processos, ou seja, não é necessário um PLC por processo, desde que sua capacidade de memória de programação e capacidade de entradas e saídas (I/O) seja respeitada.
- Capacidade de comunicar-se com outros dispositivos como, por exemplo, supervisor, IHM, inversor de frequência e drives.

O PLC pode ser dividido em três partes básicas: entradas, unidade central de processamento, ou CPU sigla para Central Processing Unit em inglês, e saídas. Os dispositivos conectados às entradas informam à CPU as variáveis de processo, para que a mesma possa controlar o processo através das saídas, onde encontram-se os atuadores, de acordo com a lógica de programação, como ilustrado na Figura 22. (ZANCAN, 2011)

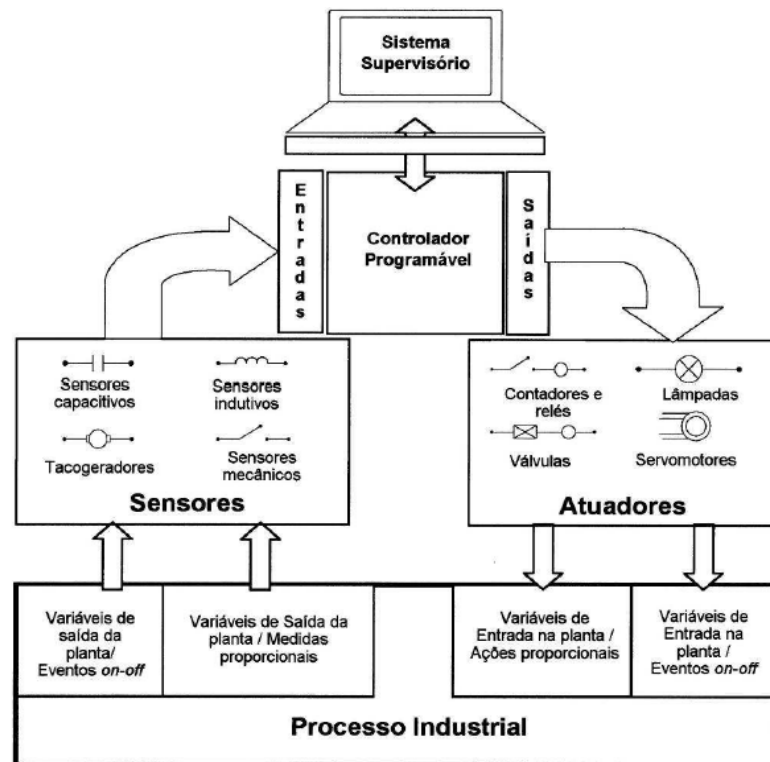


Figura 22 - Ordem de processamento de um PLC.

Fonte: Moraes e Castrucci, 2007.

A lógica de programação pode ser feita em várias linguagens de programação disponíveis, dependendo do modelo do PLC utilizado. As mais utilizadas são: linguagem ladder, blocos, texto estruturado e lista de instruções. Pode ser, também, realizada de forma estruturada, de acordo com os blocos de programação disponíveis no PLC, como, por exemplo, OB's, FB's e FC's.

Na Figura 23 está um exemplo de programação em ladder, utilizando contatos normais abertos, contatos normais fechados e bobinas para indicar falhas nos sensores.

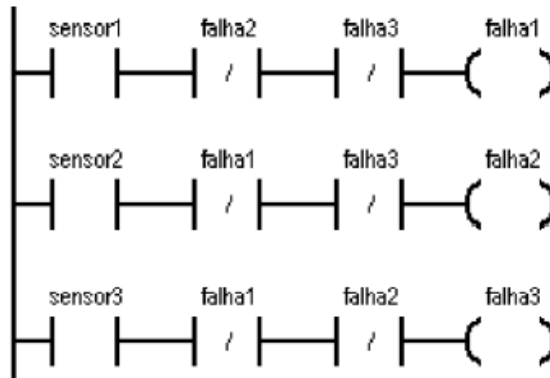


Figura 23 - Exemplo de programação em ladder.

Fonte: Moraes e Castrucci, 2007.

Na Figura 24 está um exemplo de programação em blocos, onde “I1 e I3 e não I2 ou I4” chegam ao resultado lógico de O5.

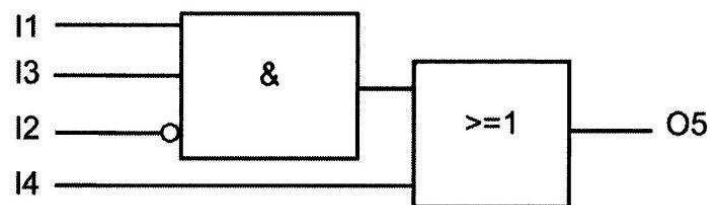


Figura 24 - Exemplo de programação em blocos.

Fonte: Moraes e Castrucci, 2007.

Na Figura 25 está um exemplo de programação em lista de instruções, utilizando contatos normais fechados e normais abertos com as funções “e”, “ou” e jump condicional.

```

:AN F 250.6
:AN F 250.5
:AN F 250.4
:A(
:ON F 250.3
:ON F 250.2
:)
:JC =M002

```

Figura 25 - Exemplo de programação em lista de instruções.

Fonte: Moraes e Castrucci, 2007.

As entradas e saídas podem ser digitais ou analógicas, onde:

- Os sinais digitais são, geralmente, de 24Vcc, 110Vca ou 220Vca, assumindo o nível lógico 1 quando há presença de tensão e 0 quando não há. Os cartões de saídas digitais são de acordo com as especificações do dispositivo a ser acionado, onde as mais utilizadas são a transistor, a triac e a relé.
- Nos sinais analógicos, as variáveis físicas são convertidas em sinais elétricos proporcionais, variando sua intensidade com o tempo, podendo ser em tensão (0 a 10 V) ou em corrente (4 a 20 mA).

É de vital importância para a manutenção possuir um terminal de programação. O que é um dos principais problemas enfrentados pelo sistema de controle atual, gerando dificuldade para alterar a lógica e visualizar os status dos sinais internos de modo a solucionar problemas de funcionamento da máquina controlada.

Os dois modelos de PLC estudados neste trabalho são o Simatic S5 e o Simatic S7. Dois PLC's do fabricante Siemens, sendo um o predecessor do outro.

2.4.1.1. Simatic S5

O PLC Simatic S5 dominou o mercado industrial e automotivo entre os anos 80 e 90 e ainda se encontra em aplicação nos dias de hoje. Sua programação é

realizada através do software Step5, baseado no sistema MS-DOS, Sistema Operacional em Disco que opera no Windows 95.

Na Figura 26 se encontra a ilustração de um bloco de programação no Step5.

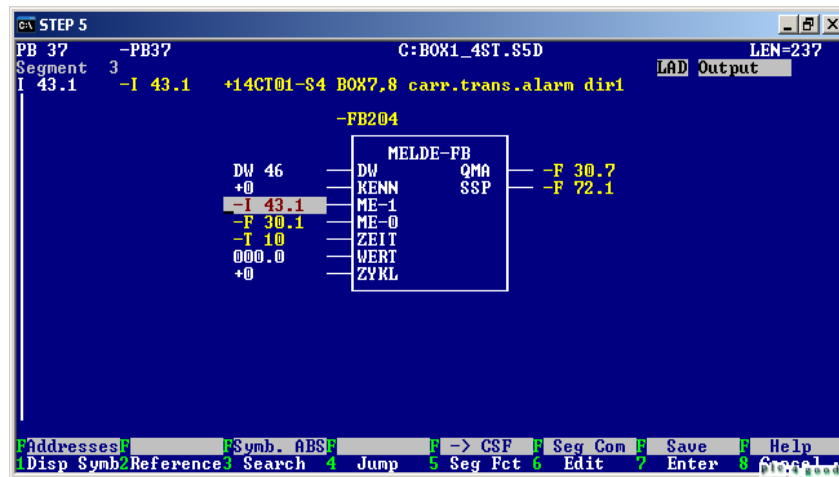


Figura 26 - Ilustração de uma programação em blocos no Step5.

Fonte: PLC 4 good, 2013.

Para realizar a programação em um PLC Simatic S5 é utilizado como terminal de programação a PG, sigla em alemão para Programmierungs Geräte, também chamada de “Equipamento de Programação” ou “Maleta de Programação”. Trata-se de um equipamento antiquado, com uma interface antiquada, a qual necessita de um cabo de comunicação geralmente curto para conectar-se à CPU do PLC.

Como dito anteriormente, o terminal de programação de um PLC é de vital importância para a manutenção, e a PG utilizada pelo Simatic S5 não oferece as condições ideais para a equipe de manutenção nos dias atuais.

Na Figura 27 está um exemplo de comunicação entre um terminal de programação e o PLC.

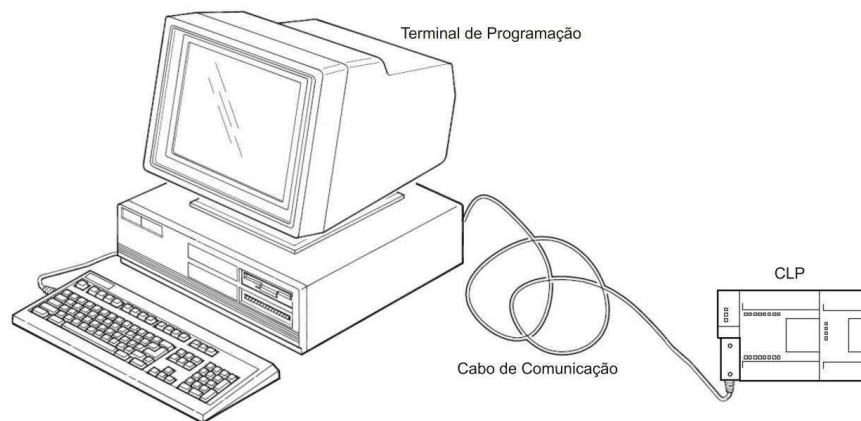


Figura 27 - Terminal de programação.

Fonte: Gonçalves, 2009.

Para a interface de comunicação, os PLC's da família S5 contam com uma extensa gama de placas ou módulos, tais como: IP - Periferia Inteligente; CP - Processadores de Comunicação; IM - Módulos de Interface; e DP – Periferia Descentralizada. Assim como os diferentes tipos de CPU e Módulos de I/O.

No Step5 existem algumas particularidades para o endereçamento das entradas e saídas, que podem depender do slot em que o cartão se encontra, ou seja, do lugar físico do cartão no rack do PLC, ou do próprio cartão. Os tipos de endereçamento são: endereçamento fixo dos slots, diferente para cada CPU; endereçamento variável para os slots; e endereçamento variável para os cartões.

A Figura 28 mostra o painel que abriga parte do hardware do S5 estudado, estando nele a CPU, alguns cartões de comunicação, cartões de entrada e saída analógicas e digitais, entre outros módulos.



Figura 28 - PLC Simatic Step 5 usado atualmente.

Fonte: CSN, 2017.

2.4.1.2. Simatic S7

Com a constante necessidade de evolução, já mencionada neste trabalho, a Siemens criou o Simatic S7, um predecessor do S5. O mesmo conta com algumas famílias como, por exemplo, S7-200, S7-300 e S7-400. Utilizar-se-á a família S7-300 para a o controle do processo estudado.

Como se pode ver na Figura 29, o S7 possui um hardware com uma arquitetura modular mais compacta que a do S5, possibilitando economia de espaço.

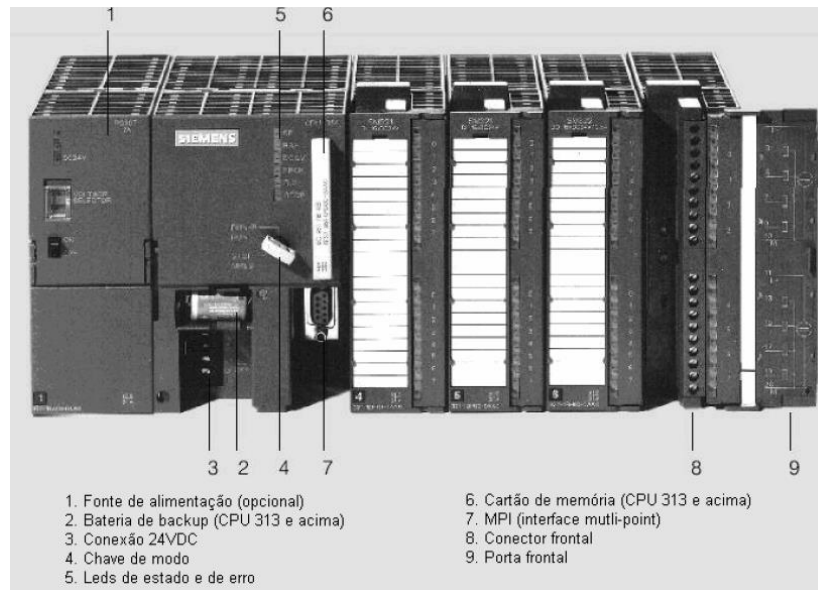


Figura 29 - A estrutura de um hardware do S7 300.

Fonte: Zerbini.

Diferente do S5, os módulos do S7 não necessitam de racks com números predefinidos de slots para sua montagem. Os módulos são encaixados e parafusados em um trilho DIN padrão e interligados através de um bus modular e seu endereçamento configurado no software.

A vasta diversidade de CPU's e módulos de expansão da família S7 facilitam a adaptação da configuração para qualquer tipo de processo. Entre os módulos de expansão estão:

- Módulos de I/O: Digitais e Analógicos;
- Módulos de Comunicação: Modbus, Ethernet, Profibus-DP, AS-interface, Serial Ponto-a-Ponto.
- Módulos de Função: Controle de posição, motor de passo e em malha fechada, saída de pulso rápida e contadores rápidos.

Para um processo com um número extenso de I/O como o estudado, além do rack central, onde está localizada a CPU, pode-se ter racks de expansão. Os racks de expansão são conectados entre si e com o rack central através dos Módulos de

Interface (IM), sendo um total de até três racks de expansão para cada processo, com 8 módulos para cada, totalizando 32 módulos.

Caso haja a necessidade de um número maior de módulos ou até mesmo de uma distância maior entre os racks, utiliza-se uma ET 200 em cada rack de expansão, conectadas através de uma rede Profibus-DP. A qual permite 12 módulos de expansão, totalizando 44 módulos para todo o controle.

Sua programação é realizada através do software Step7, cuja comunicação com a CPU se dá através de uma rede Ethernet, permitindo que seja realizada à distâncias maiores, o que garante uma vantagem sobre a PG do Step5.

A Figura 30 representa o esquema básico de programação de uma CPU S7-300.

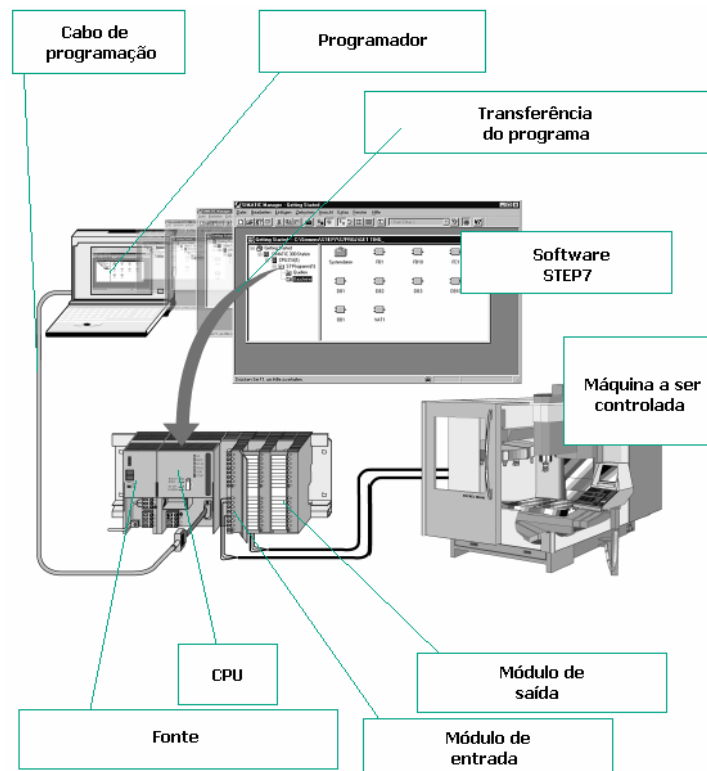


Figura 30 - Esquema básico de controle do PLC.

Fonte: Zerbini.

Na Figura 31 está o layout do software SIMATIC Manager do Step7, o qual possui uma interface mais amigável que a do Step5.

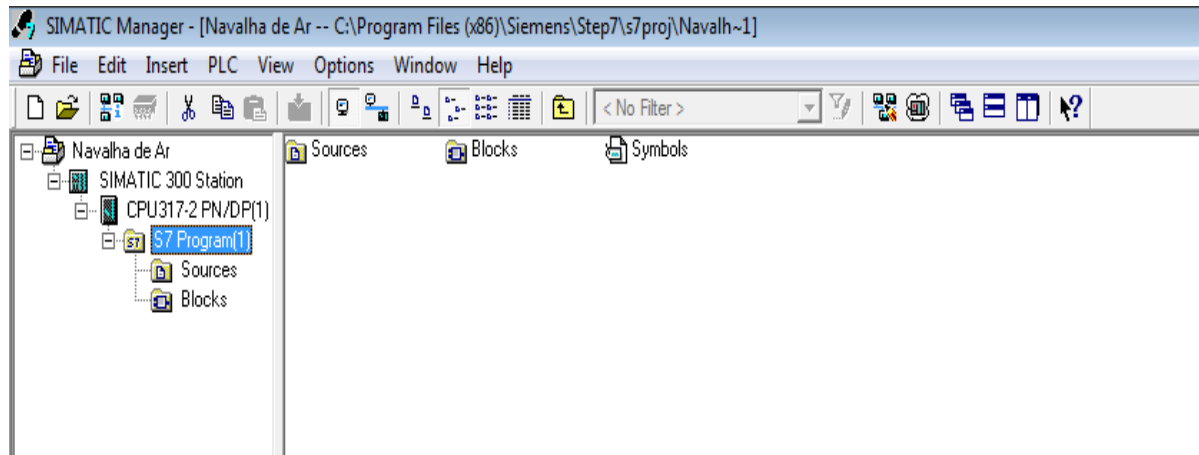


Figura 31 - Interface do programa step 7.

Fonte: Autor.

Utilizando o software Step7, a lógica de programação contida na CPU pode ser monitorada em tempo real e editada de acordo com a necessidade do processo, sem interromper o mesmo.

Dentro do programa existem alguns tipos de blocos a fim de estruturar o mesmo. São eles:

- Bloco de Organização (OB): o OB1 pode ser usado para executar um programa inteiro ciclicamente ou para chamar outros blocos quando necessário. Existem também outros OB's para realizar as seguintes funções: interrupção data programada, interrupção de diagnóstico, interrupção de erros, interrupção de tempo de ciclo, interrupção de hardware e start-up de hardware.
- Bloco de Função (FB): O FB armazena os comandos e dados em uma memória com o auxílio de uma DB, sendo assim os dados ficam gravados mesmo quando o bloco é fechado.

- Funções (FC): é um bloco similar ao FB, sem estar ligado a uma memória, sendo assim as variáveis são arquivadas na pilha local durante a execução do bloco e perdidas no término do mesmo.
- Bloco de dados (DB): é utilizado com a finalidade de armazenar valores, mesmo quando o processamento dos blocos lógicos é finalizado. Podem ser compartilhados, usado em qualquer parte do programa, ou instance, relacionado a um FB em particular.

O programa pode ser estruturado das seguintes formas:

- Linear: onde toda a programação e parametrização são feitas no OB1;
- Particionado: dividido em blocos e executados de acordo com o OB1;
- Estruturado: onde os blocos são projetados de forma que possam ser utilizados para mais de um projeto.

Cada variável tem seu próprio formato, indicando como o programa deverá acessá-lo. Os tipos de dados disponíveis no S7 estão representados na Figura 32.

| TIPO | TAMANHO (EM BIT) | EXEMPLO |
|----------------|-----------------------------|------------------------|
| BOOL | 1 | 1 ou 0 |
| BYTE | 8 | 16#A9 |
| WORD | 16 | 16#12AF |
| DWORD | 32 | 16#ADAC1EF5 |
| CHAR | 8 | 'W' |
| STRING* | >=16, 8* (Nº de caracteres) | 'ISTO É UMA STRING' |
| S5TIME | 16 | S5T#5s_200ms |
| INT | 16 | 123 |
| DINT | 32 | 65539 |
| REAL | 32 | 1.2 ou 34.5E-12 |
| TIME | 32 | T#2D_1H_3M_45S_12_MS |
| DATE | 16 | D#2008-04-30 |
| TIME_OF_DAY | 32 | TOD#12:23:45.12 |
| DATE_AND_TIME* | 64 | DT#2008-04-30:12.29.13 |

Figura 32 - Tipos de dados.

Fonte: Zerbini.

2.4.2. Fluxograma

O fluxograma é utilizado para representar uma sequência das operações de um determinado processo, com o intuito de facilitar o entendimento do mesmo e identificar os pontos principais do processo para uma melhor análise.

Nas Figuras 33, 34, 35 e 36 estão representados os fluxogramas derivados do check list de retorno de manutenção, a fim de ilustrar os testes necessários para a partida de linha.

Fluxograma para retorno de MP

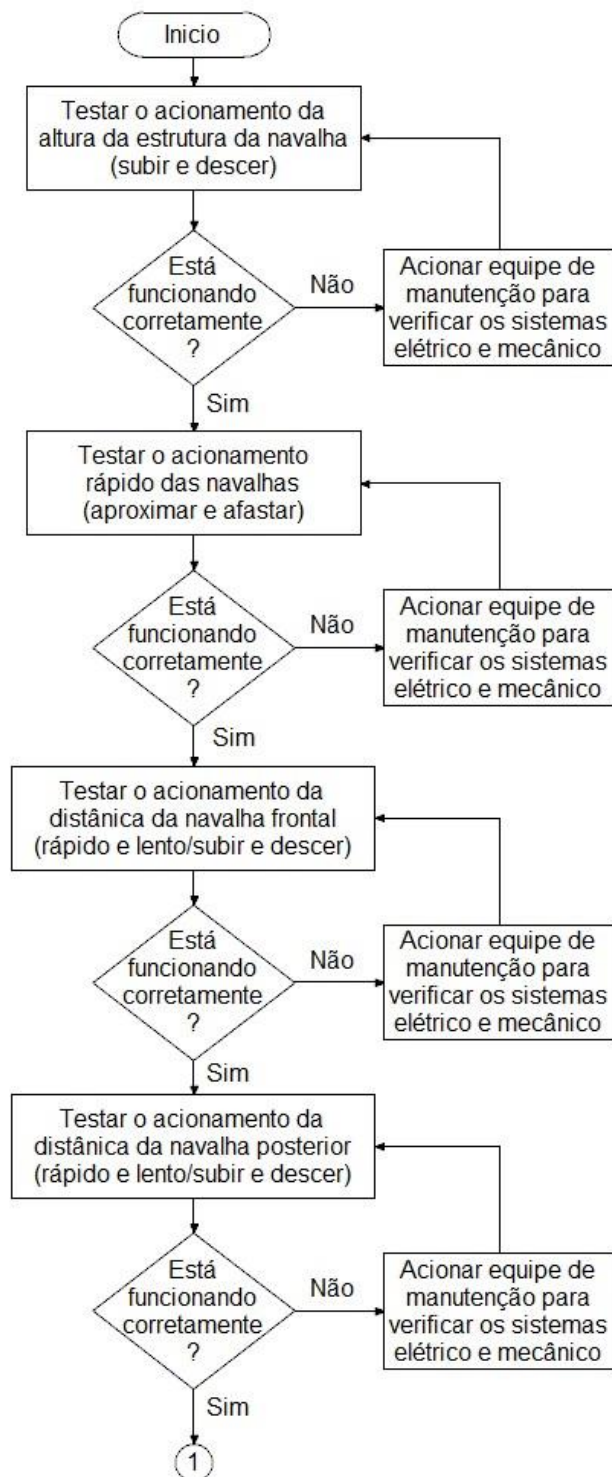


Figura 33 - Fluxograma para retorno de MP.

Fonte: Autor, 2017.

Fluxograma para retorno de MP

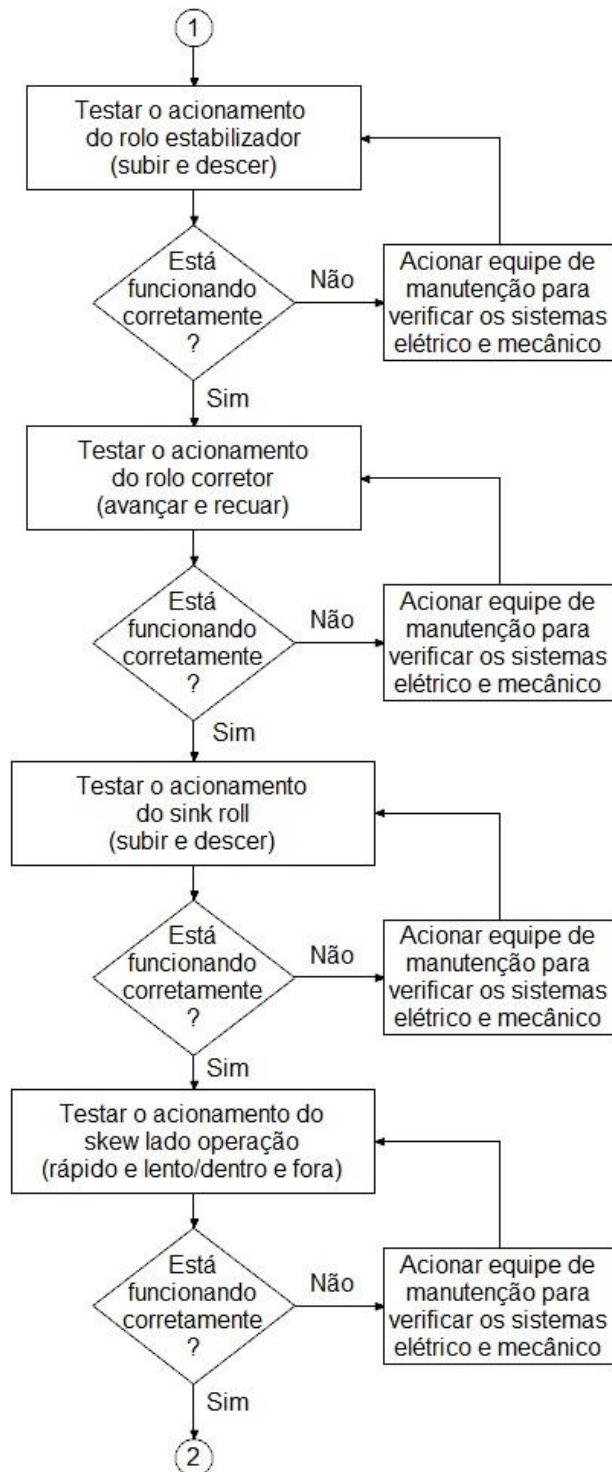


Figura 34 - Fluxograma para retorno de MP.

Fonte: Autor, 2017.

Fluxograma para retorno de MP

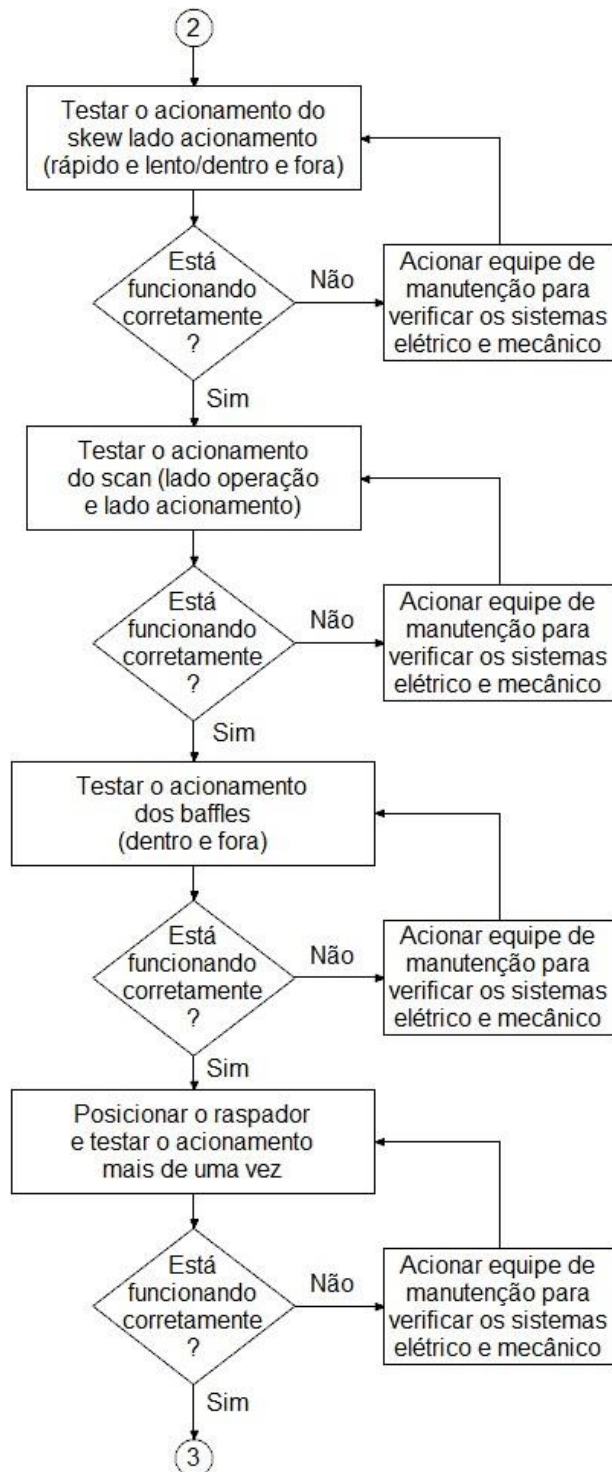


Figura 35 - Fluxograma para retorno de MP.

Fonte: Autor, 2017.

Fluxograma para retorno de MP

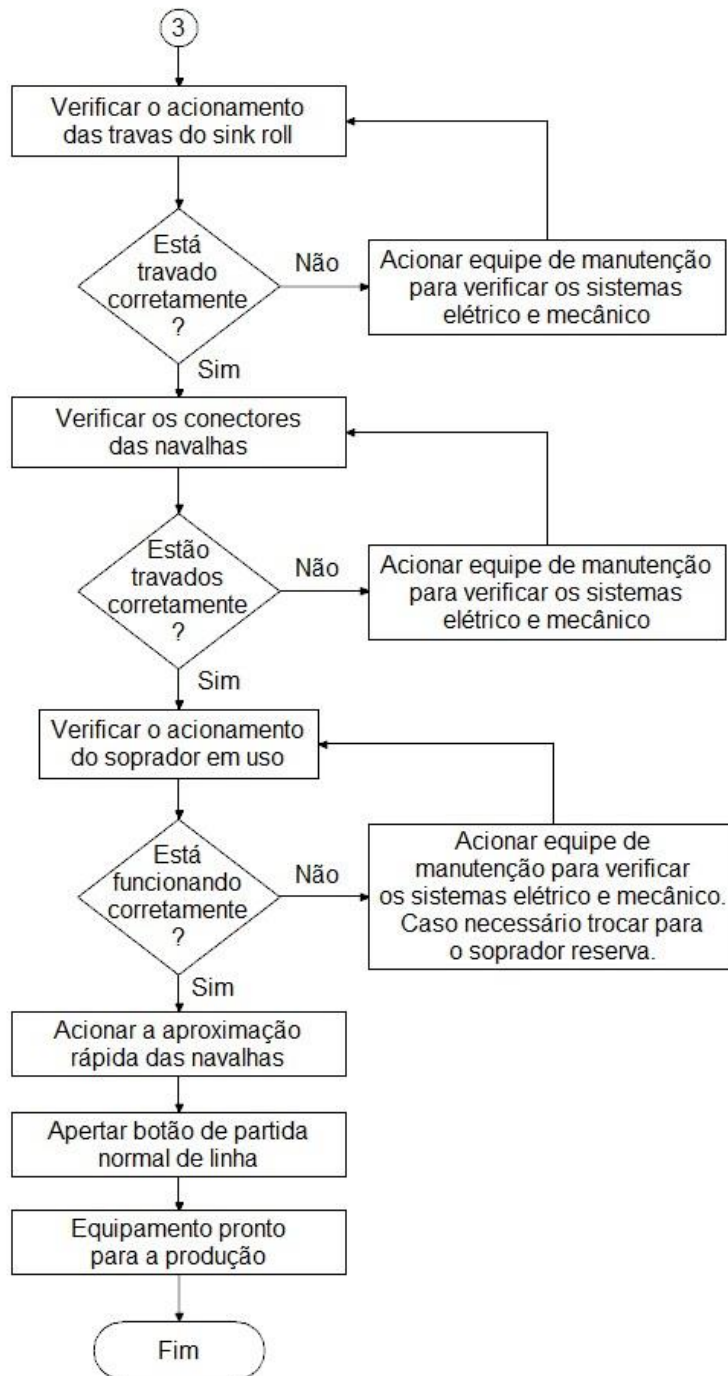


Figura 36 - Fluxograma para retorno de MP.

Fonte: Autor, 2017.

A Figura 37 representa o fluxograma de processamento de uma bobina, que se repete sempre que uma solda, indicando o início de uma nova bobina, passar pelas navalhas.

Fluxograma para processamento de bobina

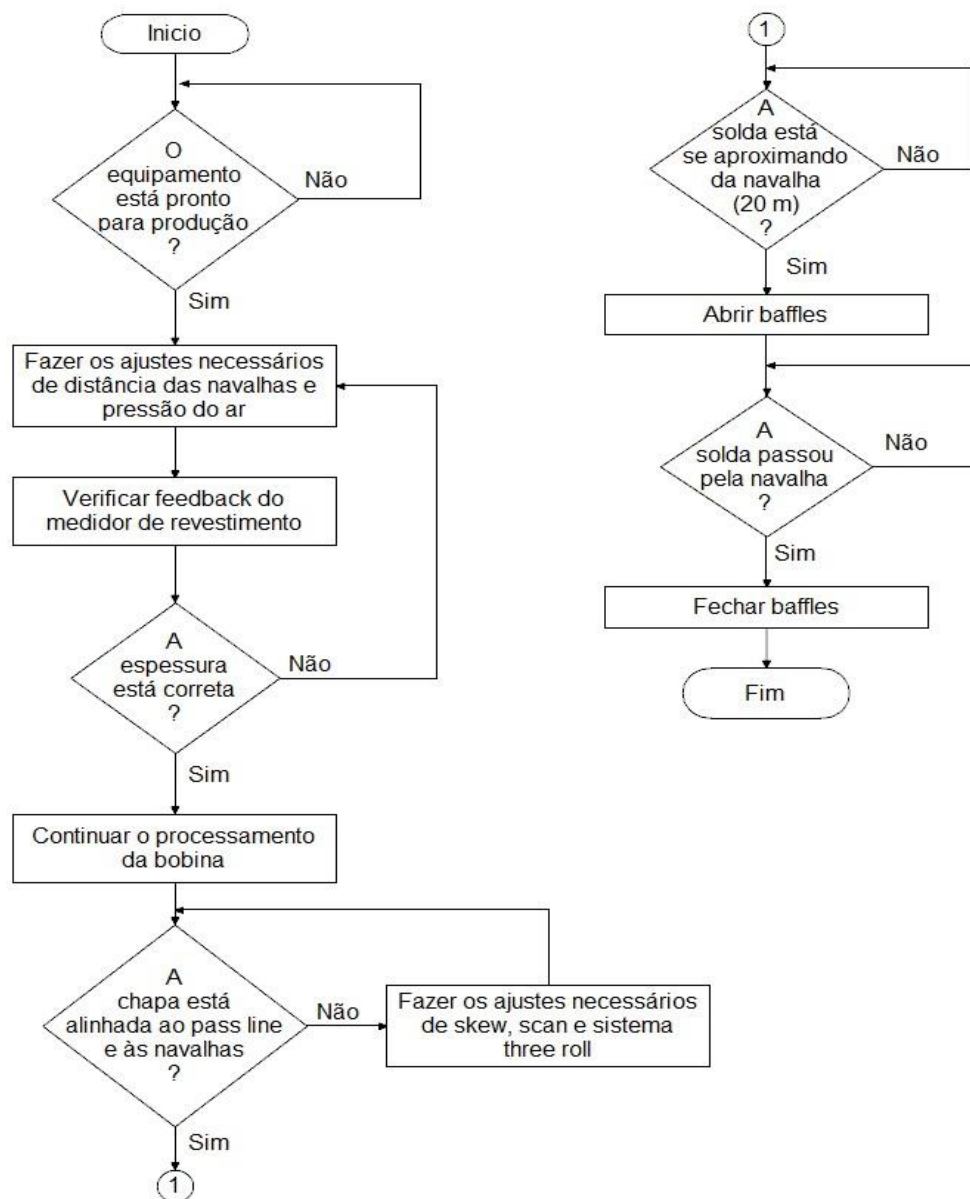


Figura 37 - Fluxograma para processamento de bobina.

2.4.3. Motor de Indução Trifásico CA

O princípio básico de um motor consiste em possuir um campo magnético girante que provoca a rotação do rotor. Os motores de corrente alternada possuem sua velocidade determinada de acordo com a frequência da rede de alimentação e de seu número de polos. Sendo assim, funcionam ligados diretamente à rede de alimentação ou através de um inversor de frequência, onde a frequência de alimentação é variada, variando assim sua velocidade. (HENRIQUE)

Em um motor de indução aplica-se corrente alternada ao estator e seu rotor é alimentado por indução magnética, ou seja, são induzidas correntes alternadas no circuito do rotor através do campo magnético girante produzido nas bobinas do estator, fazendo-o girar. É o mais utilizado pelas seguintes características: simplicidade; baixo custo de fabricação; construção robusta; e bom funcionamento.

Na Figura 38 estão representadas as partes principais de um MIT.

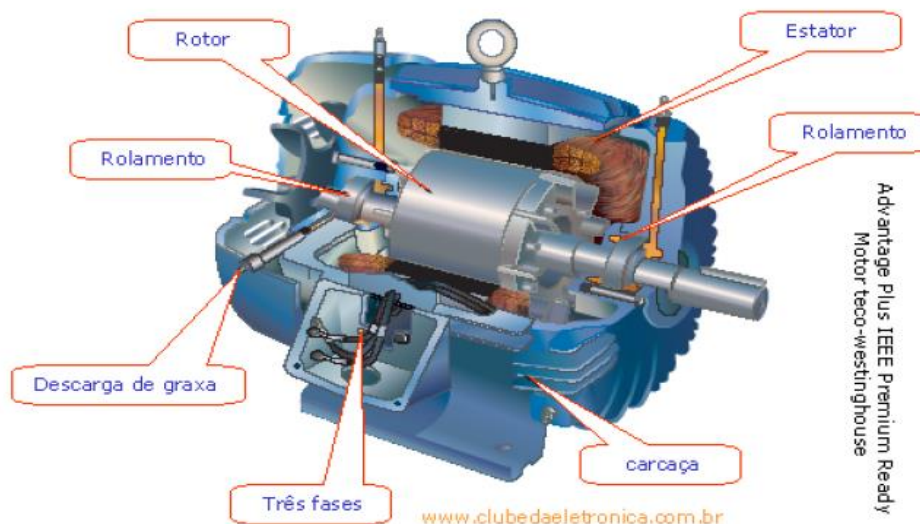


Figura 38 - Partes de um MIT.

Fonte: Silva, 2006.

2.4.4. Motor de Passo

Os motores de passo possuem como principal característica a de converter pulsos elétricos em movimentos mecânicos e, como consequência, gerar variações angulares discretas. De acordo com a sequência dos pulsos elétricos recebidos, pode-se variar a velocidade de rotação e direção de giro do motor.

Uma vez energizadas, suas solenoides atraem o rotor causando uma pequena variação de ângulo, chamada de passo. A forma com que cada solenoide é acionada determina a velocidade e o sentido de movimento do motor. (Brites e Santos, 2008)

É utilizado quando o processo exige movimentos precisos, como, por exemplo, o controle do ângulo de rotação e de posição. No sistema de controle apresentado, são utilizados dois motores de passo para o controle de distância das navalhas.

2.4.5. Servo Motor

O servo motor tem seu eixo posicionado em determinada posição angular dependendo do sinal elétrico de entrada. Seu feedback é realizado através de um potenciômetro conectado em seu eixo, o qual monitora o ângulo do eixo e envia um sinal para um sistema eletrônico de controle. Sendo assim se o eixo estiver na posição certa o motor não se move, caso contrário ele ajusta seu eixo. (Santos, 2007)

O ângulo do eixo é determinado a partir da largura do pulso PWM enviado à entrada, podendo ser de 0 V ou 5 V, como se pode ver na Figura 39.

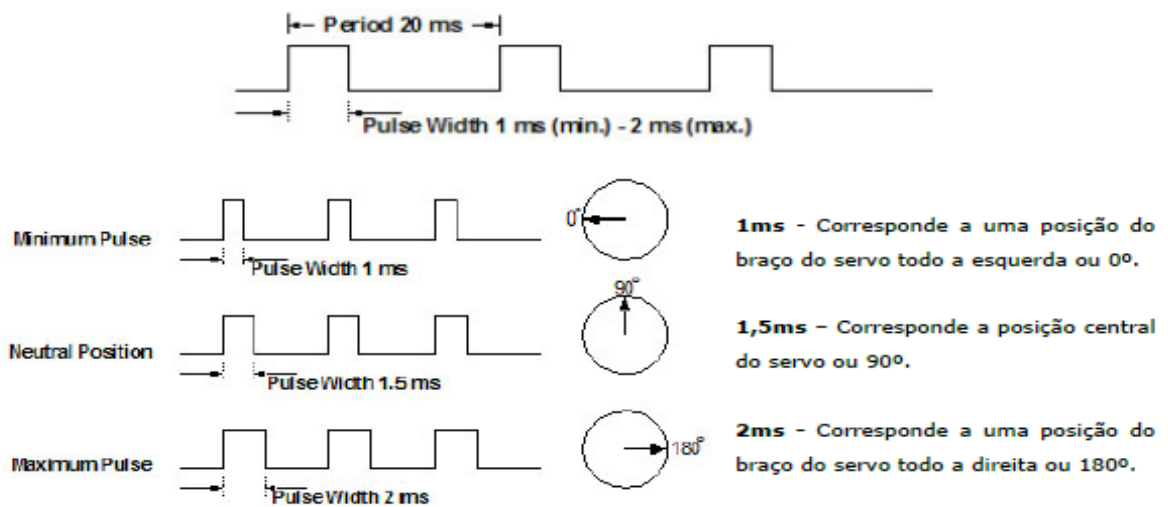


Figura 39 - Relação entre largura de pulso PWM e ângulo de um servo motor.

Fonte: Santos, 2007.

A Tabela 1 apresenta uma comparação de características importantes entre um servo motor, motor de passo e motor de corrente contínua. Cujas finalidades é mostrar que a precisão de um servo motor, característica mais importante para o acionamento da distância das navalhas, é considerada maior que a de um motor de passo.

Tabela 1 - Comparação entre motores.

| | Motor de Corrente Contínua | Motor de Passo | Servo-Motor |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------|-------------|
| Velocidade ¹ | Alta | Baixa | Média |
| Torque ² | Zero/Alto | Alto/Médio | Baixo/Alto |
| Facilidade de controle ³ | Fácil | Média | Complexo |
| Precisão ⁴ | Nenhuma | Alta | Muito Alta |
| Durabilidade ⁵ | Média | Ótima | Média |
| Requer Manutenção? ⁶ | Sim | Não | Sim |

Fonte: Brites e Santos, 2008.

2.4.6. Inversor de Frequência

Um inversor de frequência é um dispositivo eletrônico com a finalidade de variar a velocidade de um motor de indução trifásico, mantendo seu torque, transformando os valores fixos de tensão e frequência de rede em valores variáveis.

Os inversores possuem uma entrada ligada à rede de energia, podendo ser trifásica ou monofásica, e uma saída aplicada ao motor. Onde, quanto maior a frequência enviada pelo inversor, maior a velocidade de rotação do motor, e vice-versa.

Quando a velocidade de um motor é alterada, através da variação de frequência, seu torque também é modificado. Sendo assim, para mantê-lo constante, é necessário fazer com que a relação V/F seja constante.

As principais vantagens de se utilizar um inversor de frequência são: redução dos custos de instalação; otimização do processo; controle de partida e frenagem do motor; aumento de vida útil do sistema; redução de ruído; melhoria do fator de potência; entre outros.

A entrada do inversor é ligada à rede, podendo ser monofásica ou trifásica, e sua saída ao motor. Para que o inversor consiga variar a frequência e a tensão enviada ao motor, a alimentação passa por, basicamente, três estágios em seu circuito interno, representado pelo diagrama da Figura 40.

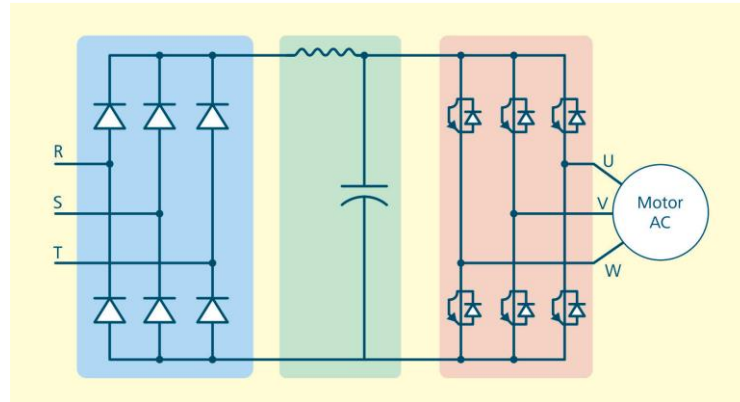


Figura 40 - Diagrama básico de um inversor de frequência.

Fonte: Segundo e Rodrigues, 2015.

Primeiramente há um circuito retificador responsável por transformar a tensão alternada em contínua. Em segundo lugar, há um barramento CC, composto por um banco de capacitores, para realizar a filtragem da tensão DC. E em terceiro lugar, existem transistores IGBT capazes de transformar essa tensão DC em alternada novamente com a frequência desejada pelo motor. (SEGUNDO E RODRIGUES, 48, 2015)

Para o controle dos motores utilizados nos sistemas de skew e scan, utiliza-se o inversor SIMOVERT P, representado na Figura 41, do fabricante Siemens. Este inversor é indicado para o controle de motores trifásicos que atuam em baixa velocidade, ideal para os sistemas mencionados acima, onde a característica mais importante é a precisão. (SIEMENS, 1995)



Figura 41 - Inversor de frequência SIMOVERT P.

Fonte: CSN, 2017.

2.4.7. Soft Starter

Na partida direta de um motor há um pico significativo de corrente, podendo chegar a 8 vezes o valor de corrente nominal do mesmo. Podendo prejudicar outros equipamentos eletrônicos conectados à rede elétrica, como, por exemplo, as proteções do sistema elétrico, e até mesmo as bobinas do próprio motor, além de um superdimensionamento de condutores.

Para que esta corrente de pico seja suavizada, existem alguns métodos de partida de motores, sendo um deles realizado pelo Soft Starter, de modo a não provocar quedas bruscas de tensão elétrica na tensão de alimentação e nem picos de corrente. (Mundo da Elétrica)

Na Figura 42 estão representadas as formas de onda de correntes pelos diferentes tipos de partida de motores. Como se pode ver, a partida através de um soft starter produz uma corrente suave, diferente dos outros dois métodos.

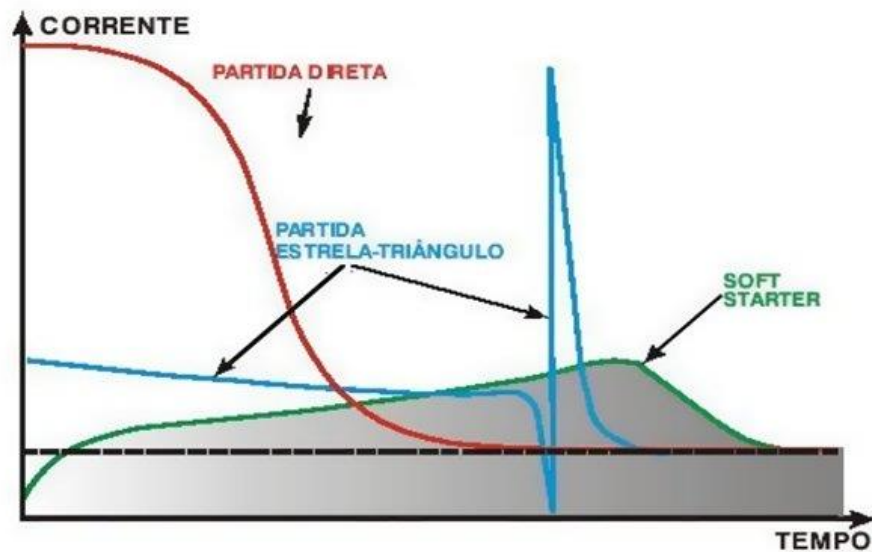


Figura 42 - Tipos de partidas de motores.

Fonte: Mundo da Elétrica.

O Soft Starter funciona a partir de uma ponte tiristorizada, que disponibiliza tensão para o motor de forma crescente, fazendo um chaveamento da mesma a fim de garantir uma partida suave, sem a presença da corrente de pico. Esse processo é controlado através de parâmetros que controlam o ângulo de disparo dos tiristores.

Além de suavizar a partida de motores de alta potência, o Soft Starter possui outras vantagens como, por exemplo, realizar o processo de desligamento de forma decrescente, detecção de falta de fase, economia de energia, proteções em geral, entre outras. Podendo ser utilizado em diversas aplicações como, por exemplo, bombas centrífugas, sopradores, exaustores, compressores de ar e refrigeração, entre outras.

2.4.8. Potenciômetro

O potenciômetro é um resistor variável que pode ser usado para medir o deslocamento linear ou angular de um objeto. Acoplado ao eixo de um motor,

através de uma caixa redutora, pode indicar a distância percorrida através da variação de sua resistência.

O mesmo envia um sinal de 0 a 5 V, o qual passa por um conversor para 4 a 20 mA. Esse sinal passa por um isolador de sinal antes de chegar ao PLC.

No sistema de controle discutido, o potenciômetro é usado como sensor de deslocamento linear do rolo estabilizador, rolo corretor, elevação da estrutura da navalha, skew e scan.

2.4.9. Encoder Absoluto

O encoder converte movimentos lineares ou angulares em informações elétricas, podendo indicar informações como distância e velocidade.

Possui um sensor óptico, onde um ou mais discos perfurados permitem a passagem de um feixe de luz infravermelha, emitido por um emissor e captado por um receptor, o qual se torna um pulso elétrico através de um circuito eletrônico.

Existem dois tipos de encoders: incremental e absoluto. O encoder absoluto possui vários sensores ópticos que, combinados, geram um código binário para cada posição do disco, sendo assim cada posição possui um código único, ilustrado na Figura 43. Consequentemente, não perdem a real posição caso haja uma queda de tensão de alimentação, diferenciando-o do encoder incremental, o qual gera pulsos a partir de uma posição inicial.

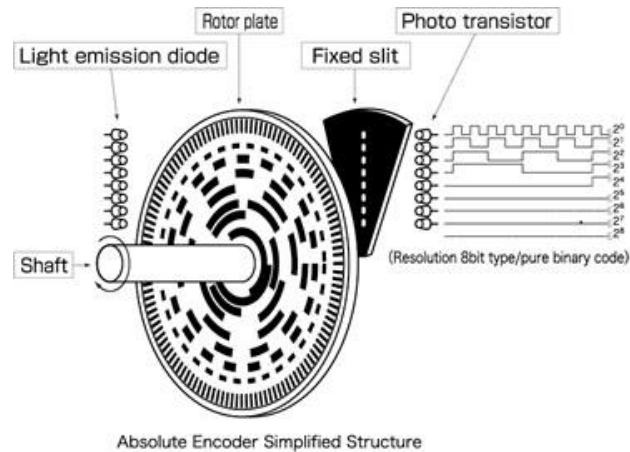


Figura 43 - Encoder absoluto.

Fonte: Logicbus.

Os encoders utilizados no processo atualmente são programáveis, onde são inseridos alguns valores de operação em parâmetros utilizados como limites lógicos. Os quais enviam a informação ao Step5.

São utilizados quatro encoders absolutos programáveis do fabricante TR Electronic GmbH de 4096 voltas, sendo dois para o feedback de distância das navalhas e dois para o feedback do ângulo das navalhas.

2.4.10. Válvulas Controladoras

As válvulas utilizadas para o controle da vazão de ar comprimido das navalhas, são:

- Uma válvula para a sucção de ar na entrada do soprador de 16”;
- Uma válvula para controlar o alívio de vazão na saída do soprador de 6”;
- Uma válvula para controlar a vazão e, conseqüentemente, a pressão de ar na saída da navalha superior de 6”;

- Uma válvula para controlar a vazão e, conseqüentemente, a pressão de ar na saída da navalha inferior de 6”;

Todas as válvulas são do fabricante Fisher, modelo 1052-8510, do tipo borboleta. Onde, o PLC envia um sinal de 4 a 20 mA à um conversor I/P, que por sua vez converte o valor em corrente para um valor em pressão de 6 a 30 psi. De acordo com o sinal enviado ao conversor, o mesmo envia um ar comprimido de instrumentação ao diafragma da válvula. Esse diafragma movimenta uma haste que faz a borboleta abrir ou fechar, proporcionalmente, impedindo ou permitindo a passagem de ar na tubulação.

Essa válvula é do tipo normal fechada, onde a uma indicação de 4 mA está totalmente fechada. Possui um sistema de feedback de válvula totalmente aberta e totalmente fechada, além de um feedback de posição proporcional que não está em uso atualmente.

A aparência das válvulas utilizadas está representada na Figura 44.



Figura 44 - Válvula borboleta.

Fonte: Manual Fisher.

2.4.11. Transmissor de pressão

O transmissor de pressão utilizado para indicar o feedback de pressão nas válvulas é o LD301 do fabricante Smar. É um transmissor inteligente por leitura de capacitância, utilizado para medição de pressão diferencial, absoluta, manométrica, nível e vazão.

Um esquema de funcionamento do transmissor está na Figura 45.

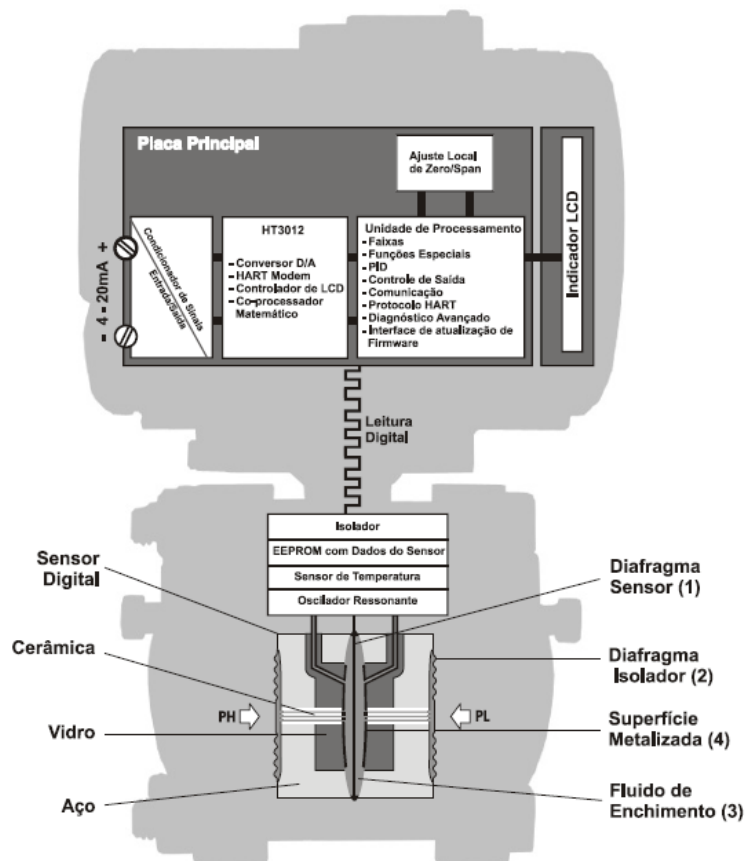


Figura 45 - Transmissor de pressão.

Fonte: Smar.

O transmissor é composto por um diafragma sensor no centro da célula, que se flexiona em função da diferença de pressão entre os lados de alta, PH, e baixa,

PL. Essas pressões são aplicadas diretamente nos diafragmas isoladores, com a finalidade de proteger o sensor da corrosão provocada pelos fluidos do processo.

O movimento do diafragma sensor é percebido através da variação da capacitância entre o mesmo, que se comporta como um eletrodo móvel, e as superfícies metalizadas, que se comportam como eletrodos fixos. Essa variação de capacitância é lida pelo oscilador ressonante e convertida à uma saída de pressão correspondente.

3. TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O RETROFIT

Retrofit é o termo utilizado para a modernização de tudo que seja considerado ultrapassado ou fora do padrão. Na Europa e Estados Unidos essa prática surgiu para revitalizar antigos edifícios, a fim de seguir a legislação adequadamente. (FLAUSINO, 2017)

Diferindo-se da simples restauração, que restitui a condição inicial do objeto, ou da reforma, que visa melhorias para o mesmo, o retrofit possui o sentido de renovação implementando o que existe de melhor no mercado. Aplicado de modo correto, o retrofit aumenta a vida útil do equipamento, diminui os custos com manutenção e mantém o mesmo sempre atualizado.

O retrofit deve buscar, com eficiência, adotar a tecnologia atual para trazer conforto, segurança e funcionalidade para o usuário, mantendo a viabilidade econômica para o investidor. Técnica a qual se utilizará neste trabalho, onde será gasto um investimento a troco de maior confiabilidade e eficiência do processo de revestimento de zinco.

3.1. Sistema de Distância das Navalhas

O sistema de controle de distância das navalhas atual é realizado através do drive WD5-008, representado na Figura 46.



Figura 46 – Drive WD5-008.

Fonte: CSN, 2017.

Esse drive recebe informações do PLC e as utiliza para controlar a velocidade e direção de rotação do motor de passo, como se pode visualizar na Figura 47.

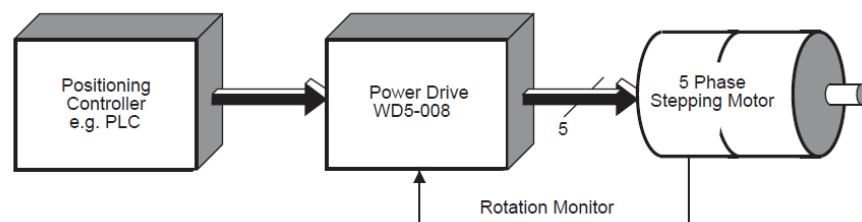


Figura 47 - Diagrama de controle do drive.

Fonte: Manual do WD5-008.

O drive WD5-008 e o motor de passo utilizados no controle de distância das navalhas são do mesmo fabricante, Berger Lahr, e foram descontinuados pelo mesmo. Sendo assim houve a necessidade de trocá-los pelos materiais listados na Tabela 2, com um orçamento de R\$ 78.032,00.

Tabela 2 - Retrofit do Sistema de Distância das Navalhas.

| DESCRIÇÃO | REFERÊNCIA | QNT | VALOR UNIT | VALOR TOTAL |
|--|--------------------|-----|--------------|----------------------|
| Módulo de Potência | 6SL3210-1PB13-8UL0 | 5 | R\$ 2.500,00 | R\$ 12.500,00 |
| Display | 6SL3055-0AA00-4BA0 | 4 | R\$ 250,00 | R\$ 1.000,00 |
| Módulo de Controle | 6SL3040-0LA01-0AA0 | 5 | R\$ 2.000,00 | R\$ 10.000,00 |
| Cartão de Memória | 6SL3054-0EH00-1BA0 | 5 | R\$ 400,00 | R\$ 2.000,00 |
| Reator de entrada | 6SL3203-0CE13-2AA0 | 4 | R\$ 450,00 | R\$ 2.200,00 |
| Reator de saída | 6SL3202-0AE16-1CA0 | 4 | R\$ 1.200,00 | R\$ 4.800,00 |
| Servo motor de 3000RPM | 1FK7042-2AF21-1QA1 | 5 | R\$ 6.000,00 | R\$ 30.000,00 |
| Cabo de potência 60 metros | 6FX5002-5CG10-1GA0 | 4 | R\$ 1.450,00 | R\$ 5.800,00 |
| Cabo drive-cliq 60 metros | 6FX5002-2DC10-1GA0 | 4 | R\$ 1.750,00 | R\$ 7.000,00 |
| Transformador de comando de 2KVA, 460/220v | 4AM6595-OAT60-OC | 4 | R\$ 783,00 | R\$ 3.132,00 |
| | | | TOTAL | R\$ 78.032,00 |

Fonte: Autor, 2017.

No novo sistema de controle, são utilizados drives modulares da Siemens e servo motores. Como mostrado na Tabela 1, item 2.4.5, o servo motor apresenta uma precisão maior em comparação à do motor de passo, tornando o processo mais preciso.

O drive utilizado será o SINAMICS S120, um drive modular fabricado para trabalhar em sistemas de alto desempenho. Sendo flexível e de rápido comissionamento, possuindo as seguintes características: é um servo drive; possui arquitetura inovadora e opções de comunicação digitais; uma extensa variedade de funções; o comissionamento é realizado através do software STARTER; entre outras. (SIEMENS, 2014)

A adição de um reator na entrada do drive, reduz o conteúdo harmônico da corrente proveniente da rede de alimentação, trazendo benefícios ao mesmo, assim como a adição de um reator na saída do drive. O reator de saída diminui as correntes de fuga provenientes do chaveamento de tensão em alta frequência do drive, possibilitando o uso de maiores comprimentos de cabos, sem reduzir a potência do drive.

Para fazer reparos e testes nas navalhas, as mesmas são desconectadas dos conectores e levadas para uma oficina própria. Portanto, esse sistema de controle deve ser duplicado, sendo duas unidades de cada material para o controle da linha de processo e duas para o controle da oficina. Os materiais que possuem 5 unidades na Tabela 2 possuem uma unidade como sobressalente.

3.2. Encoders

Como dito anteriormente, no processo atual são utilizados quatro encoders absolutos programáveis e sete potenciômetros para o feedback de distância dos equipamentos que compõem o processo estudado.

Esses meios de medição de distância não são viáveis atualmente, pois existem tecnologias melhores e com um menor custo. Portanto, para substituí-los, utilizar-se-á o encoder absoluto 842A-31GB do fabricante Allen Bradley. A folha de dados do mesmo encontra-se no Anexo 4.

A utilização de encoders dispensa a utilização de conversores e de isoladores de sinal, pois suas saídas são conectadas diretamente ao cartão do PLC. Diminuindo o número de equipamentos pelos quais a informação passa antes de chegar ao PLC.

Utilizar-se-ão 11 encoders no total, com um custo unitário de aproximadamente R\$ 3.000,00, totalizando em R\$ 33.000,00.

3.3. Sistema Supervisório

Atualmente todo o controle operacional da Navalha de Ar e do Pote de Zinco é realizado através de um painel com 62 botões e 14 displays, ilustrado no Anexo 2. Este painel ocupa um espaço considerável, onde nem todos os acionamentos são utilizados atualmente, além de problemas físicos envolvendo os botões e displays.

A criação de uma tela no supervisório para estes comandos reduzirá a área do painel ocupado, fazendo com que o mesmo possa ser trocado por outro com dimensões menores. Pois, nem todos os comandos sairão do painel, por uma questão de operação, sendo eles: distância e pressão das navalhas, abertura rápida, abertura e fechamento dos baffles e altura do sink roll.

O supervisório utilizado é o Vijeo Citect da Schneider, onde a comunicação entre o mesmo e o S5 é realizada através da rede Ethernet e do programa Siemens Industrial Ethernet – Citect. Tal configuração não irá mudar com a implementação do S7, será apenas adicionada a comunicação entre a CPU do S7 e o software Step7, para a monitoração online da lógica de programação, também via Ethernet.

A Figura 48 representa a tela do processo de revestimento de zinco já existente no Vijeo Citect, onde estão apenas informações de feedback dos equipamentos, sem possuir acionamentos dos mesmos.

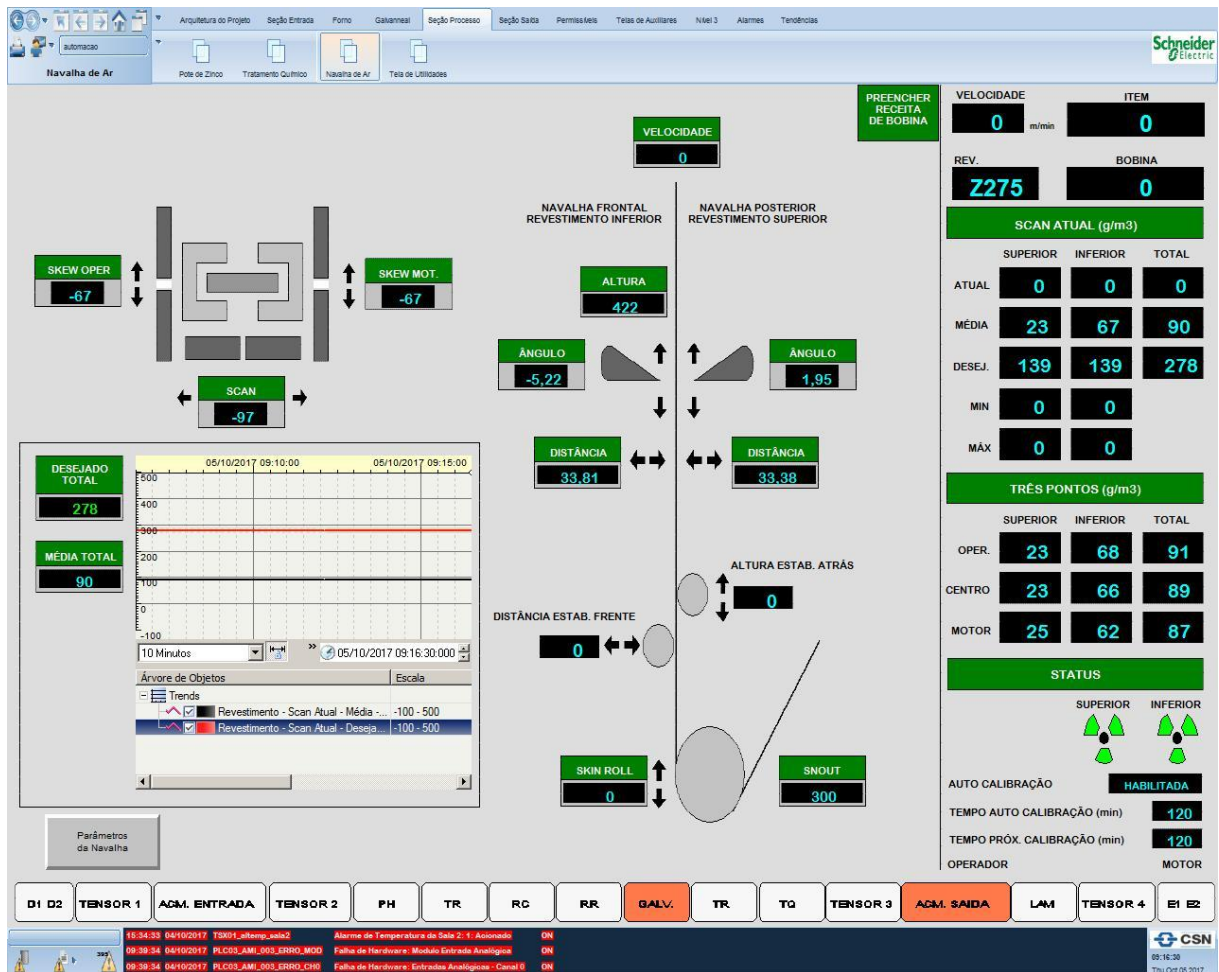


Figura 48 - Tela de supervisão para o revestimento de zinco antiga.

Fonte: CSN, 2017.

A Figura 49 representa a tela nova do processo de revestimento de zinco, onde estão englobados todos os acionamentos utilizados. Essa tela será implementada nos computadores da equipe de operação e na IHM com painel touch existente na cabine, a fim de facilitar o acionamento de comandos que devem ser acionados simultaneamente.

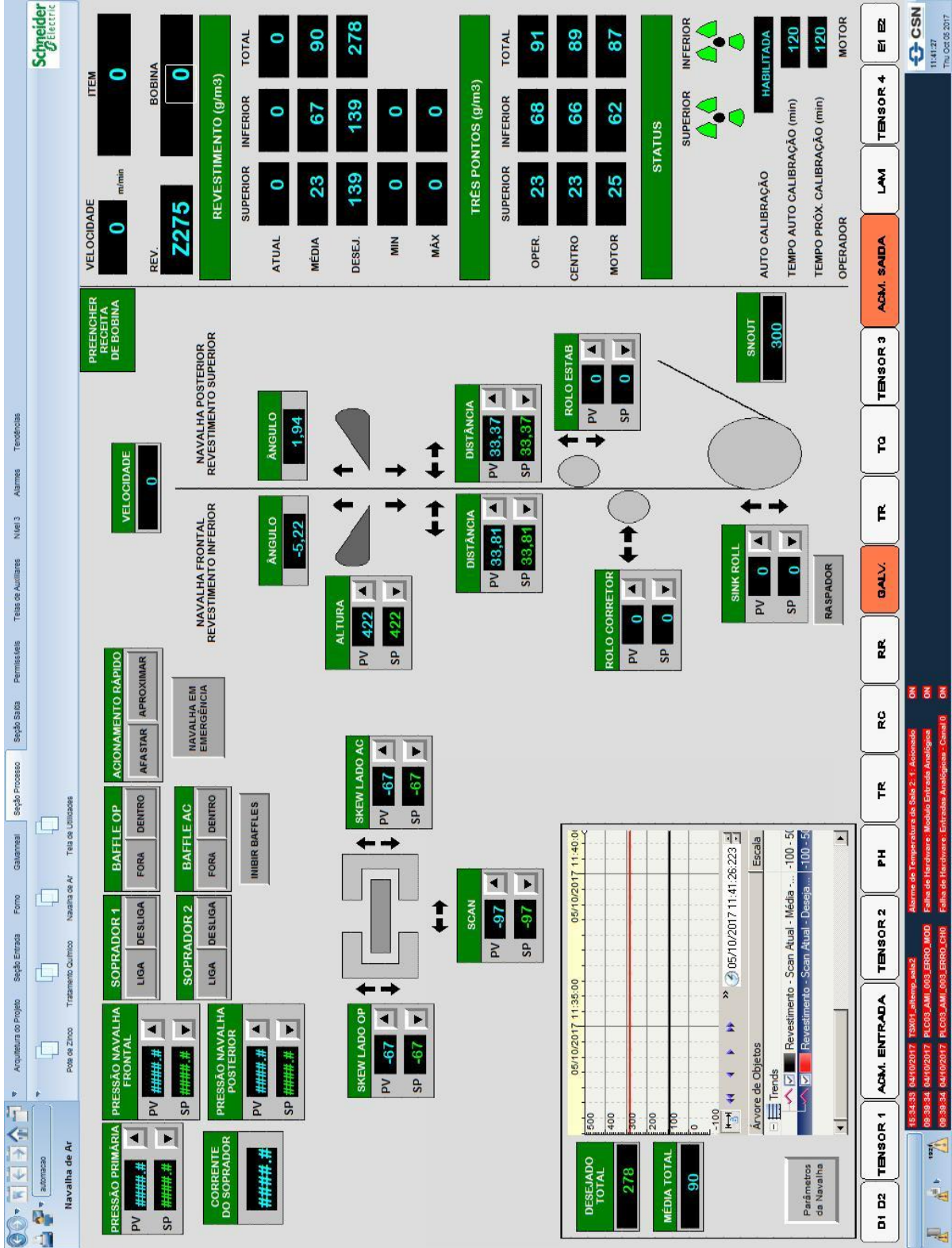


Figura 49 - Tela de supervisão para o revestimento de zinco nova.

Fonte: Autor, 2017.

3.4. Troca do PLC

Os componentes de hardware do controle atual realizado pelo S5 estão relacionados na Tabela 3, com a finalidade de comparação com os especificados para o S7.

Tabela 3 - Lista de materiais utilizados pelo S5.

| DESCRIÇÃO | REFERÊNCIA | QUANTIDADE |
|--|----------------|------------|
| Cartão de Entrada Digital 32*24V | 6ES5 420 4UA13 | 6 |
| Cartão de Saída Digital 32*24V | 6ES5 441 4UA13 | 3 |
| Cartão de Saída Digital 8*24V | 6ES5 441 8MA11 | 20 |
| Cartão de Entrada e Saída Digital 32*24V | 6ES5 482 8MA13 | 5 |
| Cartão de Entrada Analógica | 6ES5 465 4UA12 | 2 |
| Cartão de Saída Analógica | 6ES5 470 4UC12 | 2 |
| CPU 9288 | 6ES5 928 3UB11 | 1 |
| CP 525 | 6ES5 525 3UA21 | 1 |
| IP 260 | 6ES5 260 4UA11 | 3 |
| IM 308-B | 6ES5 308 3UB11 | 1 |
| IM 300-5 | 6ES5 300 5CA11 | 1 |
| IM 312-5 | 6ES5 312 5CA11 | 1 |
| ET200U | 6ES5 318 8MB11 | 1 |
| Isolador de sinal | | 17 |
| Fonte AC 230/115V | 6ES5 955 3LC14 | 2 |

Fonte: Autor.

Na Tabela 4 está a lista de materiais necessários, assim como seus custos, levando em conta sobressalentes dos mesmos, para a composição do hardware do S7.

Tabela 4 – Lista de materiais do S7.

| DESCRIÇÃO | REFERÊNCIA | QNT | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL |
|--|----------------------|-----|---------------|----------------|
| Cartão de Entrada Digital S7 x32 24VDC | 6ES7 321 1BL00 0AA0 | 6 | R\$ 1.446,68 | R\$ 8.680,08 |
| Cartão de Saída Digital S7 x32 24VDC | 6ES7 322 1BL00 0AA0 | 8 | R\$ 1.801,15 | R\$ 14.409,20 |
| Cartão de Entrada Analógica x8 | 6ES7 331 7NF00 0AB0 | 3 | R\$ 2.795,44 | R\$ 8.386,32 |
| Cartão de Saída Analógica x8 | 6ES7 332 5HF00 0AB0 | 3 | R\$ 5.107,01 | R\$ 15.321,03 |
| Cartão para Leitura de Posição | 6ES7338-4BC01-0AB0 | 5 | R\$ 3.382,61 | R\$ 16.913,05 |
| Fonte 24VDC 307 5ª | 6ES7 307 1EA01 0AA0 | 3 | R\$ 1.251,53 | R\$ 3.754,59 |
| ET 200 M | 6ES7 153 2BA02 0XB0 | 2 | R\$ 4.411,24 | R\$ 8.822,48 |
| CPU | 6ES7 317 2EK14 0AB0 | 1 | R\$ 37.367,03 | R\$ 37.367,03 |
| Trilho | 6ES7 390 1AJ300 0AA0 | 2 | R\$ 559,19 | R\$ 1.118,38 |
| Conector de 40 pinos | 6ES7 392 1AM00 0AA0 | 13 | R\$ 283,57 | R\$ 3.686,41 |
| Conector PROFBUS | 6ES7 972 0BA52 0XA0 | 2 | R\$ 181,23 | R\$ 362,46 |
| Cabo PROFBUS (100 metros) | SIEMENS-6XV1830 | 1 | R\$ 100,00 | R\$ 100,00 |
| | | | TOTAL | R\$ 118.921,03 |

Fonte: autor.

Utilizar-se-á a família S7-300 para a composição do novo hardware de controle, com a CPU 317-2 PN/DP, cuja folha de dados está no Anexo 5. O custo total para a troca do hardware do S5 pelo S7 equivale a R\$ 118.921,03.

A utilização de CPU e ET 200 com entradas Profibus e Ethernet integradas, descarta o uso dos cartões de comunicação CP, IP e IM, utilizados no S5, diminuindo o número de módulos necessários no S7.

Para receber as informações dos encoders absolutos, utilizar-se-á cartões para leitura de posição, cuja folha de dados está no Anexo 6.

3.5. Transposição da Lógica de Programação

Para obter o conhecimento básico necessário para a utilização do software do Step5 utilizou-se, principalmente, a apostila de “Operação e Programação Step5 Básico” da Siemens.

As linguagens de programação mais utilizadas no programa estudado são ladder, blocos e principalmente lista de instruções. Os blocos programados em lista de instruções tornam a interpretação do programa mais difícil, pois mesmo as funções lógicas mais simples não são escritas textualmente sem o risco de ficar incompleta ou mal interpretada.

A estrutura da programação do programa estudado é particionada, através dos seguintes blocos: OB1, bloco de organização; PB, bloco de programa; FB, bloco de funções; e DB, bloco de dados.

O PLC 90-30 da Ge Fanuc, responsável por controlar o medidor de revestimento, também realiza algumas funções do processo de revestimento de zinco, recebendo e enviando informações ao S5. A nova lógica de programação abrigará, primeiramente, apenas as funções básicas do processo de revestimento de zinco. Além de todas as funções possíveis realizadas pelo PLC da Ge, a fim de diminuir os erros causados pela comunicação entre os dois PLC's.

Atualmente o S5 conta com um hardware total, em questão de entradas e saídas utilizadas de:

- 21 canais de entrada analógica;
- 18 canais de saída analógica;
- 226 entradas digitais;
- 304 saídas digitais.

Reduzindo as entradas digitais de botões do painel de operação e saídas para as lâmpadas dos mesmos, que obtiveram suas funções passadas para o

supervisório. Assim como outras funções que não estão em uso e informações que eram enviadas ao PLC da Ge. Na nova lógica de programação, serão utilizados:

- 15 canais de entrada analógica;
- 9 canais de saída analógica;
- 102 entradas digitais;
- 152 saídas digitais;
- 11 canais do cartão de leitura de posição.

Diminuindo significativamente o número de cartões utilizados pelo hardware do S7.

As condições de operação dos equipamentos e funções das navalhas inseridas no S7 estão descritas nos tópicos seguintes. Cada tópico estará inserido em uma FB com sua própria DB, chamadas pelo OB1.

3.5.1. Sink Roll

Como permissível de operação da linha e para a movimentação do sink roll, a estrutura do mesmo deve estar travada. A trava é realizada de forma pneumática, através de um botão retentivo, localizado próximo ao pote, que quando energizado aciona duas válvulas em paralelo. Onde uma válvula trava o lado de acionamento e a outra, o lado de operação.

Para o feedback de trava da estrutura, o botão permanecerá com uma saída para a lâmpada do mesmo, indicando que o botão foi pressionado. Serão mantidos apenas os limites de trava fechada, sendo um para cada lado.

Os acionamentos de subir e descer o rolo serão mantidos no painel de operação, além de serem inseridos no supervisório. Para que os movimentos sejam realizados, cada botão aciona um relé, de modo que a inversão das fases do motor

seja realizada. Não se pode acionar os dois botões ao mesmo tempo, para isso existe um intertravamento físico e será inserido um intertravamento lógico.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites mecânicos já existentes, além de uma redundância realizada por limites lógicos através da indicação do encoder. A indicação de posição do rolo será visualizada através do display existente e no supervisório.

3.5.2. Rolo Corretor

Os acionamentos de aproximar e afastar o rolo da chapa serão realizados através supervisório. Onde cada botão, subir e descer, acionará um relé para que a inversão das fases do motor seja realizada. Não se pode acionar os dois botões ao mesmo tempo, para isso existe um intertravamento físico e será inserido um intertravamento lógico.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites mecânicos já existentes, além de uma redundância realizada por limites lógicos através da indicação do encoder. Sua indicação de posição será visualizada em um display no supervisório.

3.5.3. Rolo Estabilizador

Os acionamentos de subir e descer o rolo serão realizados através do supervisório. Para que os movimentos sejam realizados, cada botão aciona um relé, de modo que a inversão das fases do motor seja realizada. Não se pode acionar os dois botões ao mesmo tempo, para isso existe um intertravamento físico e será inserido um intertravamento lógico.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites mecânicos já existentes, além de uma redundância realizada por

limites lógicos através da indicação do encoder. A indicação de posição do rolo será visualizada através de um display no supervisório.

3.5.4. Raspador

O acionamento do raspador será realizado através de um botão retentivo no supervisório. Ao acionar o botão, uma válvula direcional é acionada fazendo com que o raspador limpe a superfície do rolo. O raspador irá voltar à posição inicial quando o botão for acionado novamente ou após 30s.

3.5.5. Altura das Navalhas

Os acionamentos de subir e descer a estrutura das navalhas serão realizados através do supervisório. Para que os movimentos sejam realizados, cada botão aciona um relé, de modo que a inversão das fases do motor seja realizada, sendo eles o 2K2 e 2K3 da Figura 50. Não se pode acionar os dois botões ao mesmo tempo, para isso existe um intertravamento físico e será inserido um intertravamento lógico.

Esses acionamentos podem ser realizados de forma lenta ou rápida, para isso são utilizados alguns relés na lógica elétrica. É utilizado um relé para realizar os movimentos de forma lenta, o 2K4 da Figura 50, realizando a ligação elétrica que alimenta o motor.

E outros dois para realiza-los de forma rápida, onde um relé muda o fechamento elétrico do motor, o 2K5, fazendo com que o mesmo possa se movimentar de forma rápida, e o outro faz a ligação elétrica que alimenta o motor, o 2K6 da Figura 50.

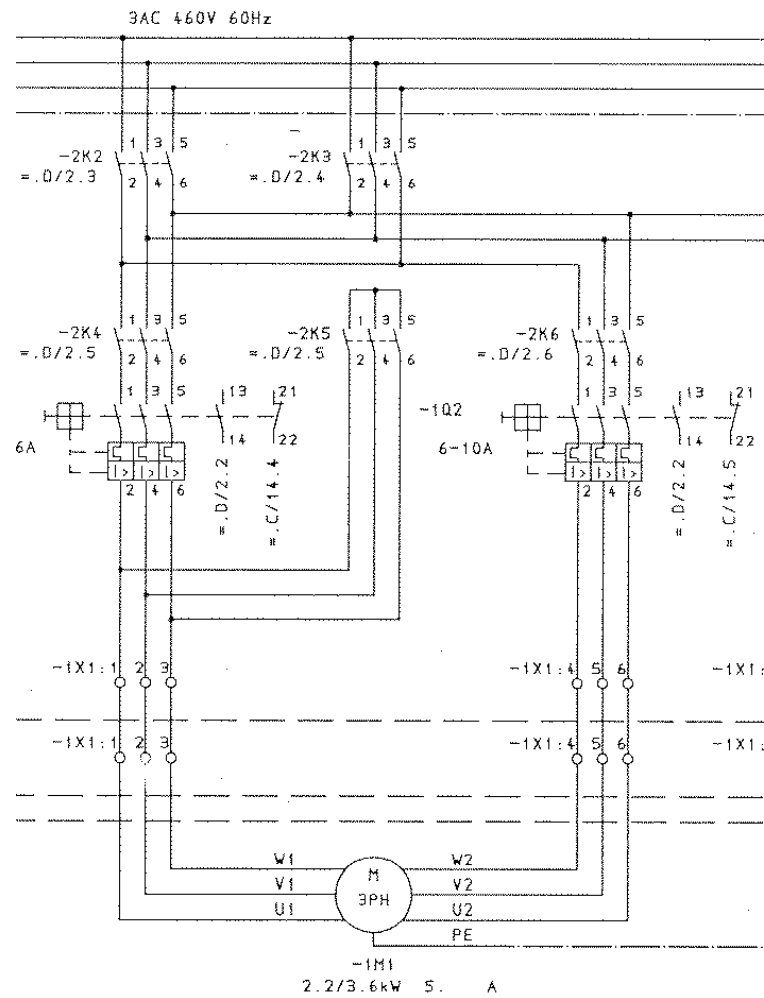


Figura 50 - Ligação elétrica do MIT para a altura das navalhas.

Fonte: CSN.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites mecânicos já existentes, além de uma redundância realizada por limites lógicos através da indicação do encoder. A indicação de posição da estrutura será visualizada através de um display no supervisor.

3.5.6. Distância das Navalhas

Os acionamentos de aproximar e afastar as navalhas, de forma lenta ou rápida, serão mantidos no painel de operação, além de serem inseridos no supervisório.

Para o controle do servo motor utilizar-se-á um drive para cada navalha, o qual recebe as informações de acionamento, velocidade e direção de rotação através do PLC.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder para cada navalha e limitados através de limites lógicos, utilizando a indicação do encoder para comparação com as distâncias máximas e mínimas. A indicação de posição da navalha será visualizada através de um display existente no painel de operação e pelo supervisório, sendo um para cada navalha.

3.5.7. Ângulo das Navalhas

Como o acionamento do ângulo é realizado de forma manual, no PLC estará apenas a indicação de posição do encoder com a finalidade de fazer um feedback no supervisório para o operador.

3.5.8. Abertura Rápida

Como permissível de operação da linha, a função de abertura rápida deve estar fechada e os conectores das navalhas devem estar conectados.

Os acionamentos de abrir ou fechar as navalhas de forma rápida serão mantidos no painel de operação, além de serem inseridos no supervisório.

Esse acionamento é realizado de forma pneumática, portanto quando o botão de fechar as navalhas for acionado, uma válvula é energizada. Para que as navalhas possam abrir, a válvula é desenergizada através de um intertravamento lógico.

3.5.9. Baffles

Os acionamentos de abrir e fechar os baffles serão mantidos no painel de operação, além de serem inseridos no supervisório.

É um movimento pneumático, portanto quando o botão de fechar os baffles for acionado, uma válvula é energizada. Para que eles possam abrir, a válvula é desenergizada através de um intertravamento lógico.

A abertura automática dos baffles será realizada quando a solda estiver à 10 m das navalhas e o fechamento dos mesmos será realizado quando a solda estiver 10 m depois das navalhas. Para bobinas de mesma largura, a função automática dos baffles poderá ser inibida através de um botão no supervisório.

3.5.10. Skew

Os acionamentos de movimentar verticalmente a estrutura das navalhas serão realizados através do supervisório.

O PLC envia um sinal de 4 a 20 mA ao inversor de frequência, para variar a velocidade do motor. Para o motor rodar para um lado o PLC envia um sinal para a entrada de acionamento do drive e para rodar para o outro lado, ele envia um sinal para uma entrada de inversão. Sendo um inversor para cada lado. (SIEMENS, 1995)

Não se pode acionar os dois comandos de um mesmo motor ao mesmo tempo, para isso será inserido um intertravamento lógico.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites lógicos através da comparação com a indicação do encoder. A indicação de posição da estrutura das navalhas será visualizada através de um display no supervisório, sendo um display para cada lado.

3.5.11. Scan

Os acionamentos de movimentar a estrutura das navalhas para o lado de operação e para o lado de acionamento serão realizados através do supervisório.

Para que os movimentos de scan sejam realizados, a altura da navalha não pode estar em movimento, caso ela seja acionada, o movimento do scan deverá parar.

O PLC envia um sinal de 4 a 20 mA ao inversor de frequência, para variar a velocidade do motor. Para o motor rodar para um lado o PLC envia um sinal para a entrada de acionamento do drive e para rodar para o outro lado, ele envia um sinal para uma entrada de inversão. (SIEMENS, 1995)

Não se pode acionar os dois comandos do motor ao mesmo tempo, para isso será inserido um intertravamento lógico.

Esses movimentos serão monitorados através de um encoder e limitados através de limites lógicos utilizando comparação com a indicação do encoder. A indicação de posição da estrutura das navalhas será visualizada através de um display no supervisório.

3.5.12. Ajuste de Pressão

Os acionamentos de ligar e desligar os sopradores serão mantidos no painel de operação e serão inseridos no supervisório, assim como a indicação de seus

valores de corrente e pressão de sucção. Para realizar esses acionamentos o PLC envia um sinal de ligar e um de desligar para cada soft starter.

Para o controle da válvula controladora, o set point é enviado através de um sinal analógico pelo PLC, com a finalidade de controlar a abertura e fechamento da válvula. Serão inseridos no PLC o feedback de abertura proporcional da válvula, assim como os feedbacks de válvula totalmente aberta ou totalmente fechada já existentes.

O controle de abertura ou fechamento da válvula de sucção será em função das válvulas das navalhas.

O feedback de pressão de cada válvula é realizado através de um transmissor, o qual envia um sinal analógico ao PLC. A indicação de pressão será mantida no painel de operação e será inserida no supervisório.

4. AVALIAÇÃO “CUSTO X BENEFÍCIO” DO RETROFIT

Para indicar a confiabilidade de um sistema, as empresas utilizam o indicador MTBF, sigla para Mean Time Between Failures em inglês, ou seja, o período médio entre falhas. O MTBF tem como base o tempo de operação útil do processo durante um período, onde quanto mais elevado for o MTBF, mais confiável é o sistema.

Assim o desafio é reduzir o número de falhas prolongando o MTBF e, conseqüentemente, o período de operação útil do processo.

Na Tabela 5 está representado o número de horas em que linha de processo esteve em operação durante os anos de 2015, 2016 e 2017.

Tabela 5 – Tempo de operação do processo.

| ANO | Nº DE DIAS | HORAS NO ANO | HORAS DE MP | HORAS DE OP |
|------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 2015 | 365 | 8760 | 1469,28 | 7290,72 |
| 2016 | 365 | 8760 | 701,73 | 8058,27 |
| 2017 | 293 | 7032 | 767,45 | 6264,55 |

Fonte: Autor, 2017.

Para o cálculo do MTBF foi utilizada a equação abaixo:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo de Operação Total} - \text{Tempo Total de Máquina Parada}}{\text{Número de Falhas}}$$

Na Tabela 6 estão as falhas encontradas nos períodos citados e os índices de MTBF anual.

Tabela 6 - Paradas da navalha.

| DATA | MOTIVO | TEMPO (h) | MTBF (h) | MTBF (dias) |
|-------------|-----------------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| 30/10/2015 | Troca de cartão | 7,55 | 7283,17 | 303,47 |
| 02/05/2016 | Troca de cartão | 4,33 | 8053,93 | 335,58 |
| 05/04/2017 | Desarme da Navalha | 2,00 | 3129,78 | 130,41 |
| 17/10/2017 | Queima do isolador de sinal | 3,00 | | |

Fonte: Autor, 2017.

O MTBF está em um padrão aceitável, mas não satisfaz a empresa em termos de qualidade do produto final e da manutenção do equipamento.

Analisando a falha de 2015 isoladamente, onde foi realizada a troca de um cartão do S5, percebemos dois dos principais problemas enfrentados pela equipe de manutenção atualmente.

Primeiro, foi necessário encontrar a falha e programar as ações corretivas sendo que, na ocasião, foi necessária a ajuda de um engenheiro especialista de outra área, por conta da falta de conhecimento do software Step5.

Depois, foi necessária a busca de um cartão para a realização da troca, em outra área, por conta da escassez existente de sobressalentes do mesmo.

Resultado: o tempo de parada da linha foi de aproximadamente 7h e 30 min, resultando em grave prejuízo para a empresa.

Considerando um possível lucro de R\$ 20.000,00 por hora, calculado com base na margem de lucro em reais por tonelada e a produção em toneladas por hora, durante o período necessário para realizar a ação corretiva descrita acima se conclui que a empresa teve uma perda estimada em R\$150.000,00.

A uma primeira vista se poderia considerar tal prejuízo irrisório.

Porém, no caso em concreto, trata-se de um equipamento instalado em 1989, que teve sua produção descontinuada, havendo sérias dificuldades para manutenção e obtenção de peças sobressalentes. Portanto, se pode concluir que ainda a médio prazo, as falhas e interrupções ocorram com maior frequência, ampliando os prejuízos para a empresa, como se pode ver nas falhas de 2017.

Considerando, ainda, o tempo levado para a identificação e correção das falhas citadas na Tabela 6, é possível calcular a média de tempo que a manutenção levou para repor o equipamento em condições de operar. Essa média é calculada através do índice MTTR, sigla em inglês para Mean Time To Repair, através da equação abaixo:

$$MTTR = \frac{\textit{Total de Horas Trabalhadas em Falhas}}{\textit{Número de Falhas}}$$

Sendo assim, o MTTR das falhas citadas se equivale a 4,22 horas. Tempo considerado elevado levando-se em consideração as tecnologias atuais, que possibilitam uma facilidade maior para a identificação das falhas.

Além das vantagens inicialmente citadas, com a troca do sistema de controle do processo estudado, ocorrerá também a redução do overcoating.

O overcoating, representado na Figura 51, consiste no desperdício de zinco, ou seja, quando há acúmulo de zinco nas bordas da chapa ou quando a camada de espessura está acima do que o necessário.



Figura 51 - Representação do overcoating em uma chapa de aço zincada.

Fonte: CSN.

Para aplicar a camada ideal de espessura, o operador faz os ajustes necessários da navalha, como dito anteriormente, e espera o feedback do medidor de espessura para verificar se mais algum ajuste será necessário.

Ocorre que na linha de produção em estudo, o medidor de espessura está localizado a uma distância de 130 m da navalha. Sendo assim, se os ajustes feitos pelo operador não resultaram na camada de espessura ideal, há uma perda significativa de zinco.

Essa perda se agrava quando há uma grande quantidade de transposição entre materiais, ou seja, quando ocorrem mudanças de materiais e espessura de zinco entre uma bobina e outra repetidamente.

Nestas hipóteses, o operador deve estar sempre alterando os ajustes da navalha, sendo que, dependendo da velocidade da linha, pode não ter tempo suficiente para estabilizar o processo.

Com o sistema de controle novo do processo de revestimento de zinco será possível realizar uma antecipação de receita, ou seja, o operador poderá optar por gravar os parâmetros ajustados para uma determinada espessura e tipo de material. Assim, quando os mesmos ajustes forem necessários novamente, o controle os fará automaticamente quando a bobina passar pela navalha.

A antecipação da atuação da navalha de ar fará com que os ajustes realizados possuam maior efeito na camada de zinco em um tempo menor, trazendo economia de zinco para a empresa.

Atualmente o overcoating da LZC 2 está com um índice de 4%, ou seja, de todo o zinco utilizado na linha de processo, 4% é através do overcoating. De acordo com o Engenheiro de Produção da LZC, esse índice poderá ser reduzido para 2,5%, aproximadamente, com o novo sistema de controle.

Utilizando o consumo de zinco de janeiro a setembro de 2017 e uma média para os meses restantes, para um índice de overcoating de 2,5%, a empresa economizaria cerca de 33,4 toneladas de zinco. O que, utilizando o preço atual de zinco, de acordo com o London Metal Exchange – LME, de R\$ 11.000,00 por tonelada, traria uma economia para a empresa de aproximadamente R\$ 367.000,00.

A redução do overcoating trará para a empresa, além da economia financeira, redução do tempo de exposição ao pote de zinco pelo operador, portanto mais segurança para o funcionário.

Além disso, haverá sensível redução de utilização de recursos naturais, favorecendo o meio ambiente.

Não se pode esquecer que a preocupação com o desenvolvimento sustentável é mundial. Havendo notícia de que diversos países vêm condicionando a compra de determinados produtos a uma certificação do sistema de gestão ambiental, através da família de normas ISO 14000, as quais indicam às empresas o que devem fazer para minimizar os impactos ambientais. A falta desta certificação certamente diminuirá as oportunidades de uma empresa brasileira na exportação de seus produtos. (GRAVINA, 2008)

Além de que, vivemos em um mundo altamente competitivo e alguns países podem impor tal certificação como medida protecionista para determinados parceiros comerciais, impedindo o ingresso de novos países no seleto grupo das maiores economias globais.

Por outro lado, o investimento necessário para correção da falha do processo é mínimo frente a todos os proveitos econômicos já destacados.

Em uma avaliação preliminar, estima-se que a substituição do sistema de controle do processo de revestimento de zinco possua o valor de R\$ 229.953,03.

Considerando o valor de custo em equipamentos, a empresa obterá um payback do valor investido em 7,5 meses, em relação à economia obtida através da redução do uso de zinco.

5. CONCLUSÃO

Com o avanço da tecnologia nos processos industriais, com destaque para a automação, faz-se necessário o uso de equipamentos com alto desempenho, capazes de suprir a demanda de produção.

A iniciativa de um retrofit se mostra muito importante, visto que traz inúmeros benefícios para a empresa, sem a necessidade de investimento em uma nova estrutura para o processo estudado. Tornando-se válida a aplicação do mesmo em outros equipamentos da linha.

Inicialmente, se apresentaram os requisitos básicos para um bom funcionamento do processo estudado. Em sequência, foram apresentadas as teorias abordadas pelos componentes de controle elétrico utilizados no processo atual e dos que os substituirão. Para então realizar uma avaliação da relação custo x benefício do retrofit neste processo.

A troca do PLC Step5 por seu predecessor Step7, assim como as outras trocas necessárias, possui um papel principal no desempenho do processo estudado, uma vez que proporciona benefícios de programação e controle a um custo razoável.

Por se tratar de um equipamento instalado em 1989, que teve sua produção descontinuada, havendo sérias dificuldades para manutenção e obtenção de peças sobressalentes. Pode-se concluir que as falhas e interrupções apresentadas neste trabalho ocorram com maior frequência, ampliando os prejuízos para a empresa.

De acordo com os dados levantados durante o desenvolvimento deste trabalho, pode-se perceber que a troca do sistema de controle do processo de revestimento de zinco traz inúmeros benefícios para a empresa, como, por exemplo: melhoria na qualidade do produto final; melhoria na manutenção do equipamento; exclusão de possíveis paradas; e redução do overcoating.

Fazendo com que o investimento necessário seja compensado rapidamente.

Como perspectiva de trabalhos subsequentes deste, pretende-se:

- Restaurar as funções automáticas e semiautomáticas da estrutura da navalha, que funcionaram por um curto período após o startup da linha de processo;
- Substituir os Soft Starters por Inversores de Frequência, realizando o controle automático dos sopradores;
- Implementar melhorias que as equipes de operação e manutenção julguem necessárias.

Vale ressaltar que as modificações estudadas neste trabalho são o pilar de qualquer outra alteração neste processo, as tornando indispensáveis para melhorar o desenvolvimento do mesmo.

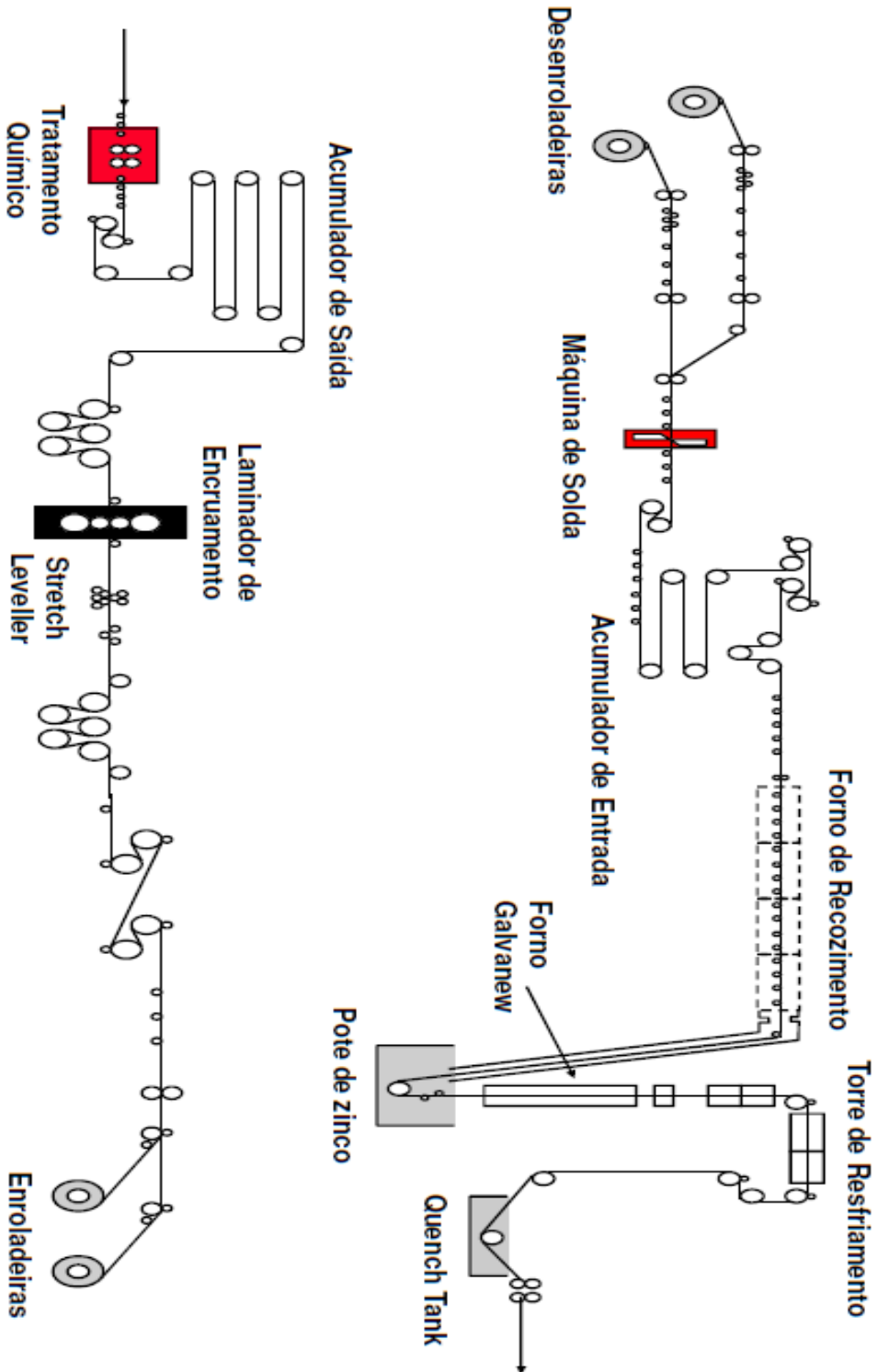
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Berger Lahr GmbH. **Manual WD5-008**: manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.], 1998. 58 p.
- [2] BRITES, Felipe Gonçalves; SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. Niterói – RJ [s.n.], 2008. 15 p. Trabalho Acadêmico. Universidade Federal Fluminense.
- [3] Companhia Siderúrgica Nacional. **Laminados Planos Zincados**: manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.]. 35 p.
- [4] Companhia Siderúrgica Nacional. **Manutenção Produtiva Total - TPM**. Volta Redonda – RJ, 2005.
- [5] Damec. **Aços planos aplicados na indústria automobilística**. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d4AcosPlanos.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.
- [6] Fischer. **1051 and 1052 Size 33 Actuators**: manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.], 2017. 32 p.
- [7] FLAUSINO, Danilo. **O Avanço do Retrofit no Brasil**. Disponível em: <<http://www.reformweb.com.br/single-post/2017/03/03/O-AVAN%C3%87O-DO-RETROFIT-NO-BRASIL>>. Acesso em: 11 set. 2017.
- [8] FOEN. **Manual de Operação**: manual de orientação técnica. 3.ed. [S.l.: s.n.], 1993.
- [9] FREIRE, Carlos. **Proteção contra corrosão**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/protecao-contracorrosao>>. Acesso em: 2 ag. 2017.
- [10] GRAVINA, Michele das Graças Pacheco. **O processo de certificação ISO 14001. Estudo de caso: a usina siderúrgica da Arcelormittal em Juiz de Fora – MG**. Juiz de Fora, 2008. 82 p. Monografia (Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [11] GONÇALVES, Cassiano. **Estudo entre fabricantes de controladores lógicos programáveis para uso em aplicações industriais**. Curitiba, 2009. 71 p. Monografia (Especialização em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [12] HENRIQUE, Hélio. **Motores Trifásicos de CA**. IFRJ – Rio Grande do Norte. 67 p.

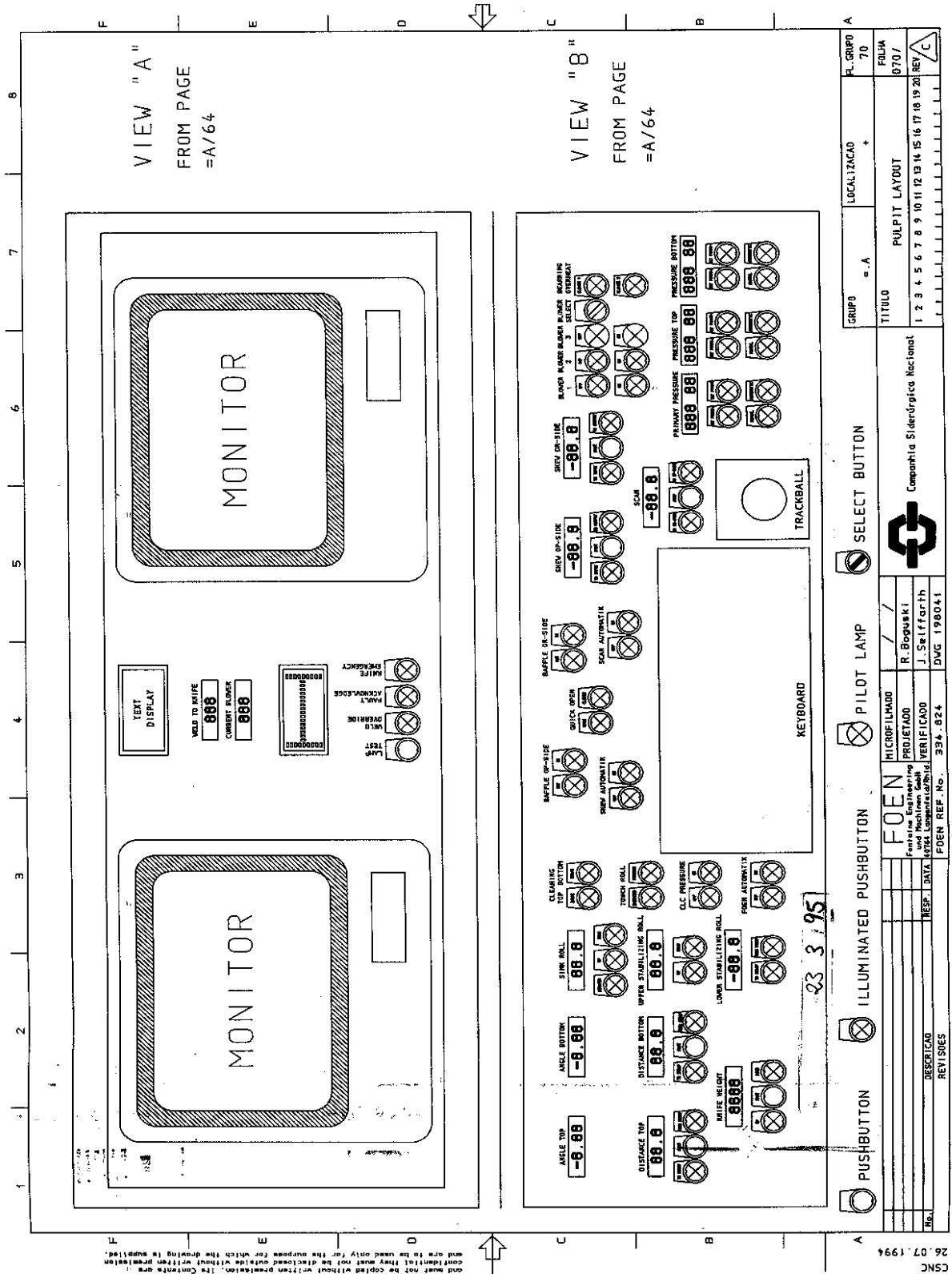
- [13] Logicbus. **Encoders.** Disponível em: <http://www.logicbus.com.mx/info_encoders.php>. Acesso em: 1 set. 2017.
- [14] London Metal Exchange. Disponível em: <<http://www.shockmetais.com.br/lme>>. Acesso em: 6 out. 2017.
- [15] Mundo da Elétrica. **O que é um Soft Starter?**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-soft-starter/>>. Acesso em: 13 ag. 2017.
- [16] PLC e Scada. Disponível em: <<http://plcscada.com/automacao/plc-o-basico-que-voce-precisa-saber-pt1/>>. Acesso em: 5 jul. 2017.
- [17] PLC 4 Good. Disponível em: <http://plc4good.org.ua/view_post.php?id=170>. Acesso em: 25 mai. 2017.
- [18] SANTOS, André. **Servomotores.** Porto Alegre – Rio Grande do Sul [s.n.], 2007.
- [19] SIEMENS. **Operação e Programação Step 5 Básico.** [S.l.: s.n.], 2000. 251 p.
- [20] SIEMENS. **SINAMICS S120:** manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.], [----]. 24 p.
- [21] SIEMENS. **SIMOVERT P:** manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.], 1995. 34 p.
- [22] SEGUNDO, Alan Kardek Rêgo e RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso Rodrigues. **Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos.** Ouro Preto – MG [s.n.], 2015. 130 p.
- [23] SILVEIRA, Paulo R. da e SANTOS, Winderson E. **Automação e Controle Discreto.** Tatuapé, Érica Ltda, 1 ed. 1999. 122 p.
- [24] SILVA, Clodoaldo. **Motores de Indução Trifásicos.** [S.l.: s.n.], 2006. 9 p.
- [25] Smar. **LD301 - Transmissor inteligente de pressão com controle PID incorporado:** manual de orientação técnica. [S.l.: s.n.], 2016. 120 p.
- [26] ZANCAN, Marcos Daniel. **Controladores Programáveis.** 3.ed. Rio Grande do Sul: Santa Maria - RS. 2011. 54 p.
- [27] ZERBINI, Prof. Dr. Euryclides de Jesus. **Controladores Lógicos Programáveis – Módulo Avançado.** Campinas, SP [s.n.], [----]. 178 p.

7. ANEXOS

Anexo 1 – Layout da LZC 2.



Anexo 2 - Layout da mesa de operação do Pote de Zinco e Navalha de Ar.



CSNC 26.07.1994

This drawing is the property of POKINGE ENGINEERING UND MASCHINEN GMBH and must not be copied without written permission. Its contents are confidential. They must not be disclosed outside without written permission. and are to be used only for the purpose for which the drawing is supplied.

Anexo 3 - Descontinuidade da família S5 pela Siemens.

Phase-Out of the SIMATIC S5 System - Update

The phase-out process of the SIMATIC S5 system as decided in 2002 has been revised.

The phase-out process of the SIMATIC S5 system as decided in 2002 has been revised.

Change of the phase-out strategy for SIMATIC S5.

The high migration rate from S5 to our S7 systems and the extension of the availability resulting therefrom have prompted us to adapt the phase-out strategy. The previously planned gradual phase-out of the S5-90U/95U/H/F/100U series on October 01, 2013, the S5-115U/H/F series on October 01, 2014 and the S5-135U/155U/H series on October 01, 2015 has now been revised.

A new measure is that the S5 products with no substitution or follow-on product in the S5 family, as well as the products introduced in the final stage, will remain available on a spare part basis until September 30, 2020.

The following products are excepted from this extension:

- CP 581: phase-out on September 30, 2015 as planned
- IP 246/247: phase-out on September 30, 2015 as planned
- Some cable types that have already been discontinued

Product availability:

In specific cases the availability of the required product can be checked using the Spares on Web (SoW) tool. The tool can be reached at Link <http://www.automation.siemens.com/sow>

Due to the fact that most modules are only stocked in limited quantities, they can only be ordered in reasonable amounts. In the case of larger quantities (>10) the availability must be checked on individual merit.

Furthermore, it must be expected that the availability of some products will decrease in the course of time. As a result the purchase of the affected modules will become more difficult.

- Stage one: the availability is limited to parts returned to and repaired by Siemens
- Stage two: the spare parts are only supplied on a turnaround basis (defective part must be returned to Siemens)
- Stage three: the spare parts are no longer available for purchase, but returned parts can be repaired.

As from stage two it is thus mandatory to return the old module.

The new phase-out strategy does not mean unrestricted availability of all S5 components until 2020, but can nevertheless help to reduce any possible pressure in the case of customer-specific transition scenarios.

Repairs:

The extension until 2020 also includes the repair and product support by our Customer Service.

Anexo 4 – Folha de dados do encoder 842A-31GB.

Installation Instructions Bulletin 842A Absolute Encoders

IMPORTANT: SAVE THESE INSTRUCTIONS FOR FUTURE USE.

Specifications

| Electrical | |
|----------------------------------|--|
| Code Format | Gray or Natural Binary |
| Code Direction | CW or CCW |
| Symmetry | 40% to 60% |
| Operating Voltage | 10-32V DC |
| Power Requirements | 150mA @ 5V (no load) |
| Max # of Steps/Revolution | 8192 |
| Max # of Revolutions | 8192 |
| Position Forming Time | 0.5msec |
| Delay on Power Up | 1050msec |
| Clock +, Clock -, Data +, Data - | Synchronous Serial Interface (SSI) RS-422 |
| CW/CCW | "L" active (L = 0-0.9V, H = 1.9 - 24V) |
| Mechanical | |
| Angular Acceleration | 5 x 10 ⁵ radians/sec ² |
| Moment of Inertia | 5 x 10 ⁻⁴ oz-in-sec ² (35 gcm ²) |
| Maximum Working Speed | 6000 RPM at max shaft loading |
| Maximum Operating Speed | 12,000 RPM |
| Starting Torque | 3.5oz in (2.5 Ncm) |
| Shaft Loading | Axial 11lb (50N) Radial 67lb (300N) |
| Environmental | |
| Housing | Aluminum |
| Temperature | -20°C to 85°C (-4°F to 185°F) operating -40°C to 100°C (-40°F to 212°F) max. working -40°C to 125°C (-40°F to 257°F) storage |
| Humidity | 98% noncondensing |
| Protection | NEMA Type 4, 13, IP67 (IEC 529): static shaft NEMA Type 4, 13, IP66 (IEC 529): moving shaft |
| Shook | 100g/6msec |
| Vibration | 20g/58-2000Hz, 1.5mm displacement (10-58Hz) |
| Approximate Weight | 0.5kg (18oz) |

Selection

842A — **31** **G** **B**
 a **b** **c**

a

| Code Type | |
|-----------|-------------------------------|
| Code | Description |
| 31 | 36mm Pilot, 10mm Shaft |
| 56 | 50mm Pilot, 6mm Shaft |

b

| Code Type | |
|-----------|------------------|
| Code | Description |
| G | Gray Code |
| N | Natural Binary |

C

| A-B Code | Pulses Per Rev. | SSI Bits MSB-LSB | No. of Revs. | SSI Bits MSB-LSB |
|----------|-----------------|------------------|--------------|------------------|
| A | 8192 | 12-24 | 2048 | 1-11 |
| B | 4096 | 13-24 | 4096 | 1-12 |
| C | 2048 | 14-24 | 8192 | 1-13 |
| D | 4096 | 13-24 | 512 | 4-12 |
| E | 4096 | 13-24 | 256 | 5-12 |

Electrical Connections

The 842A comes with an M23 connector. The mating connector, 845-12P, or pre-wired cable and connector assembly 845-CA-G-* must be ordered separately. See Encoder Accessories in the *Sensors* catalog.

| Function | Pin Number | Description |
|------------|------------|----------------------------|
| DC Return | 1 | Ground |
| Data + | 2 | SSI |
| Clock + | 3 | SSI |
| DC + Input | 8 | 10-32V DC 150mA no load |
| Reset | 9 | ⓪ |
| Data - | 10 | SSI |
| Clock - | 11 | SSI |
| CW/CCW | 12 | See below ⓪ |

- ⓪** Reset to zero is enabled when Pin 9 is momentarily connected to DC+ Input.
- ⓪** When pin 12 is connected to DC + (or left floating), the 842A will count UP when the shaft is turned CW when looking at the shaft. When pin 12 is connected to DC return, the 842A will count UP when the shaft is turned in the CCW direction when looking at the shaft.

IMPORTANT: Wiring must be in accordance with the National Electric Code and applicable local codes and ordinances.

Mounting Instructions

1. Be sure to select the proper size flexible coupling clamp to mate to the encoder shaft, e.g., 845-FC-*-* . See Encoder Accessories in Sensor catalog.

IMPORTANT: Do not rigidly connect the encoder shaft to the machine; this will cause premature failure of the encoder or machine bearings. Always use a flexible coupling.

2. Use the dimension drawings to determine the encoder mounting hole locations.
3. Slide the flexible coupling onto the shaft, but do not tighten the set screws.
4. Mount the encoder and tighten with three size M4 mounting screws (not supplied).
5. Center the flexible coupling and tighten the set screws.
6. Rotate the machine slowly and verify that the flexible coupling is not deforming beyond specifications.
7. Align machine to its mechanical zero or home position. Remove slotted cover located on the back of the encoder and press the Reset button to make the encoder count zero. Replace cover.

Anexo 5 – Folha de dados da CPU 317-2 PN/DP.

SIEMENS

Product data sheet

6ES7317-2EK14-0AB0



SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP,
CENTRAL PROCESSING UNIT WITH 1 MB WORKING
MEMORY,
1. INTERFACE MPI/DP 12MBIT/S,
2. INTERFACE ETHERNET PROFINET,
WITH 2 PORT SWITCH,
MICRO MEMORY CARD NECESSARY

| General information | |
|--|-----------------------|
| Hardware product version | 01 |
| Firmware version | V3.2 |
| Engineering with | |
| Programming package | STEP7 V 5.5 or higher |
| Supply voltage | |
| 24 V DC | Yes |
| permissible range, lower limit (DC) | 20.4 V |
| permissible range, upper limit (DC) | 28.8 V |
| External protection for supply cables (recommendation) | 2 A min. |
| Mains buffering | |
| Mains/voltage failure stored energy time | 5 ms |
| Repeat rate, min. | 1 s |
| Input current | |
| Current consumption (rated value) | 750 mA |
| Current consumption (in no-load operation), typ. | 150 mA |
| Inrush current, typ. | 4 A |
| I _t | 1 A ² ·s |
| Power losses | |

Anexo 6 - Folha de dados do cartão para leitura de posição do encoder.

SIEMENS**Data sheet****6ES7338-4BC01-0AB0**

SIMATIC S7-300, SIGNAL. MODULE FOR 3 SSI SENSORS FOR READ-IN OF POSITIONING VALUE WITH 2 FREEZE INPUTS , 1 X 20 PIN, SUPPORTS ISOCHRON MODE



Figure similar

| Supply voltage | |
|---|------------------|
| Load voltage L+ | |
| <ul style="list-style-type: none"> Rated value (DC) | 24 V |
| <ul style="list-style-type: none"> permissible range, lower limit (DC) | 20.4 V |
| <ul style="list-style-type: none"> permissible range, upper limit (DC) | 28.8 V |
| Input current | |
| from load voltage L+ (without load), max. | 100 mA |
| from backplane bus 5 V DC, max. | 160 mA |
| Encoder supply | |
| 24 V encoder supply | |
| <ul style="list-style-type: none"> 24 V | Yes; L+ (-0.8 V) |
| <ul style="list-style-type: none"> Output current, max. | 900 mA |
| Power loss | |
| Power loss, typ. | 3 W |
| Digital inputs | |