Instituto Politécnico de Tomar

www.ipt.pt

SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO EM UNIDADES DE INJEÇÃO - Rui Miguel Ferreira Gonçalves

2014

ipt.pt

Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO EM UNIDADES DE INJEÇÃO

Relatório de Estágio

Rui Miguel Ferreira Gonçalves

Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Especialização em Controlo e Electrónica Industrial

Tomar/Novembro/2014

Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Rui Miguel Ferreira Gonçalves

SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO EM UNIDADES DE INJEÇÃO

Relatório de Estágio

Orientado por:

Doutor Gabriel Pires
Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Relatório de Estágio
apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica- Especialização em Controlo e Eletrónica Industrial

RESUMO

Visando a indústria da moldagem por injeção e descrevendo todo o processo produtivo, desde a máquina injetora, o processo de injeção e o molde, este trabalho é realizado na base do desenvolvimento de diversas máquinas secundárias capazes de transformar uma máquina injetora de um só componente numa máquina injetora multi-componente, permitindo que qualquer indústria ligada à moldagem por injeção tenha a capacidade de fazer peças com vários componentes por ciclo de injeção. Para isso e além de uma apresentação das diversas unidades de injeção, comparando as capacidades de cada, é efetuado um estudo abrangente de toda a cadeia sensores-atuadores, desde o funcionamento, a transmissão e conversão dos sinais, assim como os sensores e atuadores dos pratos rotativos os quais permitem a rotação do molde para as diversas injeções.

Palavras – chave: Máquinas Injeção, Sensores, Atuadores

ABSTRACT

Aiming the injection molding industry e describing all the production process, since the injection machine, injection process and the mold, this work is realized on the basis of the development of several secondary machines capable of transforming a one shot injection machine to multi shot injection machine, allowing that any industry connected to injection molding have the ability to make multi components pieces per injection cycle. For that and besides the presentation of the several injection units, comparing the capabilities of each, it's made a study of the entire sensors-actuators chain, since its working, signals transmission and conversion, as well as sensors and actuators from the rotary tables which allow the rotation of the mold to its several injections.

Keywords: Injection Machines, Sensors, Actuators

Índice

Índice de Figuras XII
Índice de Tabelas XVI
Lista de Abreviaturas XVII
Introdução 1
Parte I - Descrição da empresa 3
1.1. A empresa 3
1.2. Missão e Visão 3
1.3. Localização 4
1.4. Mercados 4
1.5. Estrutura Hierárquica da empresa 5
1.6. Abordagem por processos 5
1.6.1. Sequência e Interação dos Processos 6
Parte II - Breve introdução teórica 7
2.1. Moldagem por Injeção 7
2.2. Máquina Injectora 8
2.3. Molde de Injeção 9
2.4. O processo de Injeção 11
Parte III – Produção de equipamentos 14
3.1. Equipamentos desenvolvidos na Plasdan 14
3.2. Unidades de Injeção 15
3.2.1. Unidades EL.0028 / EL.0120 15
3.2.2. Unidades EL.0300 / EL.0600 17
3.2.3. Unidade EL.0003, “Micro” 18
3.3. Prato rotativo 19
3.4. C-Frame 20
Parte IV – Sensores 21

4.1. Características Gerais 21
4.1.1. Módulos de Interface 23
4.1.1.1. Módulos de Entrada 23
4.1.1.2. Módulos de Saída 25
4.2. Sensores 26
4.2.1. Sensor Pressão 26
4.2.2. Sensor de temperatura 29
4.2.3. Sensor Resistivo Linear de Deslocamento 33
4.2.4. Fim de curso 37
4.2.5. Encoders 38
4.2.5.1. Encoder Incremental 39
4.2.5.2 Encoder Absoluto 41
4.2.6. Sensor efeito Hall 44
4.2.7. Sensores de proximidade 45
4.2.7.1 Sensor Magnético tipo Reed – Switch 45
4.2.7.2 Sensor proximidade indutivo 47
Parte V – Atuadores 55
5.1 – Motores elétricos 55
5.1.1 – Motor Assíncrono 56
5.1.2 – Servomotor 60
5.2 – Resistências Elétricas de Aquecimento 62
5.3 – Válvula Solenoide 63
5.4 – Cilindro Pneumático 65
Parte VI – Cadeia de Comando 67
6.1 – Variador Eletrónico de Frequência 67
6.1.1 – PWM – Modulação de Largura de Impulsos 72

6.2 – Relé de Estado Sólido.....74

Parte VII – Trabalho prático.....76

Conclusão.....81

Referências Bibliográficas.....82

Anexos.....84

Anexo I – Características construtivas das unidades de injeção.....84

Anexo II – Esquema de ligação das resistências elétricas.....85

Índice de Figuras

Figura 1- Aspecto exterior da Plasdan Automação e Sistemas 4
Figura 2– Estrutura Hierárquica da empresa 5
Figura 3 – Processos de Gestão 6
Figura 4 – Posicionamento dos principais materiais plásticos 7
Figura 5 – Constituição geral de uma máquina injectora 8
Figura 6 – Imagem e constituição típica de um molde 10
Figura 7 - Fecho do molde, iniciando-se o ciclo 11
Figura 8 - Injeção com o avanço do fuso da máquina 11
Figura 9 - Pressurização, onde é exercida uma segunda-pressão 12
Figura 10 - Extração da peça moldada, depois do molde ser aberto 12
Figura 11 – Representação do ciclo de injeção 13
Figura 12 – Enquadramento das funções da oferta Plasdan 14
Figura 13 – EL.0028 com base funcionamento horizontal 16
Figura 14 – EL. 0120 de funcionamento vertical 16
Figura 15 – Unidade EL.0300 em testes. 17
Figura 16 – Unidade EL.0600 colocada em base para funcionamento horizontal 18
Figura 17 – Unidade EL.0003 em várias perspectivas 18
Figura 18 – Principio de funcionamento da unidade EL.0003 19
Figura 19 – Prato Rotativo 20
Figura 20 – Fixação e princípio de funcionamento do C-Frame 20
Figura 21 – Histerese 22
Figura 22 – Diferença entre sensor exato e preciso 22
Figura 23 – Resposta não-linear e linear 22
Figura 24 – Sensor de 3 fios PNP 24

Figura 25 – Sensor de 3 fios NPN 24

Figura 26 – Exemplo de circuito de entrada analógico.....24

Figura 27 – Exemplo de circuito de saída digital a transístor 25

Figura 28 – Exemplo de saída analógica.....25

Figura 29 – Ponte completa de Wheatstone. 27

Figura 30 – Esquemático de ligação (esquerda), esquema do sensor e pinos de ligação (direita).....28

Figura 31 – Acoplamento do sensor de pressão na unidade EL.0028 28

Figura 32 – Junção de medição (T1) e junção de referência (Tr).....29

Figura 33 – Correlação da fem e temperatura dos termopares.....31

Figura 34 - Diferentes tipos de configuração da junção 32

Figura 35 – Código de cores dos termopares tipo J e T.....32

Figura 36 – Termopar aplicado numa unidade.....33

Figura 37 – Sensor resistivo de deslocamento ilustrando os 3 pontos de ligação 34

Figura 38 – Esquema elétrico de um potenciómetro de deslocamento linear 34

Figura 39 – Efeito na resistência da carga.....35

Figura 40 – Esquemático de ligação da régua (esquerda) e pinos de ligação (direita).....36

Figura 41 – Sensor resistivo Linear de deslocamento aplicado na EL.0600.....36

Figura 42 – Constituição típica de um fim de curso 37

Figura 43 – Diferentes tipos de acionamento em fins de curso.....38

Figura 44 – Encoder incremental com 1 pista(a) e 3 pistas (b) 39

Figura 45 – Deteção do sentido de rotação no encoder incremental 40

Figura 46 – Montagem e constituição de um encoder incremental.....40

Figura 47 – Codificador absoluto com binário natural (a) e código Gray (b).....41

Figura 48 – Exemplo de encoder com 12 pistas.....42

Figura 49 – Encoder absoluto de múltiplas rotações 43

Figura 50 – Principio funcionamento do efeito Hall 44
Figura 51 – Constituição sensor Reed-Switch e seu funcionamento.....45
Figura 52 – Campo de operação do sensor CST-220 46
Figura 53 – Sensores Reed-Switch CST-220 colocados no cilindro pneumático 47
Figura 54 – Componentes de um sensor indutivo 47
Figura 55 – Bobina e armadura de sensor de entreferro variável.....48
Figura 56 – Redução amplitude com aproximação do alvo 49
Figura 57 – Ponto de disparo ou Set point de um sensor indutivo 49
Figura 58 – Exemplificação do alvo-padrão 50
Figura 59 – Sensores indutivos blindados e não blindados.....51
Figura 60 – Sensor tipo embutido numa estrutura metálica 52
Figura 61 – Sensor não embutido 52
Figura 62 – Tabela de distância livre para sensores semi-embutidos.....52
Figura 63 – Histerese no sensor de indução 53
Figura 64 – Esquemático de ligação e pinos 53
Figura 65 – Sensores indutivos aplicados no prato rotativo.....54
Figura 66 – Diferentes tipos de motores elétricos 55
Figura 67 – Campo Magnético girante 57
Figura 68 – Constituição de um motor de indução.....58
Figura 69 – Curvas binário x velocidade e corrente x velocidade com tensão e frequência constante.....59
Figura 70 – Motor indução.....59
Figura 71 – Características desejadas num servomotor.....60
Figura 72 – Campo girante e fluxos por fase 61
Figura 73 - Servomotor.....61
Figura 74 – Constituição de uma resistência com isolamento de mica 62

Figura 75 – Constituição do cabo de ligação das resistências.....62

Figura 76 – Válvula solenoide fechada.....63

Figura 77 – Válvula solenoide ligada.....64

Figura 78 – Válvula solenoide pneumática para a atuação do "Lock" de um prato rotativo 64

Figura 79 – Constituição de um cilindro pneumático.....65

Figura 80 – Cilindro de dupla ação.....66

Figura 81 – Variação da frequência.....68

Figura 82 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência.....68

Figura 83 – Representação esquemática de um inversor frequência.....69

Figura 84 – Relação tensão-frequência constante.....70

Figura 85 – Efeito da compensação I x R.....71

Figura 86 – Variador Eletrónico de Velocidade.....72

Figura 87 – Exemplo de sinal PWM.....72

Figura 88 – PWM implementado com diferentes ondas portadoras.....73

Figura 89 – Diferença do sinal PWM com natural-sampling e regular-sampling.....74

Figura 90 – Configuração de um Relé de Estado sólido.....74

Figura 91 – Relés de Estado Sólido.....75

Figura 92 – Pinos de ligação dos miolos macho e fêmea de 16 pinos.....77

Figura 93 – Tubo de ligação à unidade e pinos de ligação do miolo macho de 24 pinos.....77

Figura 94 – Ligação dos cabos nos miolos das tampas.....78

Figura 95 – Visão geral do quadro.....79

Figura 96 – Implementação interface Euromap.....80

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Diferentes tipos de termopares, elementos constituintes e respetiva gama de temperatura de trabalho.....30

Tabela 2 – Protocolo transferência palavra 25bits.....43

Tabela 3 – Fatores de correção para sensores indutivos.....51

Lista de Abreviaturas

V – Diferença de potencial [V]

I – Corrente elétrica [A]

R – Resistência elétrica [Ω]

f – frequência [Hz]

Vi/Vin – Tensão de entrada [V]

V_0 /Vout – Tensão de saída [V]

MEMS – Micro Eletric Mechanical System

ΔR – Variação da resistência [Ω]

ρ – Resistividade [m.Ω]

ΔV – Variação da tensão [V]

S – Coeficiente Seebeck

Δt – Variação da temperatura

T1 – Junta quente

Tr – Junta fria

f.e.m. – força eletromotriz [V]

E_{AB} - fem induzida entre A e B [V]

R_0 – Resistência variável [Ω]

R_x – Resistência fixa [Ω]

PLC – Autómato programável

NA – Normalmente aberto

NF – Normalmente fechado

MSB – Most Significant Bir

LSB – Less Significant Bit

V_H – Tensão Hall [V]

B – Densidade de Campo Magnético [T]

L – Auto-Indutância [H]

S_n – Distância nominal de Atuação [mm]

S_r – Distância real de Atuação [mm]

S_u – Distância efetiva de Atuação [mm]

S_a – Distância de funcionamento com Segurança [mm]

s – escorregamento

p – pares de polos

n – velocidade do campo girante [r.p.m]

ns – velocidade de sincronismo [r.p.m.]

F – Força Magnetomotriz [Ae]

X_L – Reatância Indutiva [Ω]

Introdução

No âmbito da unidade curricular de estágio do 2º ano do Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Especialização em Controlo e Eletrónica Industrial, surgiu a oportunidade de realizar estágio curricular na empresa Plasdan Automação e Sistemas, Lda. localizada na Marinha Grande. O estágio teve a duração de nove meses, tendo-se iniciado em Janeiro e finalizado em Outubro.

Sendo uma empresa que desenvolve e constrói máquinas secundárias para o processo de injeção de plástico por moldagem, ou seja, unidades de injeção de plástico e pratos rotativos, o objetivo do estágio seria desenvolver um estudo de toda a cadeia de automação implementada, tanto nas unidades de injeção como nos pratos rotativos, com foco na instrumentação utilizada definindo o seu funcionamento e condicionamento de sinais, na transmissão e interfaces de entradas e saídas do PLC e ainda na cadeia de atuação implementada.

Neste relatório estão presentes os diversos estudos efetuados, tanto no sentido de integração no trabalho de campo a realizar como no intuito de obter uma análise critica face aos métodos estabelecidos e orientadores de trabalho.

Na parte I do relatório é apresentada a empresa Plasdan, onde se refere as principais áreas de negócio e mercados onde atua, a sua localização e uma breve referência ao sistema de qualidade.

Na parte II é descrito o processo de injeção de plástico por moldagem, abordando os diferentes aspetos que o compõem, ou seja, a máquina injetora, o processo de injeção e o molde.

Na parte III faz-se uma descrição das diferentes máquinas produzidas, desde as unidades de injeção, os pratos rotativos e o C-Frame, abordando as suas características e capacidades.

Na parte IV são apresentados os diversos sensores que constituem a instrumentação usada nas diversas máquinas, desde o seu funcionamento até ao acondicionamento e transmissão de sinais.

Na parte V são analisados os diversos atuadores presentes nas máquinas, desde o seu funcionamento até à sua importância ativa de atuação.

Na parte VI são descritos alguns elementos da cadeia de controlo do processo, desde o funcionamento do controlador de velocidade do motor de indução ao relé de estado sólido do circuito de comando das resistências de aquecimento.

Na parte VII é feita uma descrição do trabalho realizado nas suas diferentes vertentes, desde a montagem e ligação dos componentes nas unidades, a transmissão dos diversos sinais ao quadro elétrico e as diversas tarefas de ligação e montagem no quadro elétrico.

De seguida, é apresentada uma conclusão e reflexão final face ao objetivo do estágio.

A bibliografia e os anexos encerram a apresentação deste relatório.

Parte I - Descrição da empresa

1.1. A empresa

A Plasdan Automação e Sistemas, Lda, iniciou a sua atividade em 2008 e integra o grupo Plasdan, que iniciou a sua actividade em 1989 e está presente em Portugal e na Dinamarca tendo agentes em mais de 10 países, exportando mais de 90% da produção.

O grupo, através da Plasdan Automação, tem uma forte presença e reconhecimento no mercado mundial da injeção de multi-componente, liderando tecnologicamente o sector, fornecendo sistemas/células de produção flexíveis para indústria de plásticos. Conta com mais de 10 patentes registadas e desenvolve atividade empresarial na engenharia e fabrico de bens e equipamentos para injeção de multi-componente, energias renováveis e construção (engenharia de divisórias manobráveis).

A Plasdan tem por missão ir de encontro às expectativas e necessidades dos seus clientes. Para tal, procura estabelecer parcerias com os mesmos, visando fornecer-lhes a melhor solução em termos de equipamentos para transformação de termoplásticos, bem como fornecer-lhes moldes de qualidade nos prazos de entrega estipulados.

O sucesso da empresa ao longo destes anos baseia-se numa relação de confiança mantida com os seus clientes, alicerçada num espírito constante de cooperação e entreajuda sustentado num sólido conhecimento e na qualidade dos seus recursos humanos.

1.2. Missão e Visão

Permitir que os clientes, especialmente os da indústria transformadora de plásticos, sejam rentáveis, eficientes e sustentáveis.

Desenvolver e produzir os sistemas mais eficientes e inovadores “Add-On”, para a indústria transformadora de plásticos.

1.3. Localização

A Plasdan Automação e Sistemas, Lda, localiza-se na cidade da Marinha Grande, Rua de Moçambique.

A empresa ocupa uma área total de 2606 m2 com área coberta de 1303 m2 , colaborando nesta cerca de 25 indivíduos.

Figura 1- Aspecto exterior da Plasdan Automação e Sistemas

1.4. Mercados

A atividade da empresa encontra-se dividida em duas grandes áreas, a área de Equipamentos e a área de Moldes.

Em cada umas destas áreas, destacam-se os seguintes Mercados e Indústrias nas quais se enquadram os clientes atuais.

<u>Área Equipamentos</u>

Mercados: Nacional e Internacional

Principais Indústrias Clientes: Comp. Automóvel, Comp. Eléctricos, Embalagem, Utilitários.

Área Moldes

Mercados: União Europeia, Brasil, Estados Unidos da América.

Principais Indústrias Clientes: Telecomunicações, Comp. Automóvel, Electrodomésticos, Embalagem, Componentes Elétricos.

1.5. Estrutura Hierárquica da empresa

Esta empresa tem um administrador responsável pelos respectivos departamentos existentes.

Figura 2– Estrutura Hierárquica da empresa

1.6. Abordagem por processos

O Sistema de Gestão de Qualidade da Plasdan assenta numa abordagem por processos, os quais interagem dinamicamente no sentido da plena satisfação dos clientes, colaboradores e partes interessadas face aos seus requisitos, expectativas e necessidades, de modo a

proporcionar a melhoria contínua da empresa, baseada no ciclo **PDCA**: Planear, Executar, Controlar e Agir.

Um Processo é um "conjunto de atividades interrelacionadas e inter-atuantes que transformam entradas em saídas" (ISO 9000).

1.6.1. Sequência e Interação dos Processos

Para estruturar a Plasdan de modo a ser gerida por processos de uma forma integrada e dinâmica, foram identificados os seguintes Processos:

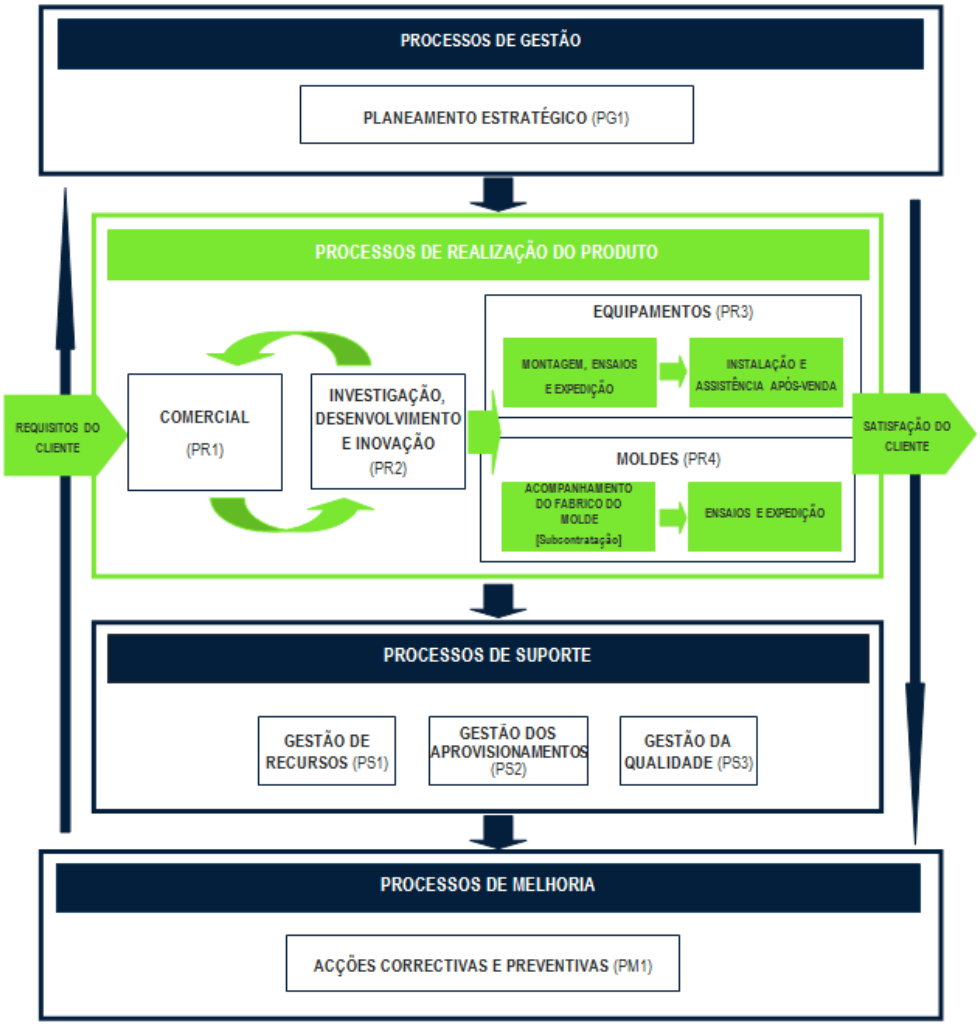


Figura 3 – Processos de Gestão

Parte II - Breve introdução teórica

2.1. Moldagem por Injeção

Pioneiros nos equipamentos de injeção, os irmãos Hyatt desenvolveram uma máquina com um cilindro de aquecimento dotado de câmaras aquecidas a vapor. Tinha um bico para descarregar o material transportado por um êmbolo o qual era acionado hidraulicamente.
Todo o processo, desde as máquinas (da hidráulica à elétrica) aos materiais, teve um grande desenvolvimento a partir de meados do século XX.
Essencialmente, existem dois tipos de materiais plásticos moldáveis: [1]

- Os termoplásticos, capazes de efetuar vários ciclos de aquecimento/fusão e arrefecimento/solidificação;
- Os termofixos, os quais após o aquecimento-solidificação, tornam-se insolúveis, não podendo voltarem a fundir.

Na figura 4 encontramos o posicionamento de diversos materiais face a propriedades mecânicas.

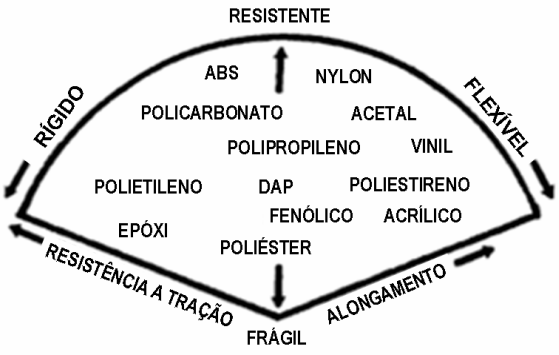


Figura 4 – Posicionamento dos principais materiais plásticos

Sendo um dos principais processos na transformação de materiais plásticos, detém grande importância nos variados mercados como o automóvel, médico, setor energético, embalagens, eletrónica.
A moldagem por injeção é o processo mais usado para a transformação de termoplásticos, contando com uma elevada produção e rapidez, grande reprodutibilidade, diversidade de peças, precisão dimensional e um amplo intervalo de produção relativo às suas dimensões, ou seja, desde as micro-injeções até peças com mais de 100kg.

Para se efetuar a moldagem por injeção, existem etapas sequenciais de operação a efetuar. Após a entrada de material, este deve ser aquecido até à sua plastificação (estar derretido), transportado pelo fuso, dentro do cilindro, até à sua extremidade e, posteriormente, ser empurrado e injetado dentro do molde de forma a preencher a cavidade da peça dentro do molde. Após o arrefecimento, a peça é extraída do molde.

2.2. Máquina Injectora

A máquina injetora injeta material fundido, plastificação, numa cavidade de um molde o qual possui a forma desejada do produto. Esta é constituída por 5 áreas complementares, conforme figura abaixo: [2]

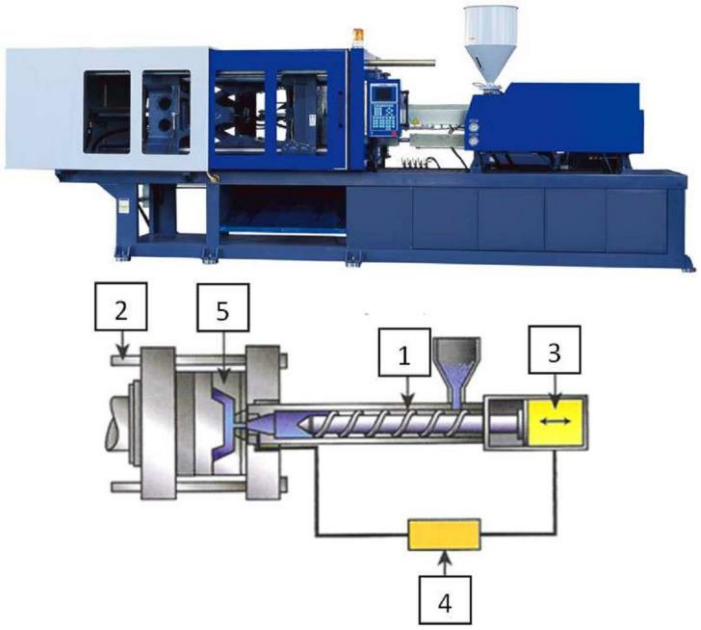


Figura 5 – Constituição geral de uma máquina injectora

(1) É a unidade de injeção da máquina injetora. Após entrada de material na tremonha até à sua base, garante que este é transportado e aquecido (plastificação do material) até ao bico de injeção. Na altura correta, garante igualmente a injeção do material no molde.

(2) Unidade de fecho da máquina, ou seja, além da fixação do molde, garante a abertura e fecho do molde durante os ciclos de trabalho. Possui igualmente os elementos de extração das peças do molde após o arrefecimento.
(3) Na unidade de potência, por noma um sistema hidráulico é acionado por um motor elétrico o qual fornece a pressão necessária à unidade de injeção.
(4) Sendo a unidade de controlo e comando, gere e monitoriza as diversas variáveis do processo a decorrer. Permite, igualmente, o interface com o operador.
(5) É a zona onde é colocado o molde o qual, consoante o projeto, é o que define o produto final. Normalmente constituído por duas ou 3 partes, as mesmas são fechadas durante os períodos de injeção abrindo, após o arrefecimento, para se executar a respetiva extração do produto.

2.3. Molde de Injeção

O molde de injeção é o responsável por dar forma ao material fundido na unidade de injeção, pela conformação do material injetado e estabilização da forma da cavidade.
O molde pode possuir várias cavidades com o formato do produto pretendido, consoante o seu tamanho. Depois de injetado, o material passa pela bucha de injeção e por canais de alimentação até à cavidade respetiva.
A conformação, ou seja, a disposição do material dentro da cavidade, ocorre quando o material é pressionado dentro da cavidade do molde. Como a temperatura no molde é inferior à do material, ocorre a estabilização do material, ou seja, este vai arrefecendo e tomando a forma desejada.

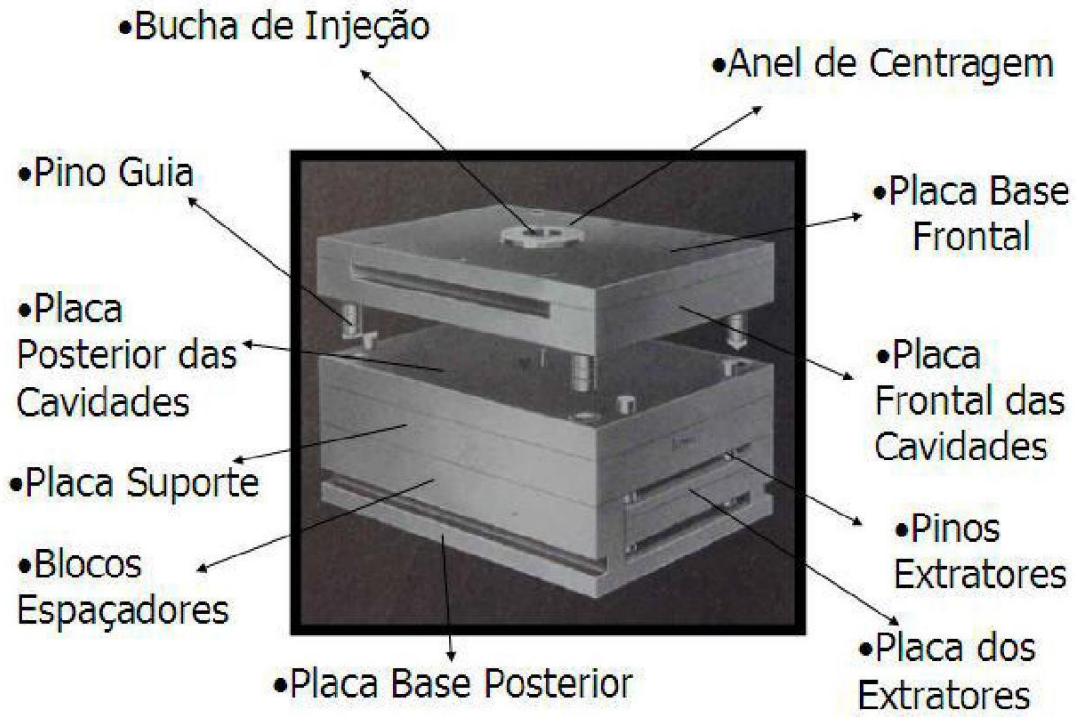


Figura 6 – Imagem e constituição típica de um molde

Conforme a figura 6, um molde tem na sua constituição vários elementos complementares, entre os quais: [3]

- O elemento definido pela cavidade e bucha, determinando o formato das peças;
- O elemento de centragem do molde, o qual permite a montagem e o ajuste do molde;
- Os elementos constituintes da alimentação de material, fazendo a passagem do material da máquina até à cavidade que perfaz o formato do produto;
- Elementos que compõem o sistema de escape de gases permitindo que o ar na cavidade seja retirado consoante seja efetuada a entrada do material;
- Elementos que permitem o controlo da temperatura, ajudando no arrefecimento das peças;
- Os elementos que efetuam a extração das peças depois de estas arrefecerem, solidificarem e o molde seja aberto;

2.4. O processo de Injeção

O processo de injeção pressupõe a complementaridade entre a máquina injetora e o molde do projeto em questão.

Quando o molde é fechado, reproduzindo de forma inversa a cavidade do produto, o material (liquefeito e encontrando-se na máquina injetora), é injetado para o molde, ou seja, a máquina injetora avança até ter contato com a bucha de injeção. Neste momento inicia-se o preenchimento da cavidade, atingindo na máquina elevadas pressões. Simultaneamente, inicia-se o arrefecimento visto que a temperatura do molde é menor. Seguidamente, é exercida uma segunda-pressão de maneira a compensar a contração do material iniciando o arrefecimento. A máquina de injeção é então recuada, deixando de ter contato com o molde, iniciando novamente a plastificação do material uma vez que o fuso começa a rodar e empurra o material liquefeito para a ponta do fuso, ficando pronto para a próxima injeção.

Por fim, quando a peça fica arrefecida, o molde é aberto e é efetuada a extração da peça moldada, podendo iniciar-se novo ciclo de produção.

Nas figuras 7,8,9 e 10, são representadas as principais etapas do processo. [3]

Figura 7 - Fecho do molde, iniciando-se o ciclo

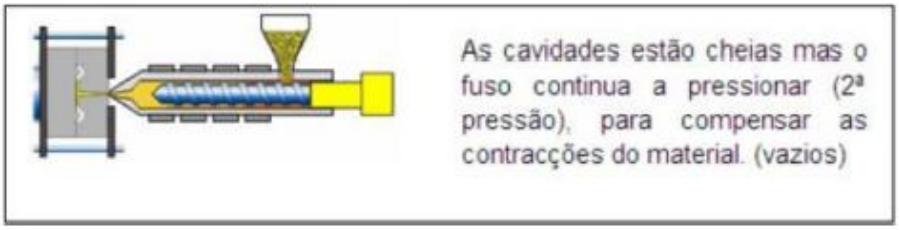


Figura 8 - Injeção com o avanço do fuso da máquina

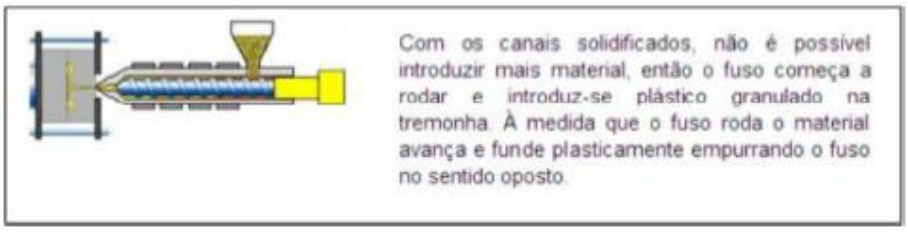


Figura 9 - Pressurização, onde é exercida uma segunda-pressão

de maneira a compensar a contração do material

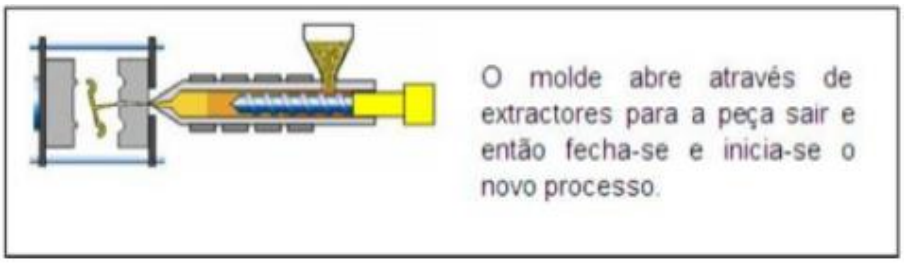


Figura 10 - Extração da peça moldada, depois do molde ser aberto

Como se pode visualizar na figura 11, o ciclo de injeção pode ser dividido em sete fases, resumidamente:

- Fecho do molde
- Injeção do material fundido
- Pressurização ou segunda pressão
- Plastificação
- Arrefecimento
- Abertura do molde e extração da peça moldada
- Tempo morto

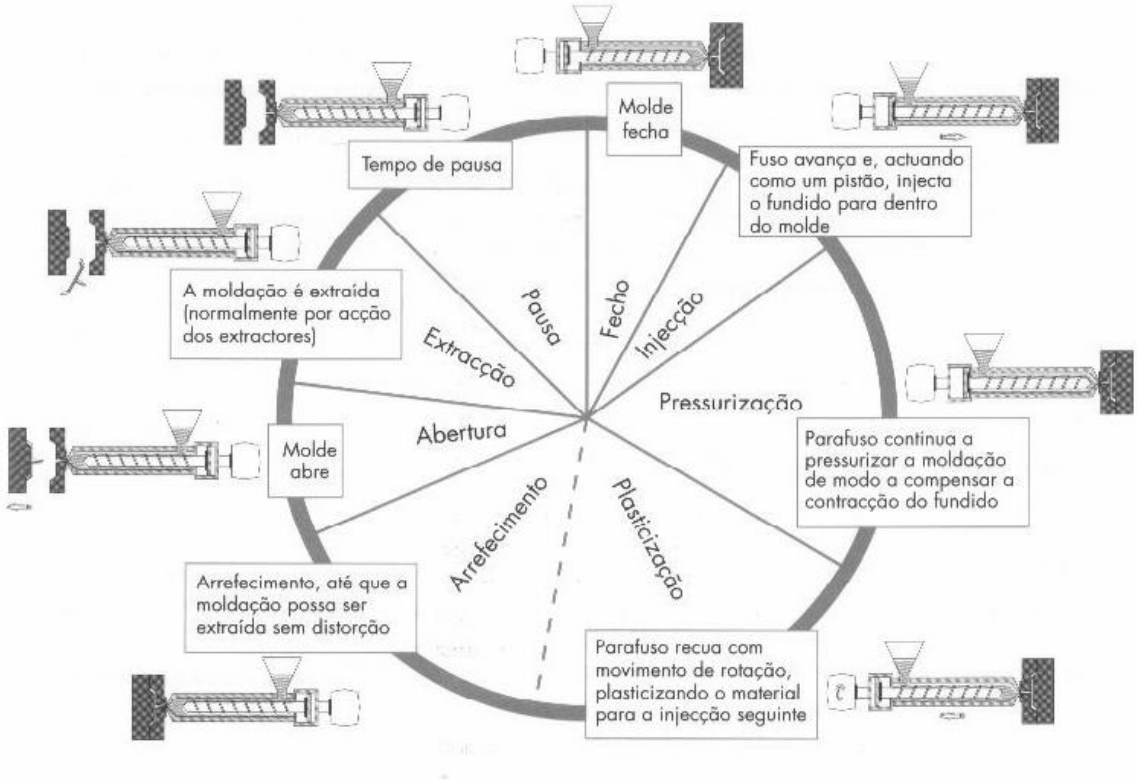


Figura 11 – Representação do ciclo de injeção

Parte III – Produção de equipamentos

Para uma melhor integração e obter uma visão alargada sobre o trabalho a desenvolver, na fase inicial foi necessário obter um conhecimento geral das máquinas desenvolvidas. Nas secções seguintes é feita uma descrição das várias máquinas, as suas capacidades e principais diferenças.

3.1. Equipamentos desenvolvidos na Plasdan

Os equipamentos desenvolvidos e produzidos pela Plasdan referem-se a soluções integradas capazes de transformar máquinas injetoras de um componente, ou seja, de uma injeção, em máquinas injetoras com capacidade de efetuar várias injeções de material por ciclo de trabalho.

São propostos diversos tipos de unidades de injeção afim de efetuar outras injeções por ciclo além da realizada pela máquina injetora. São propostos igualmente pratos rotativos de variadas capacidades com o intuito de rodar o molde e enquadrar o mesmo na unidade de injeção.

Na figura 12 podemos ver o enquadramento de toda a oferta da Plasdan relativa à máquina injetora.

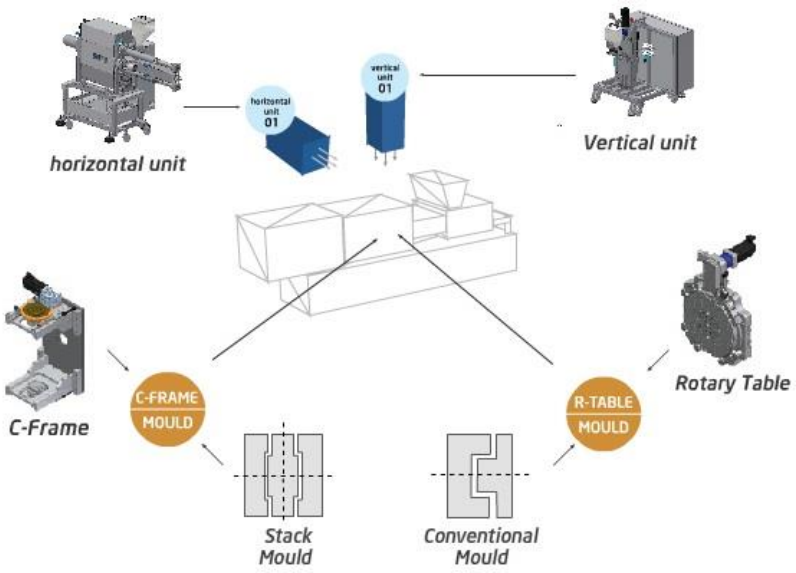


Figura 12 – Enquadramento das funções da oferta Plasdan

3.2. Unidades de Injeção

As unidades de injeção desenvolvidas pela Plasdan oferecem diversificadas soluções de forma a irem ao encontro das especificações do projeto do cliente, nomeadamente a máquina injetora e o molde a utilizar. A principal diferença rege-se no volume de material por injeção efetuada. Qualquer unidade pode funcionar tanto na vertical, fixando-se na zona superior da máquina injetora, como na horizontal, sendo complementada com uma base suporte de trabalho.

São unidades totalmente elétricas, dispensando os módulos hidráulicos, conseguindo assim um trabalhar mais silencioso, limpo e de tamanho mais compacto face às hidráulicas.

O princípio de funcionamento das unidades é semelhante ao funcionamento da parte de injeção das máquinas injetoras. O material é colocado na tremonha, tendo acesso direto ao fuso. Esta zona é refrigerada para que o material mantenha as suas propriedades e assim seja possível o mesmo ser transferido pelo fuso desde a tremonha até à zona do bico. A camara que envolve o fuso desde a entrada de material até á zona do bico, esta igualmente envolvida por diversas resistências. Estas têm a função de efetuar o aquecimento de todo este trajeto e assim liquidificar o material de forma a este poder ser injetado no molde.

Assim que a unidade recebe sinal para trabalhar, a mesma avança no sentido do molde efetuado pelo carro da unidade, é efetuada a injeção seguindo-se a segunda-pressão, sendo no final novamente recuada e é efetuada a dosagem para o próximo ciclo.

3.2.1. Unidades EL.0028 / EL.0120

São unidades de pequena e média capacidade de injetar material por ciclo. A EL.0028 compreende uma capacidade de injetar 14/18/23g por injeção consoante o diâmetro do fuso seja, respetivamente, de 16/18/20mm. (Figura 13)

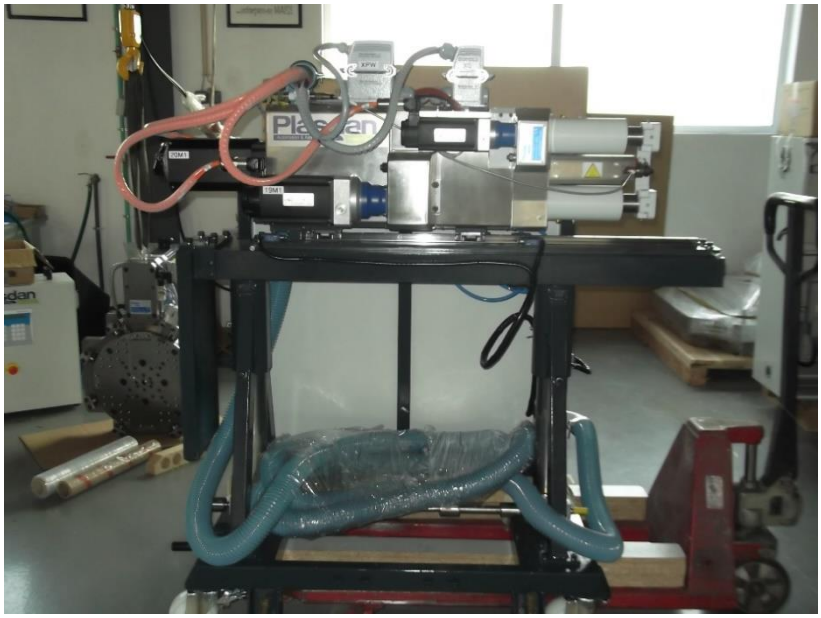


Figura 13 – EL.0028 com base funcionamento horizontal

Já a unidade EL.0120 tem a capacidade 37/55/88g por injeção consoante o diâmetro do fuso seja 22/25/30mm. A figura abaixo mostra uma EL.0120 de funcionamento vertical e já instalada numa máquina injetora.

Figura 14 – EL. 0120 de funcionamento vertical

Em termos construtivos e além das dimensões, a principal diferença prende-se com o fato de a unidade EL.0028 usar um servomotor para efetuar o movimento do carro e a EL.0120 usar um motor trifásico de indução acionado por um VEV.

3.2.2. Unidades EL.0300 / EL.0600

São as unidades de maiores dimensões e capacidade sendo muito semelhantes na sua construção. A EL.0300 varia entre os 55/96/152/199g para um fuso de 25/30/35/40mm de diâmetro respetivamente. (Figura 15)

Figura 15 – Unidade EL.0300 em testes.

A unidade de maiores dimensões, a EL.0600 varia entre os 226/322/442g para um fuso de 40/45/50mm de diâmetro respetivamente. (Figura 16)

Figura 16 – Unidade EL.0600 colocada em base para funcionamento horizontal

3.2.3. Unidade EL.0003, "Micro"

A unidade EL.0003, também designada EL.MICRO, é uma unidade de conceção recente. Além das reduzidas e compactas dimensões, permite efetuar injeções de material no molde de apenas 1g por injeção. Também aqui, como na EL.0028, todos os movimentos de dosagem, injeção e carro são efetuados por servomotores. (Figura 17)

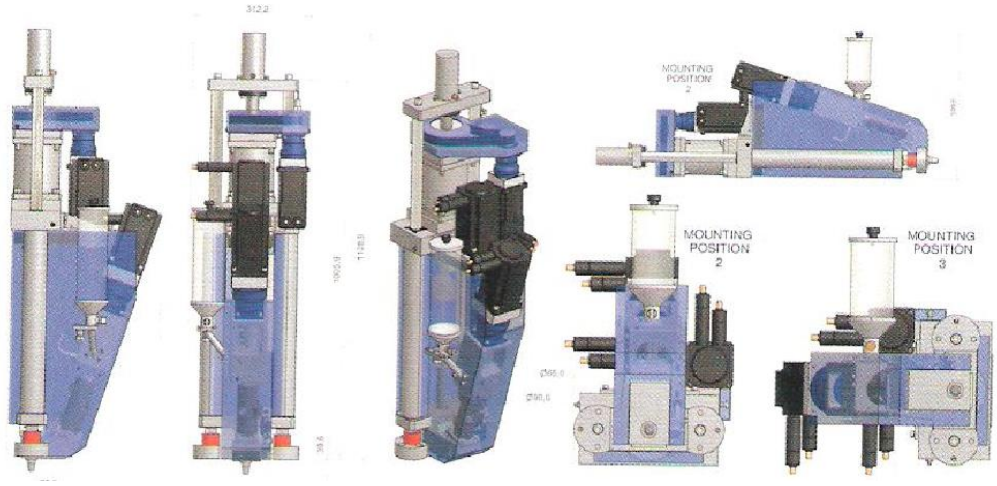


Figura 17 – Unidade EL.0003 em várias perspectivas

Também o seu funcionamento difere das restantes unidades, visto possuir uma camara auxiliar para efetuar a dosagem. Com o auxílio de um cilindro pneumático, a camara é vedada da zona da dosagem, podendo ser efetuada a injeção. Na figura abaixo, é ilustrado o princípio de funcionamento. (Ver Anexo I)

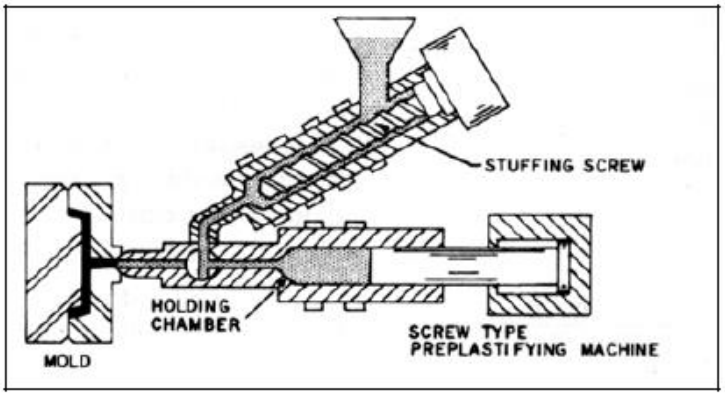


Figura 18 – Principio de funcionamento da unidade EL.0003

3.3. Prato rotativo

Os pratos rotativos são um elemento importante para a transformação de uma máquina injetora de um componente para dois ou mais componentes, sendo fixado no prato móvel da unidade injetora. Uma vez que parte do molde é fixo ao prato rotativo, este possui circuitos de água e óleo que efetuam a passagem da unidade injetora para o molde. Os circuitos de óleo servem para acionamentos e os de água para refrigeração do molde. São propostos com diâmetro normalizado de 350mm a 1800mm e com 2 ou 4 canais de água e óleo.

Podem ser posicionados com diversos ângulos de rotação. Podem rodar a 180º para 2 injeções, 120º para 3 injeções ou outros ângulos consoante as necessidades de injeção do molde. A imagem representada abaixo mostra um prato rotativo de grandes dimensões fixado na máquina injetora.

Figura 19 – Prato Rotativo

3.4. C-Frame

O C-Frame permite rodar a parte central do molde (moldes com 3 partes) verticalmente, permitindo assim a montagem de diferentes e modulares núcleos de moldes. O uso da rotação vertical permite igualmente a criação de peças multi-componente. Na figura 20, podemos visualizar a sua instalação e princípio de funcionamento.

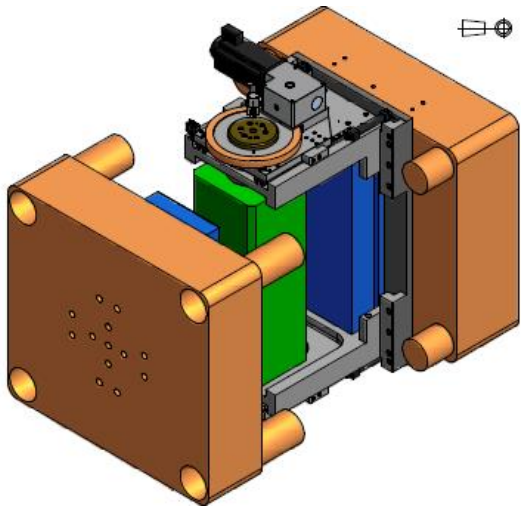


Figura 20 – Fixação e princípio de funcionamento do C-Frame

Parte IV – Sensores

A montagem e ligação dos diversos sensores, tanto nas unidades como nos pratos rotativos, foi uma das principais áreas do trabalho realizado. Assim, foi feito um estudo sobre os diversos sensores permitindo não só uma melhor compreensão da sua função como parte integrante da máquina e o seu papel ativo como a obtenção de uma capacidade crítica face ao estabelecido. Nas seguintes secções é feita uma apresentação do estudo efetuado.

4.1. Características Gerais

As características de atuação dos sensores dividem-se em quatro grandes grupos: [4]

- Características estáticas
- Características dinâmicas
- Características ambientais
- Características de fiabilidade

As características estáticas introduzem um conjunto de conceitos relacionados com a avaliação do desempenho, ou seja, descrevem o comportamento de sensores quando as variáveis a medir não variam ou variam lentamente.

- Gama de medidas que é um conjunto de valores que a variável pode tomar para que o sensor funcione corretamente, ou seja, o campo de medida.
- Alcance é a diferença entre os extremos superior e inferior que definem o campo de medida.
- Calibração é o procedimento na qual se fazem corresponder sucessivos valores da grandeza a medir aos respetivos sinais de saída, ou seja, os valores de entrada do sensor devem cobrir toda a gama de medida.
- Histerese é a diferença máxima obtida entre leituras de um ciclo de calibração. Se o alvo se afasta da face ativa do sensor, há a necessidade de que esse afastamento seja maior que a distância de comutação. Sem histerese suficiente, a saída do sensor irá ligar e desligar continuamente. (Figura 21)

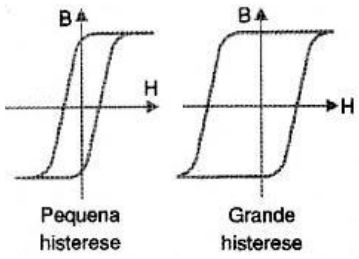


Figura 21 – Histerese

- Curva de erro é a diferença algébrica entre o seu valor de saída e aquele que se obteria se o sensor respondesse de acordo com a curva de referência.
- Exatidão é o valor percentual da média do erro em relação ao alcance. (Figura 22)

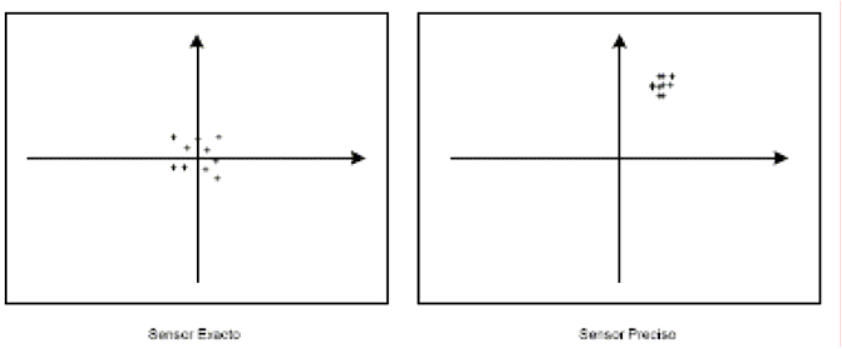


Figura 22 – Diferença entre sensor exato e preciso

- Repetibilidade é a característica de um sensor em reproduzir um determinado valor de saída quando o sinal de entrada é aplicado com o mesmo valor.
- Linearidade é a proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Os sensores não lineares são usados em situações em que os desvios são aceitáveis. (Figura 23)

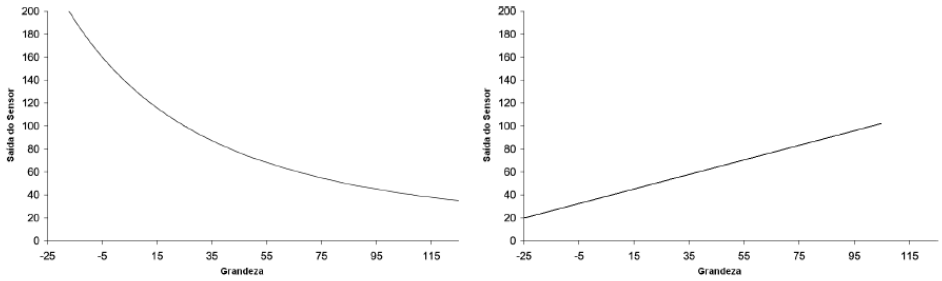


Figura 23 – Resposta não-linear e linear

- Sensibilidade é onde cada ponto da gama de medida corresponde à derivada da sua curva de calibração. Representa a forma como varia o sinal de saída quando se faz variar o sinal de entrada.
- Resolução corresponde à variação máxima da entrada a que corresponde a menor variação na saída. A saída nem sempre é função contínua da variável medida.
- Estabilidade é a capacidade em manter a curva de calibração.

As características dinâmicas relacionam a resposta do sensor com as variações temporais do sinal de entrada. Quantidades variáveis como entradas a degrau ou sinusoides são aplicadas à entrada do sensor e regista-se posteriormente o sinal de saída resultante. Da relação entrada/saída, os sensores podem ser classificados como sendo de ordem zero, primeira ou ordem superior. A ordem do sensor influência a sua precisão e velocidade e está ligada ao número de componentes como indutâncias e capacitâncias.
Nas características ambientais, relacionam a atuação do sensor com as condições externas do ambiente envolvente como temperatura, humidade, pressão atmosférica e interferências eletromagnéticas.
As características de fiabilidade representam a esperança de vida do sensor com diferentes condições. O ciclo de vida, onde indica o número mínimo de operações sem alteração das características. A vida operativa, dando um intervalo de tempo de operação contínua ou descontinua. E a vida de armazenamento, sendo um intervalo de tempo de exposição a determinadas condições de armazenamento sem alteração das suas características.

4.1.1. Módulos de Interface

4.1.1.1. Módulos de Entrada

São circuitos para adequar os sinais de entrada de forma a serem processados pelo PLC podendo ser digitais ou analógicos. [5]
As entradas digitais podem operar em corrente contínua, 24 VCC, alternada 110/220 VCA, tipo N (NPN) ou tipo P (PNP). No tipo N, é necessário fornecer o potencial negativo da fonte de alimentação ao borne de entrada e no tipo P, fornecer o potencial positivo ao

borne de entrada. Por norma existe uma isolação galvânica entre o circuito de entrada e a CPU efetuada com optocopladores.

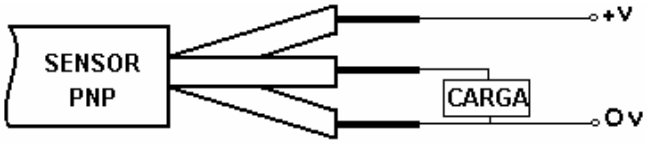


Figura 24 – Sensor de 3 fios PNP

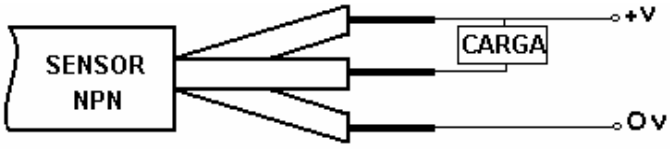


Figura 25 – Sensor de 3 fios NPN

A figura 24 representa a ligação de um sensor que será ativo por um transístor PNP, ativando o polo positivo. A figura 25 representa a ligação de um sensor que será ativo por um transístor NPN, ativando o polo negativo.

As interfaces de entrada analógica, permitem que o PLC consiga manipular grandezas analógicas em tensão ou corrente. No caso de tensão, podem ser de 0 – 10VCC, -10 - 10VCC. Em corrente de 0 – 20mA ou 4 – 20mA. Nas entradas analógicas, a resolução tem um peso importante, visto melhorar significativamente a sua sensibilidade. Uma placa de 0 – 10VCC com 8bits de resolução permite ter 39.2mV de sensibilidade. Por sua vez, uma placa com 16bits de resolução permite ter 0.2mV de sensibilidade.

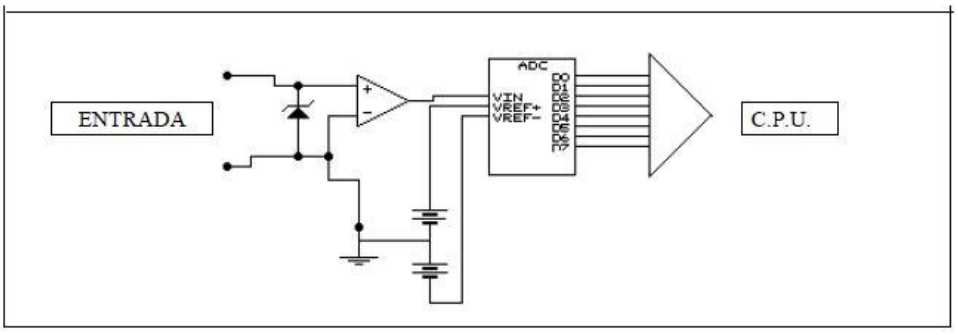


Figura 26 – Exemplo de circuito de entrada analógico

A figura 26 mostra um exemplo de um circuito de entrada analógico onde se faz a conversão analógica para digital. Nos módulos de entrada analógica, existem módulos específicos para o tipo de sensor e grandeza a medir, como por exemplo módulos para termopares, termoresistências, encoders entre outros.

4.1.1.2. Módulos de Saída

Os módulos de saída adequam os sinais para poderem atuar nos circuitos controlados podendo ser digitais ou analógicos.

As saídas digitais são, normalmente de três formas, saída a relé, transístor ou triac. (Figura 27)

Também aqui, são circuitos com isolamento galvânico efetuado por optocopladores.

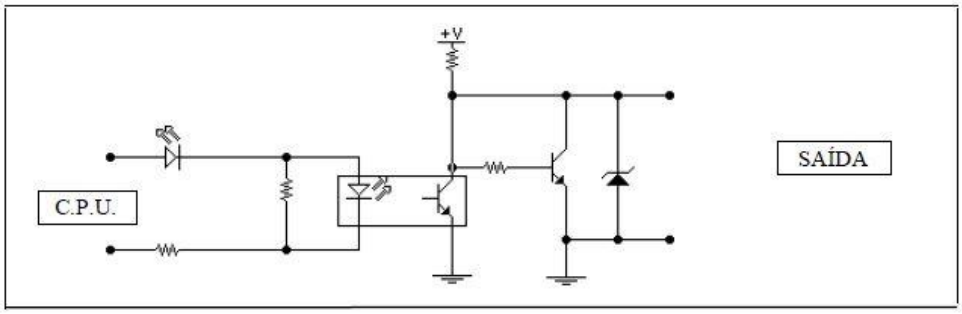


Figura 27 – Exemplo de circuito de saída digital a transístor

As interfaces de saída analógica convertem valores numéricos em sinais de saída em tensão ou corrente, normalmente 0 – 10 VCC no caso de tensão ou 0 – 20mA no caso de corrente.

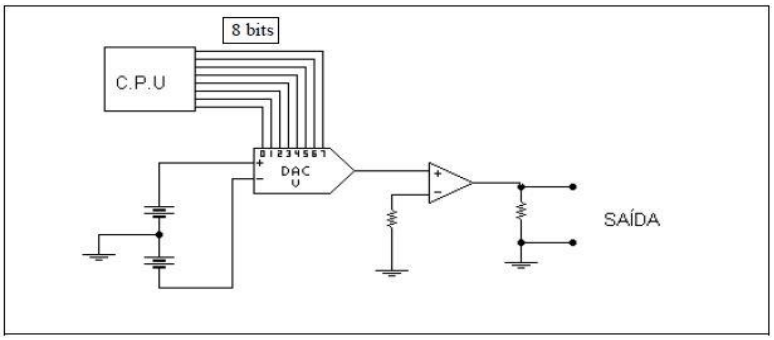


Figura 28 – Exemplo de saída analógica

A figura 28 mostra um exemplo de saída analógica com um conversor digital para analógico. Existem igualmente vários módulos de saída diferentes consoante as aplicações, por exemplo, para controlo de servomotores.

4.2. Sensores

4.2.1. Sensor Pressão

O sensor de pressão tem a função de efetuar a medição da pressão a cada instante no processo de injeção. Isto é importante no sentido de, e consoante o projeto do molde, a unidade de injeção poder efetuar injeções de material no molde conforme uma pressão pré-estabelecida ou impondo limites à pressão na injeção que se está a fazer. Consegue-se igualmente estabelecer a pressão com que a unidade fará fazer a segunda-pressão. O sensor normalmente usado é o Gefran IJ da série "Impact".

O princípio operativo do sensor de pressão usado nas unidades de injeção é o piezoresistivo com elemento semicondutor de silício. São sensores que utilizam a tecnologia MEMS, sistemas micro-eletromecanico. [6]

Tendo a função de micro-sensor ou micro-atuador, podem integrar relés, osciladores, filtros, entre outros.

Possuem uma célula de medição que consiste numa pastilha com um diafragma de silício acoplado onde se efetua a transferência do nível exato de força para a ponte de Wheatstone.

Aplicando uma pressão, a deflexão aplicada no diafragma implica a existência de alterações nas resistências. A pressão medida é dependente da área de superfície e espessura do diafragma assim como do desenho de implantação das quatro resistências que formam o circuito em ponte. A posição individual de cada uma das resistências é feita de acordo com a deflexão esperada no diafragma. Posicionando-se em lados opostos, duas resistências vão aumentar a sua resistência e as outras duas vão diminuir.

A configuração mais utilizada da ponte de Wheatstone é a de ponte completa, conforme figura 29.

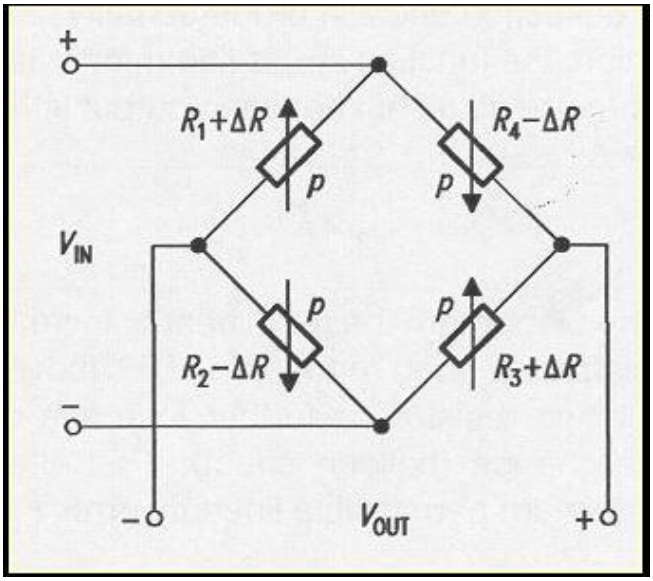


Figura 29 – Ponte completa de Wheatstone.

O sinal de saída será a tensão diferencial entre os dois lados da ponte. Havendo desequilíbrio na mesma devido à variação no valor das resistências, o valor da tensão na saída será proporcionalmente alterada.

A figura 30 mostra o esquema de ligação do sensor, da unidade à carta, o esquema de funcionamento e pinos de ligação do sensor. A transmissão é efetuada em tensão 0 – 10VCC. A ligação é feita num cabo blindado de quatro condutores, onde o castanho do pino quatro liga aos 24VCC, o branco do pino cinco liga aos 0V e o amarelo do pino um e verde do pino seis à carta. A carta de ligação ao PLC, denomina-se CAM123, e é uma carta específica de entradas analógicas em tensão 0 – 10 DC.

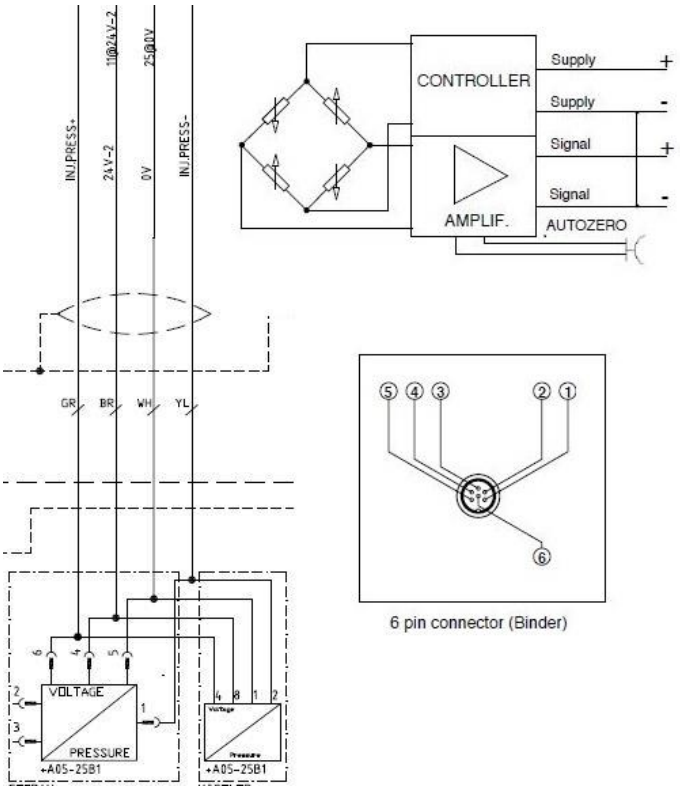


Figura 30 – Esquemático de ligação (esquerda), esquema do sensor e pinos de ligação (direita)

Na figura 31, podemos visualizar o acoplamento real do sensor de pressão numa unidade EL.0028. O acoplamento é feito no cabeçote. Este encaixa na camara envolvente do fuso e o bico enrosca no cabeçote.

Figura 31 – Acoplamento do sensor de pressão na unidade EL.0028

4.2.2. Sensor de temperatura

Os sensores de temperatura usados nas unidades de injeção são termopares tipo J. Estando a zona da câmara até ao bico dividido por zonas de aquecimento independentes, a temperatura de cada zona é monitorizada por um termopar e assim o PLC consegue atuar nos relés de estado sólido para estes abrirem e fecharem o circuito com as resistências de aquecimento, e assim manter a temperatura estável conforme a necessidade de cada material.

Os termopares são dos sensores mais usados para medição de temperatura. Têm um custo relativamente baixo, possuindo grande exatidão e grandes intervalos de funcionamento de temperatura.

Os termopares usam o conceito Seebeck, estabelecido em 1821 por Thomas Johann Seebeck, descobrindo que um condutor gera tensão quando submetido a um gradiente de temperatura. Essa tensão consegue-se medir usando um segundo condutor que gere uma tensão diferente relativo ao mesmo gradiente de temperatura. Os condutores usados têm que ser diferentes ou a tensão gerada irá ser anulada. [4]

A variação da fem do condutor relacionada com a variação da temperatura denomina-se por coeficiente de Seebeck. Esta variação é representada pela fórmula (1) seguinte:

$$\Delta V = S\Delta T \qquad (1)$$

Onde ΔV é a variação da tensão, S é o coeficiente de Seebeck e ΔT a variação da temperatura. Existe a criação de um termopar quando dois condutores são ligados numa das duas extremidades e houver uma medição de tensão, nas extremidades opostas, em circuito aberto (Tensão de Seebeck) devido à diferença de temperatura entre o ponto de ligação e medição.

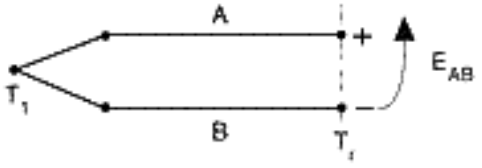


Figura 32 – Junção de medição (T1) e junção de referência (Tr)

Na figura 32, ilustra-se a junção de medição ou junta quente (T1) à junção que está submetida à temperatura a medir, a outra extremidade de junção de referência ou junta fria (Tr) e E_{AB} a fem induzida.

Existem diferentes tipos de termopares consoante os condutores usados e são divididos em dois grupos: [7]

- Metais base (T, J, K, E, N), sendo mais económicos, têm gama de temperatura entre -185ºC e +1200ºC.
- Metais nobres (S, R, B), sendo mais caros, têm gama de temperatura entre 0ºC e +1600ºC.

Na tabela 1 estão descritos os diferentes tipos de termopares, materiais constituintes e faixa de temperaturas de utilização.

Gamas de temperatura dos termopares/ Notas

Tipo	Elemento	Gama de Temperatura (ºC)	Notas
T	Cobre (+) / Cobre Níquel (-)	-40...+300	Utilizado para baixas temperaturas
E	Níquel crómio (+) / Cobre Níquel (-)	-40...+800	Utilizado em atmosféricas de baixa oxidação e de elevada sensibilidade
J	Ferro (+) / Cobre Níquel (-)	-40...+700	Baixo custo e muito utilizada na indústria plástica. Gama de temperatura limitada.
K	Níquel crómio (+) / níquel aluminio (-)	-40...+1100	Baixo custo. Mais fiável para gamas de temperatura mais elevadas. Bom comportamento em atmosferas oxidantes
N	Níquel crómio Silício (+) / Níquel Silício (-)	-40..+1250	A sua elevada estabilidade e resistência à oxidação a altas temperaturas tornam o tipo N adequado para medições a temperaturas elevadas
S	Platina 10% Ródio (+) / Platina	0...+1550	Adequado para medição de temperaturas elevadas. Reduzida sensibilidade, elevada estabilidade e custo elevado.
R	Platina 13% Ródio (+) / Platina	0...+1600	Adequado para medição de temperaturas elevadas. Reduzida sensibilidade e custo elevado .
B	Platina 30% Ródio (+) / Platina 6% Ródio	100...+1600	Características similares ao tipo R e S. Adequado para medição de temperaturas até 1800ºC, por períodos curtos.

Tabela 1 – Diferentes tipos de termopares, elementos constituintes e respetiva gama de temperatura de trabalho

Usados nas unidades de injeção de plástico da Plasdan, os termopares do tipo J são os mais utilizados na indústria plástica para as diversas funções. Os elementos da junção do termopar tipo J é constituído por ferro (+) e cobre níquel (-).

Na figura 33, é indicada a correlação da fem induzida face à temperatura dos vários termopares disponíveis.

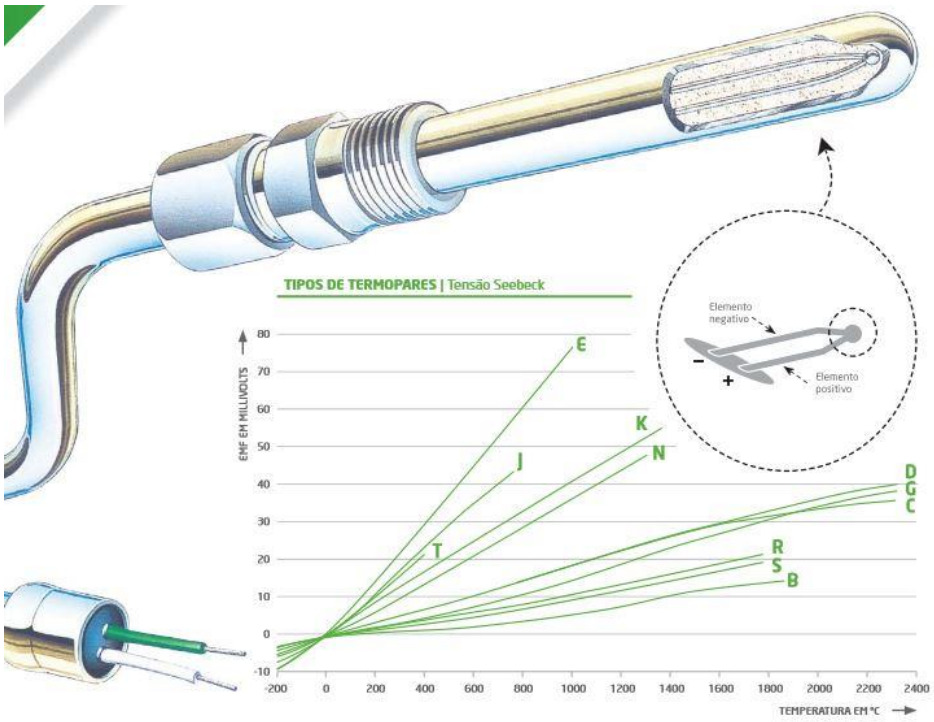


Figura 33 – Correlação da fem e temperatura dos termopares

A junção dos dois elementos pode ser efetuada de três formas: isolado, à massa e exposto.

Na junção isolada, a mesma não se encontra ligada às paredes da ponta de prova ou à blindagem, oferecendo como principal vantagem o isolamento elétrico e assim permite o seu uso em ambientes mais agressivos. Como desvantagem, possui tempos de resposta mais lentos. Na junção à massa, os condutores estão ligados ao interior da ponta de prova e blindagem, permitindo obter assim uma resposta mais rápida da variação da temperatura. No caso da junção exposta, a mesma encontra-se em contato direto com o ambiente onde se pretende medir a temperatura garantindo assim a resposta mais rápida face a variações de temperatura. Está limitado, no entanto, aos tipos de ambientes onde pode ser usado.

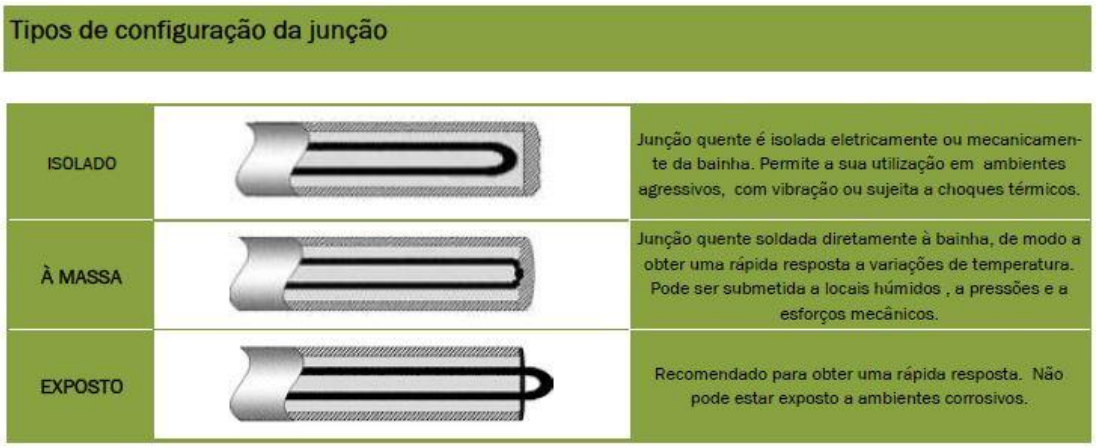


Figura 34 - Diferentes tipos de configuração da junção

Na figura 34 podemos observar os diferentes tipos de configuração da junção.

Para a transmissão de sinal dos termopares devem-se usar cabos de extensão, ou seja, com os mesmos materiais do termopar, ou cabos compensados usando materiais idênticos aos do termopar. Na figura 35, é feita a apresentação do código de cores do termopar tipo J e tipo T dos diversos países de referência e internacional.

EXTENSÃO / COMPENSAÇÃO									
SIMBOLOS		CODIGO DE CORES			SIMBOLOS		CODIGO DE CORES		
EXTENSÃO CLASSE I	EXTENSÃO CLASSE II OU COMPENSAÇÃO	IEC 584-3	ANSI / MC	JIS C 1610	EXTENSÃO CLASSE I OU II	COMPENSAÇÃO	NF C 42-	BS 1843	DIN 43714
TX	TX OU TC				TX	TC			
JX	JX OU JC				JX	JC			

Figura 35 – Código de cores dos termopares tipo J e T

No caso do termopar usado nas unidades de injeção da Plasdan, o tipo J, o código usado é o internacional.

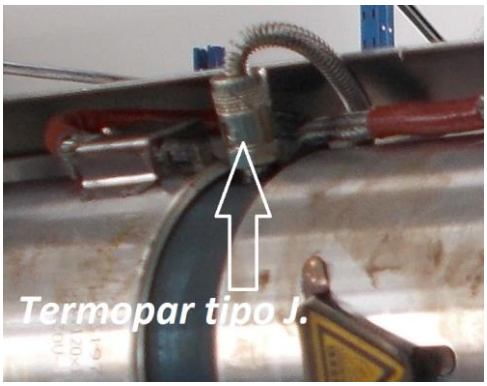


Figura 36 – Termopar aplicado numa unidade

A figura 36 mostra um termopar aplicado numa unidade EL.0600 para a monitorização de uma zona de aquecimento. A transmissão é efetuada em tensão 0 – 10VCC e ligada a uma carta de entradas analógicas para temperatura.

4.2.3. Sensor Resistivo Linear de Deslocamento

O sensor resistivo linear de deslocamento, usualmente designado por régua, permite medir o deslocamento entre dois pontos nos quais está conectado, um fixo e outro móvel. No caso das unidades de injeção, permite medir o deslocamento do carro uma vez que este é movido por um motor de indução que não tem sensor de deslocamento angular nem de posição do seu eixo. Dando um ponto zero, o deslocamento será função da variação da tensão ao longo da resistência. O sensor normalmente usado é o modelo LTH da Gefran.
Um dos sensores de deslocamento mais usados é o sensor resistivo, usando o princípio do potenciómetro. Contendo um contato elétrico móvel, o cursor, ligado mecanicamente ao elemento associado ao movimento, a sua variação de valor relaciona-se com a variação da posição física do objeto a ser medido.
O elemento resistivo, podendo ser bobinado ou em pista condutora, depende do tipo de aplicação. Os potenciómetros bobinados, constituído por um condutor enrolado à volta de um núcleo isolante, o curso movimenta-se de uma espira para outra, fazendo variar a tensão de forma descontínua, resultando numa baixa resolução. Os potenciómetros de pista condutora são compostos por um filme de carbono, possuindo uma resolução infinita. São no entanto mais sensíveis a variações de temperatura, implicando maior influência na

exatidão do sensor. Esta variação pode ocorrer por via da variação de temperatura externa como do processo interno de aquecimento, resultante da dissipação de potência por efeito de Joule. [8]

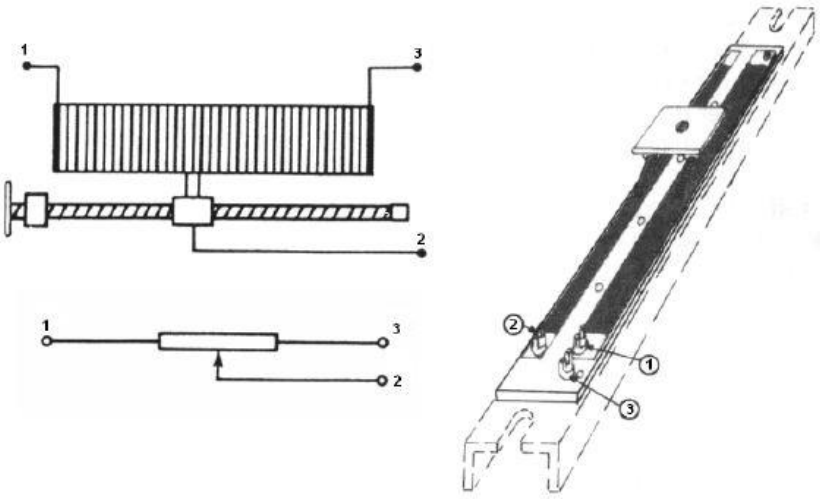


Figura 37 – Sensor resistivo de deslocamento ilustrando os 3 pontos de ligação

Os potenciómetros como sensores de deslocamento convertem, indiretamente, um movimento de translação numa diferença de potencial. (Figura 37)

Com uma tensão constante V_i à entrada, a tensão à saída V_0 é uma fração da tensão de entrada dependente da razão $\frac{Ro}{Rx}$.

Na figura 38 podemos visualizar o esquema com esse princípio.

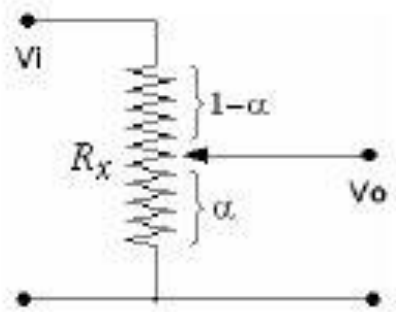


Figura 38 – Esquema elétrico de um potenciómetro de deslocamento linear

A resistência de R_o entre o cursor e uma das extremidades vai ser função da posição do cursor e da própria resistência fixa, a qual tendo uma resistência uniforme durante todo o curso, irá existir uma relação linear entre a posição do cursor e o valor da resistência de R_o. Assim, a resistência de saída será uma percentagem α da resistência de entrada, a qual é dada pela razão entre o deslocamento atual e o deslocamento máximo do curso total. Assim, a relação entre a tensão de saída V_0 e a razão de deslocamento do cursor α é linear e dado pela equação seguinte, sendo a função transferência de um sistema ordem zero.

$$V_o = \frac{\alpha R_x}{\alpha R_x + (1-\alpha) R_x} V_i = \alpha V_i \tag{2}$$

Devido à resistência de entrada Ri de qualquer dispositivo de medida para medir o valor de V_o, irá existir um erro de medida introduzido pelo efeito de carga, ou seja, a expressão da equação anterior é válida para carga R_i infinita. Com carga finita e $\alpha \in [0,1]$, a relação entre V_0 e deslocamento deixa de ser linear. Na figura 39 mostra-se esse efeito.

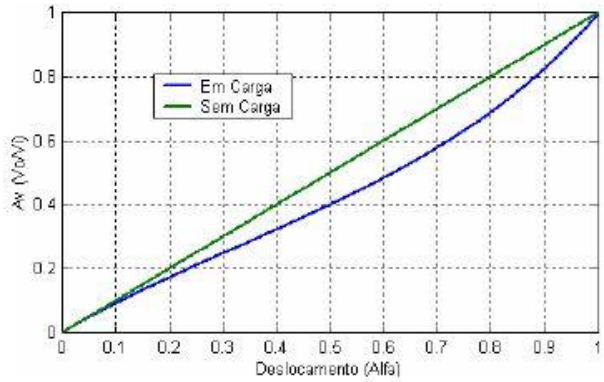


Figura 39 – Efeito na resistência da carga

Na figura anterior, verificamos que a curva da saída com carga deixa de ter relação linear com o deslocamento. No sentido de minimizar esta questão, deve-se usar dispositivos de medição com elevada impedância de entrada.

Os sensores resistivos, apesar do baixo custo, apresentam algumas desvantagens, nomeadamente, o desgaste e envelhecimento, a resolução, nível de ruido ou ainda lixo e poeiras acumuladas nas pistas, os quais podem, com o tempo, precipitar o seu envelhecimento e notar-se as suas consequências no processo de medida.

A figura 40 mostra o esquemático de ligação da régua e os pinos de ligação do fabricante. A transmissão é efetuada em tensão 0 – 10VCC e a ligação é efetuada num cabo blindado de quatro condutores, ficando um de reserva, onde o fio branco do pino 1 liga aos 0V, o fio castanho do pino 3 aos 10V de referência da carta. Os fios são ligados a uma carta de entradas analógicas em tensão 0 – 10DC, CAM123.

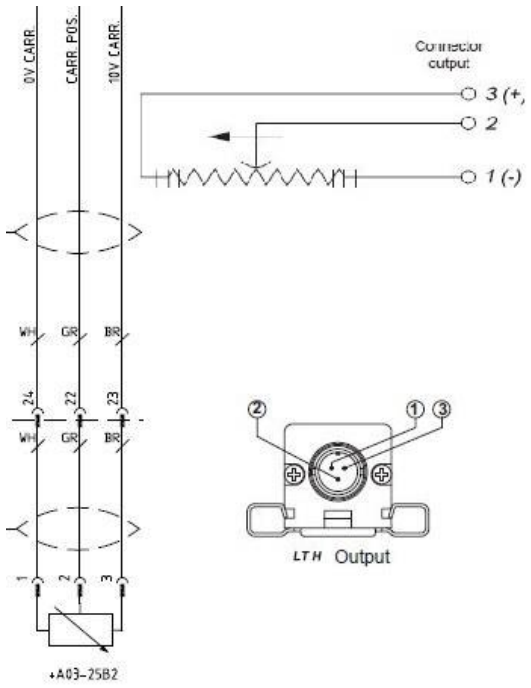


Figura 40 – Esquemático de ligação da régua (esquerda) e pinos de ligação (direita)

Na figura 41 visualiza-se a aplicação de uma régua numa unidade EL.0600, permitindo efetuar a medição do deslocamento do carro da unidade.

Figura 41 – Sensor resistivo Linear de deslocamento aplicado na EL.0600

4.2.4. Fim de curso

Os fins de curso são comutadores elétricos acionados mecanicamente. Geralmente posicionados no decorrer do percurso de partes móveis de máquinas e equipamentos industriais assim como nas hastes de cilindros hidráulicos e pneumáticos. O seu acionamento pode ser efetuado por meio de um rolete mecânico ou do tipo botão. Na figura 42 descreve-se a sua constituição onde consta o rolete mecânico, os bornes de ligação, a mola de reposição de posição e os contatos NA e NF. [9]

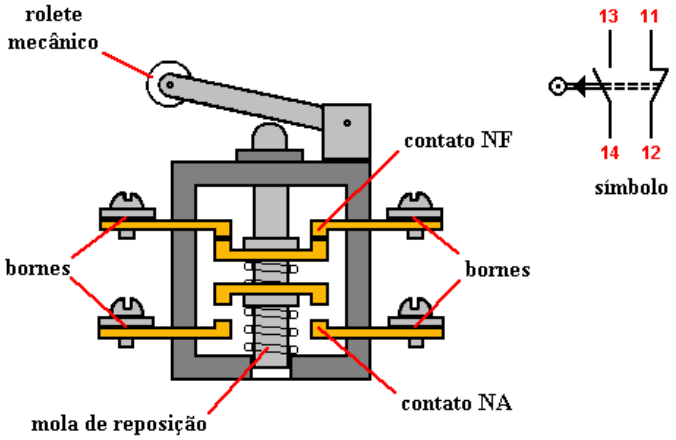


Figura 42 – Constituição típica de um fim de curso

No funcionamento do fim de curso da figura anterior, apresenta um contato NA efetuado pelos bornes 13 e 14 e um contato NF pelos bornes 11 e 12. Quando acionado pelo rolete mecânico, os contatos 11 e 12 abrem, interrompendo a passagem da corrente, sendo que os contatos 13 e 14 fecham, permitindo a passagem de corrente. Depois da posição de acionamento, ambos os contatos voltam à sua posição inicial pela mola de reposição.
Dependendo do tipo de rolete mecânico, estes podem ser acionados em qualquer direção, consoante a sua posição, ou numa direção específica. Na figura 43, podemos visualizar os diferentes tipos de acionamentos.

Figura 43 – Diferentes tipos de acionamento em fins de curso

4.2.5. Encoders

Encoders são dispositivos que convertem a posição angular em sinal elétrico, usando leds e fototransístores.

São classificados de 2 formas, consoante a sua construção e forma de funcionamento:

- **Incremental:** fornecem a informação do deslocamento angular;
- **Absoluto:** fornecem a posição absoluta do seu eixo.

É nos encoders que se encontra a principal diferença na escolha dos servomotores a usar nas unidades. Os servomotores são usados na movimentação da injeção, dosagem e, em algumas unidades, no carro. Para a movimentação da injeção o servomotor a escolher terá que ter incorporado um encoder absoluto, uma vez que em qualquer momento e em caso de falha de energia, quando a unidade voltar a operar é necessário que o PLC saiba em que posição específica ficou a injeção e assim terminar o ciclo. Já na dosagem e no carro, a perda dessa informação não é relevante e assim os servomotores poderem incorporar um encoder incremental. A diferença no custo de aquisição também é significativa, sendo o servomotor com encoder absoluto bastante mais oneroso.

4.2.5.1. Encoder Incremental

O encoder incremental converte a posição de um eixo numa informação binária. Consiste num disco com uma escala composta por segmentos alternadamente transparentes e opacos além de ter, em posições opostas e relativo a cada uma das faces do disco, um ou mais emissor de luz e um recetor da mesma grandeza. O par emissor/recetor é o responsável pela leitura da posição angular do disco. O encoder incremental roda juntamente com a estrutura da qual a posição se pretende saber. [8]

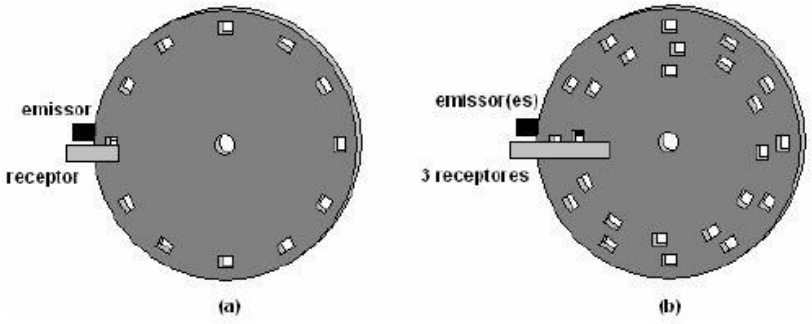


Figura 44 – Encoder incremental com 1 pista(a) e 3 pistas (b)

No caso da figura 44, o encoder contem um disco com doze aberturas, com igual espaçamento, e um par emissor/recetor de luz onde a sua posição é fixa face ao disco. O emissor vai fornecer radiação luminosa, a qual pode ser visível ou não, e o recetor, normalmente um fototransistor, irá receber essa radiação modulada pela velocidade angular do disco. Assim e com o movimento do disco, a radiação luminosa passa pelas aberturas no disco e irá ser detetado pelo recetor, gerando um impulso elétrico. A quantidade de impulsos recebidos após uma posição de referência vai ser diretamente proporcional à posição angular do disco sendo o deslocamento conhecido pela quantidade de impulsos. Para o exemplo da figura 44 com doze aberturas, entre impulsos corresponde a um deslocamento angular de $\frac{\pi}{6}$ radianos.

Os encoders incrementais de uma pista apresentam, no entanto, um problema relativamente ao sentido do movimento, visto que uma única pista de aberturas não fornece informação sobre o sentido. Assim, são integradas mais duas pistas concêntricas e dois recetores,

formando um total de 3 pistas. As duas pistas exteriores têm o mesmo número de aberturas, igualmente espaçadas mas no entanto estão desfasadas de meia abertura na sua posição ficando assim com capacidade de detetar tanto a posição como a direção da rotação. Se o disco rodar no sentido horário, os impulsos da pista exterior estão em avanço face aos gerados pela segunda pista, sendo que no sentido anti-horário observa-se precisamente o contrário.

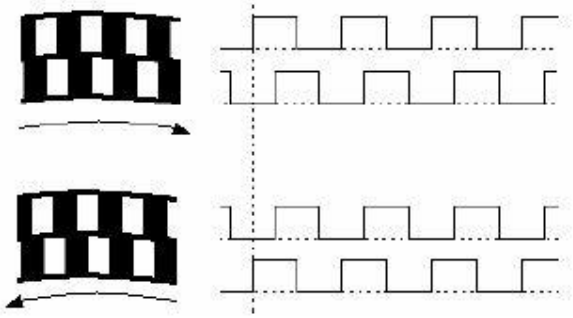


Figura 45 – Deteção do sentido de rotação no encoder incremental

Na figura 45, é ilustrada o conceito de deteção de rotação no encoder incremental. A terceira pista, sendo composta por apenas uma abertura, é usada para localizar a posição inicial, permitir a contagem do número de revoluções ou reinicializar o contador. A resolução depende do número de aberturas no disco, ou seja, para um disco com n aberturas, a sua resolução irá ser $\frac{2\pi}{n}$.

Na figura 46, ilustra-se a montagem e constituição de um encoder incremental.

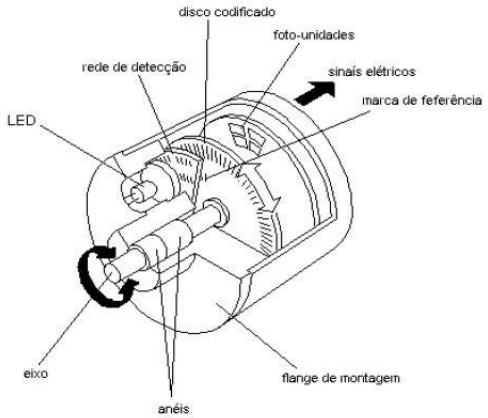


Figura 46 – Montagem e constituição de um encoder incremental

4.2.5.2 Encoder Absoluto

O encoder absoluto, tal como o incremental, usa-se na determinação da posição angular consistindo num disco onde é adaptado um sistema de leitura emissor/recetor. No entanto, e ao contrário do encoder incremental que fornece impulsos desde uma posição de referência, o encoder absoluto fornece uma palavra binária a qual vai definir, sem necessidade de referência, a posição angular do eixo. Na sua conceção o disco está dividido em n pistas e com 2n setores idênticos onde se encontram, por via de zonas opacas e transparentes, as palavras binárias que caracterizam uma posição. O número de elementos que efetuam a sua leitura têm que ser na mesma quantidade que o número de pistas do disco. [8]

Na figura 47 exemplifica-se um exemplo de um encoder absoluto com três pistas de oito setores e três pares de emissor/recetor de luz.

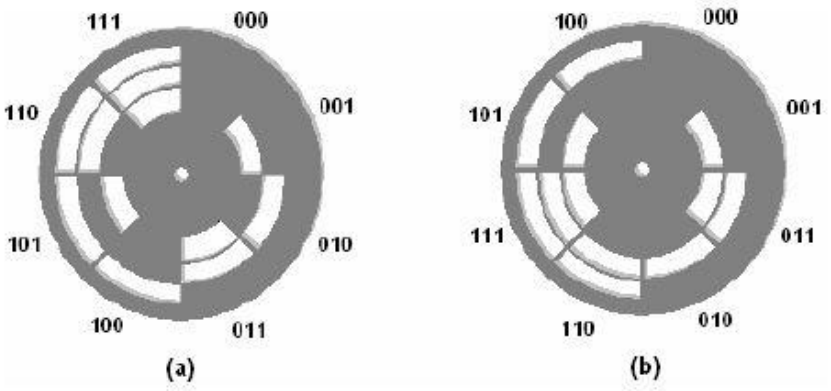


Figura 47 – Codificador absoluto com binário natural (a) e código Gray (b)

Fazendo a sequência, em rotação, da emissão/receção de luz, a posição angular será expressa em "zeros" e "uns", consoante a luz passe ou não as aberturas. No entanto, vários bits podem-se alterar numa única transição, por exemplo, de 01111 para 10000, não havendo garantia de que todos os bits se alterem no mesmo instante e logo poderá haver leituras incorretas. Para se conseguir evitar este problema, pode-se recorrer ao uso de um padrão em código Gray, onde entre posições angulares consecutivas apenas se altera 1 bit, diminuindo drasticamente a possibilidade de erros.

A resolução está diretamente relacionado com o número de secções do disco onde, e para um disco com n pistas, a resolução irá ser $\frac{2\pi}{2\hat{}n}$ radianos. O número de pistas é o mesmo que o número de bits, N. Para um exemplo com 10 pistas, o encoder permite fornecer uma resolução de aproximadamente 0.35º.

Na figura 48, é esquematizado um exemplo de um encoder com doze pistas e doze sensores, oferecendo 212 leituras por rotação e, assim, oferecendo uma resolução de 0.09º.

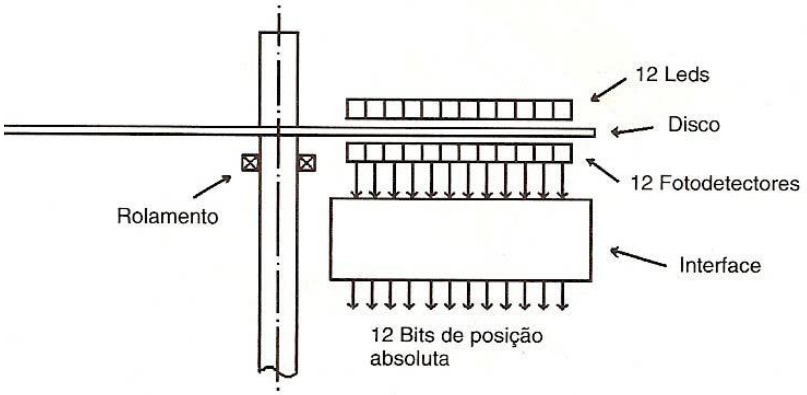


Figura 48 – Exemplo de encoder com 12 pistas

Os encoders absolutos ainda podem ser divididos em: [5]

- Encoder single-turn (rotação simples), conforme descrição anterior;
- Encoder multi-turn (múltiplas rotações).

Os encoders de múltiplas rotações detetam posições angulares assim como diversas revoluções. A posição dentro de uma revolução é determinada usando o mesmo princípio do encoder de rotação simples. Para se conseguir distinguir entre um número de revoluções, são colocados magnéticos permanentes no disco. A deteção é feita por um sensor Hall. A figura 49 ilustra um exemplo da colocação dos magnéticos.

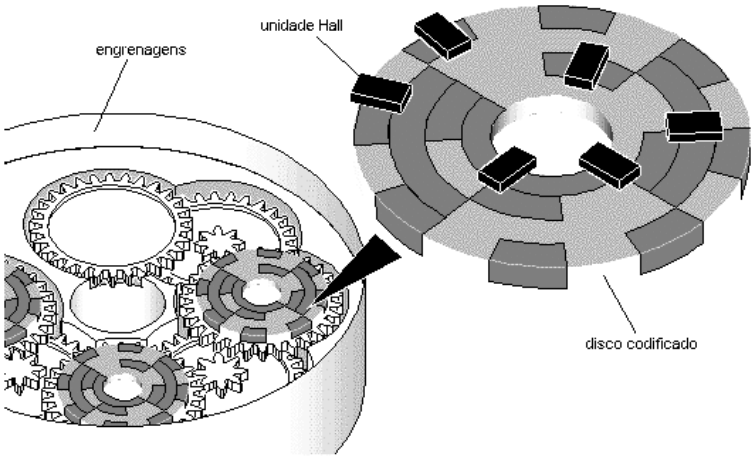


Figura 49 – Encoder absoluto de múltiplas rotações

Para transferir os dados de um encoder de múltiplas rotações, usa-se o protocolo de transferência de uma palavra de 25bits onde 12 bits são para as rotações múltiplas e restantes 13 bits para as rotações simples. A tabela 2 exemplifica o protocolo a aplicar para a transferência de uma palavra de 25bits, onde se inicia pelos 12 bits das múltiplas, sendo os MSB, acabando nos 13 bits das rotações simples, os LSB.

		Palavra quando n=25																								
		MSB	Nº do bit na palavra																						LSB	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
4096	12	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S13	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	8192	13
2048	11	0	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	4096	12
1024	10	0	0	M10	M9	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	2048	11
512	9	0	0	0	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	1024	10
256	8	0	0	0	0	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	512	9
128	7	0	0	0	0	0	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	256	8
64	6	0	0	0	0	0	0	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	128	7
32	5	0	0	0	0	0	0	0	M5	M4	M3	M2	M1	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	64	6
16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	M4	M3	M2	M1	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	32	5
8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M3	M2	M1	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	4
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M2	M1	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M1	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
número de rev.	bit p/rev	bit giro-múltiplos												bit giro-simples													passos p/rev.	bit p/rev

Tabela 2 – Protocolo transferência palavra 25bits

4.2.6. Sensor efeito Hall

Estes dispositivos baseiam-se num efeito eletromagnético descoberto por E.H.Hall na qual verificou que ao submeter um condutor à corrente elétrica e a um campo magnético perpendicular à direção do fluxo da corrente, iria gerar uma diferença de potencial no condutor. [5]

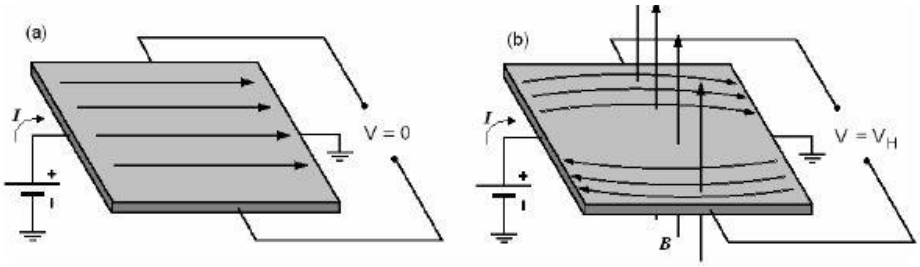


Figura 50 – Principio funcionamento do efeito Hall

O princípio de funcionamento do efeito Hall é ilustrado na figura 50. A tensão de Hall depende da densidade de corrente, do campo magnético e propriedades do condutor, ou seja, da densidade de carga e mobilidade dos portadores. A equação (3) que descreve a relação do campo magnético B, corrente I e tensão de Hall (V_H) é a seguinte:

$$V_H = \alpha . I.B.\sin(\Theta) \quad (3)$$

Sendo α uma constante que depende da geometria, temperatura e deformação do elemento. Θ diz respeito ao ângulo que a corrente faz com o campo magnético. Mantendo a corrente constante a tensão de Hall será proporcional à intensidade do campo magnético.

O efeito Hall verifica-se em qualquer material condutor mas, no entanto, é mais intenso nos semicondutores, tendo a sua utilização, dos semicondutores, vantagem ao se poder integrar o sensor e circuito de condicionamento de sinal na mesma pastilha de silício. A tensão de Hall gerada tem uma amplitude muito baixa (μV para 1-2 Gauss do campo magnético) requerendo um condicionamento de sinal que possua elevada impedância de entrada e imune ao ruido.

Nas aplicações, uma importante aplicação refere-se à medida de campos magnéticos sendo a mais usual é ser usado como sensor de movimento, sendo o sensor sujeito ao campo magnético de um íman o qual é fixo à parte girante.

4.2.7. Sensores de proximidade

Os sensores de proximidade permitem detetar a presença de um material ferroso, os indutivos, ou um imã no seu campo de ação, os Reed switch. Os indutivos são aplicados nos pratos rotativos e permitem conhecer o angulo de rotação atual do prato, normalmente, 0º ou 180º. Os magnéticos Reed switch, integrados num cilindro pneumático, permitem saber se o êmbolo do cilindro está a bloquear o prato e não.

4.2.7.1 Sensor Magnético tipo Reed – Switch

Um sensor magnético do tipo Reed-Switch é um sensor digital o qual é composto por uma cápsula de vidro que contém duas lâminas de material ferromagnético (níquel e ferro), as quais são colocadas bastante próximas, sem haver contato entre ambas, tendo uma extremidade fixada no vidro e sendo colocado na cápsula um gás inerte afim de não sofrerem oxidação, mantendo-se isolados da corrosão atmosférica nem deformação mecânica. Os pontos de contato são feitos em metais como o ródio ou ruténio o qual atenua significativamente o arco elétrico. Na figura 51 é visualizado a sua constituição e princípio de funcionamento.

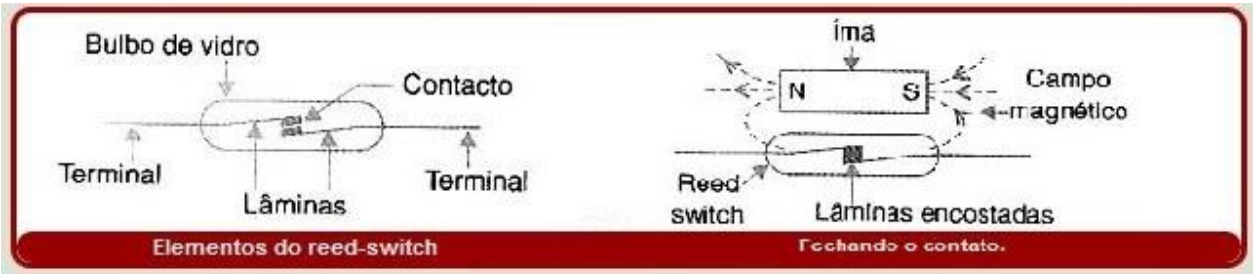


Figura 51 – Constituição sensor Reed-Switch e seu funcionamento

No estado normal, é um contato normalmente aberto e é acionado, ou seja fechado, pela aproximação de um imã permitindo a condução de corrente elétrica. São sensores que são usados na deteção da posição de um objeto ou parte de qualquer mecanismo de posição, quando um imã permanente é lá fixado. [10]

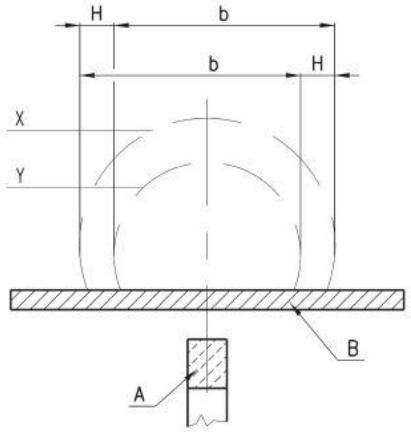


Figura 52 – Campo de operação do sensor CST-220

Conforme a figura 52, a dimensão de b indica a amplitude do campo magnético enquanto o circuito está fechado e H a histerese operacional do sensor relativo à forma e amplitude do campo. O campo de operação, em resultado da histerese, é dado por H em direção oposta ao movimento do pistão. Os sensores Reed-Switch usados nos pratos são os CST-220 da Camozzi.

Figura 53 – Sensores Reed-Switch CST-220 colocados no cilindro pneumático

A figura 53 mostra os dois sensores magnéticos tipo Reed-Switch colocados num cilindro pneumático de um prato rotativo. Estando dispostos em zonas diferentes do cilindro, permite detetar a posição do êmbolo interior, em avanço ou recuo. Para isso no êmbolo do cilindro estão colocados imãs permanentes.

4.2.7.2 Sensor proximidade indutivo

Sendo dos sensores mais usados na indústria, baseiam-se na variação da indutância do campo eletromagnético, o qual é gerado por uma bobina com um núcleo de ferrite, quando objetos metálicos, ferroso ou não ferroso, se aproximam e penetra no campo.

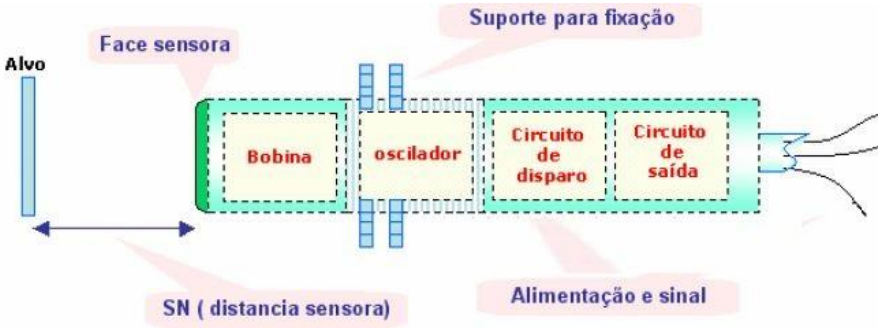


Figura 54 – Componentes de um sensor indutivo

A figura 54 indica os componentes constituintes de um sensor indutivo, onde:

- Oscilador fornece energia para a geração do campo eletromagnético das bobinas;
- Bobina gera o campo eletromagnético;
- Circuito de disparo deteta as mudanças na amplitude da oscilação as quais ocorrem quando o alvo se aproxima da campo;
- Circuito de saída o qual, quando uma mudança é detetada, fornece um sinal para o PLC;

Para medição de pequenas distâncias, por norma é um sensor de entreferro variável, composto por uma bobina e armadura ferromagnética, como se mostra na figura 55.

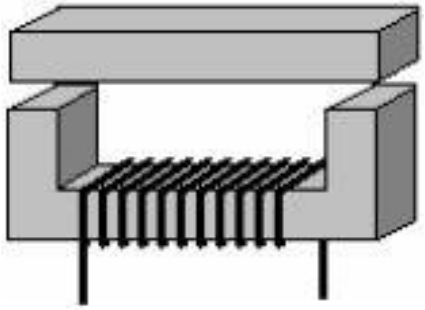


Figura 55 – Bobina e armadura de sensor de entreferro variável

Se se considerar as secções da bobina e entreferro idênticas, a auto-indutância da bobina é dada pela expressão: [8]

$$L = \frac{\mu o \phi \; n2}{lo} \tag{4}$$

Onde μ_o é a permeabilidade magnética do ar, lo a extensão longitudinal do entreferro, n o número de espiras e ϕ a secção transversal.

O oscilador excita a bobina que irá produzir um campo eletromagnético o qual perderá amplitude quando um objeto metálico se aproximar do campo devido a indução de correntes parasitas (correntes de fuga) no material. (Figura 56)

Figura 56 – Redução amplitude com aproximação do alvo

Assim, e à medida que o objeto se aproxima, aumenta a fuga de corrente, diminuindo a amplitude até chegar ao ponto de disparo, ou seja, o circuito de disparo irá reconhecer esta mudança especifica e gera um sinal de comando para o circuito de saída. A figura 57 ilustra o ponto de disparo do sensor.

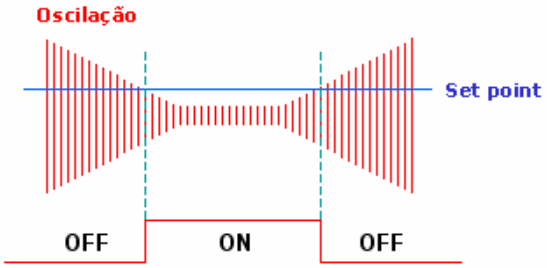


Figura 57 – Ponto de disparo ou Set point de um sensor indutivo

Ainda que a maioria dos sensores indutivos disponíveis permitem a deteção de presença ou ausência, também existem sensores indutivos com saída analógica proporcional à distância do objeto a detetar.

A distância nominal de atuação, S_n, é a distância máxima de atuação a qual usa um alvo-padrão como acionador sendo os sensores especificados nessa medição. [11] Por norma o alvo-padrão considerado é de aço. A superfície frontal do detetor, ou seja, a face ativa, é onde é irradiado o campo eletromagnético que deteta o alvo-padrão o qual é tido como uma placa quadrada de 1mm de espessura e comprimentos dos lados iguais ao diâmetro da face ativa. (Figura 58)

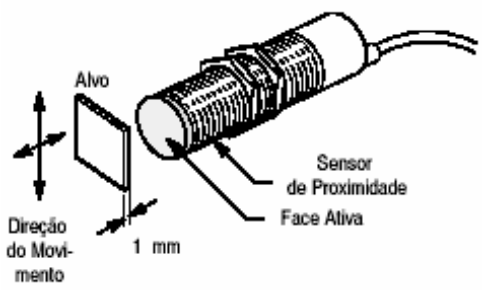


Figura 58 – Exemplificação do alvo-padrão

No entanto a distância real de atuação, S_r, visto poder ser influenciado por vários fatores na industrialização, é especificada com temperatura ambiente de 20ºC, com desvio de 10%, sendo dado por:

$$0.9 \times S_n <= S_r <= 1.1 \times S_n \quad (5)$$

Como o valor da temperatura também pode ser influenciado, a distância efetiva, S_u, e com um desvio máximo de 10% sobre S_r é dado por:

$$0.81 \times S_n <= S_u <= 1.21 \times S_n \quad (6)$$

Considerando todas as variáveis, a distância com o qual o sensor pode funcionar com segurança, S_a, é dado por:

$$0 <= S_a <= 0.81 \times S_n \quad (7)$$

Se o material metálico a ser detetado for diferente do alvo-padrão de aço, deve-se usar um fator de correção conforme o tipo de material visto que a resistividade influencia a distância de atuação. Na tabela 3, ilustram-se diferentes fatores de correção consoante o tipo de material.

Material	Fator
Ferro ou Aço	1,0
Cromo Níquel	0,9
Aço Inox	0,85
Latão	0,5
Alumínio	0,4
Cobre	0,3

Tabela 3 – Fatores de correção para sensores indutivos

Assim, a expressão a usar considerando o diferente tipo de material é a seguinte:

$$S_a <= 0.81 \times S_n \times F \quad (8)$$

O tamanho e forma do alvo afetam igualmente o alcance do sensor. Assim, deve-se ter em conta as seguintes características do alvo a detetar:

- Os alvos planos são preferíveis;
- Os alvos redondos poderão diminuir o alcance;
- Os materiais não-ferrosos, por norma, diminuem o alcance;
- Quando o alvo é menor que a face ativa do sensor reduz o alcance;
- Quando o alvo é maior que a face ativa aumenta o alcance;
- O uso de películas e filmes metálicos podem aumentar o alcance.

Os sensores indutivos podem ser blindados ou não blindados, onde os blindados possuem um campo mais direcionado que os não blindados, possuindo uma faixa metálica que envolve o conjunto núcleo de ferrite / bobina e contribuindo para o aumento da distância de atuação e precisão do sensor. A figura 59 exemplifica a diferença entre ambos.

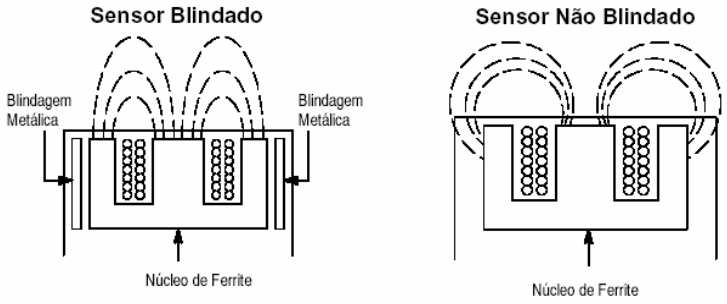


Figura 59 – Sensores indutivos blindados e não blindados

Face ao tipo de montagem, os sensores indutivos podem ser de três tipos: embutidos, não embutidos e semi-embutidos.

Os embutidos têm o campo eletromagnético apenas na face ativa, permitindo assim a sua montagem em estruturas metálicas. (Figura 60)

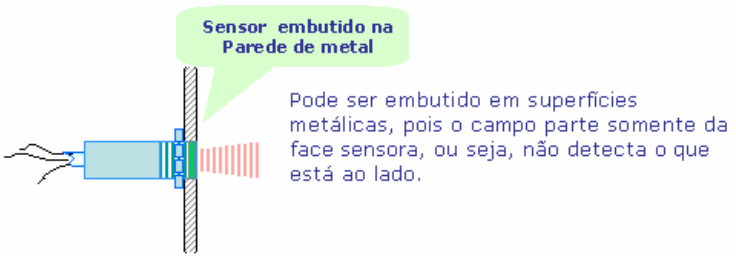


Figura 60 – Sensor tipo embutido numa estrutura metálica

Os não embutidos têm o campo eletromagnético a emergindo da face ativa mas igualmente da lateral da face, detetando assim a presença de metais nas laterais. Assim, os não embutidos não podem ser colocados em estruturas metálicas. (Figura 61)

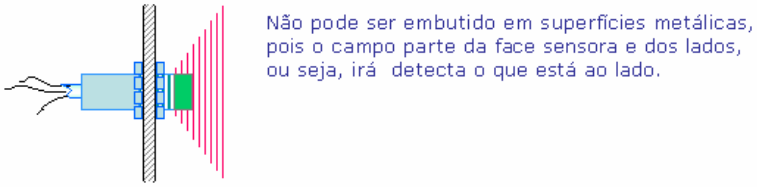


Figura 61 – Sensor não embutido

Nos semi-embutidos o campo eletromagnético emerge na face ativa sendo no entanto afetado por metais próximos. Se instalado em estruturas metálicas, deve obedecer a uma distância livre, da superfície da face conforme a figura 62.

SN	Diâmetro	Distância
2mm	M 8x1	0mm
4mm	M 12x1	0,5mm
8mm	M 18x1	2mm
15mm	M 30x1	3mm

Figura 62 – Tabela de distância livre para sensores semi-embutidos

A histerese é uma característica importante face a um alvo que executa movimentos cíclicos, ou seja, aproximando-se e afastando-se, uma vez que evita oscilações na saída do sensor quando o mesmo estiver sujeito a choques e vibrações ou até se o alvo estiver posicionado precisamente no ponto de alcance nominal. [5]

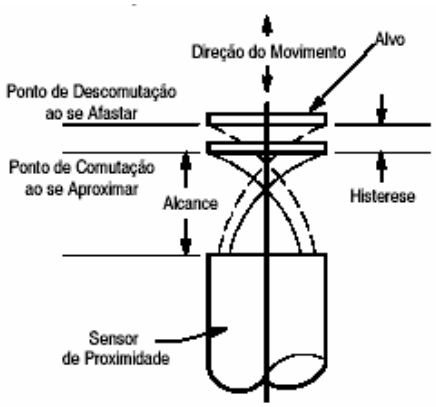


Figura 63 – Histerese no sensor de indução

A figura 63 mostra a importância da histerese, conseguindo-se distinguir o ponto de comutação e descomutação.

O sensor indutivo normalmente usado nos pratos rotativos é da Telemecanique com referência XS608B1PAM12. A figura seguinte mostra o esquemático de ligação, pinos do fabricante e a distância nominal de atuação, 2.5mm.

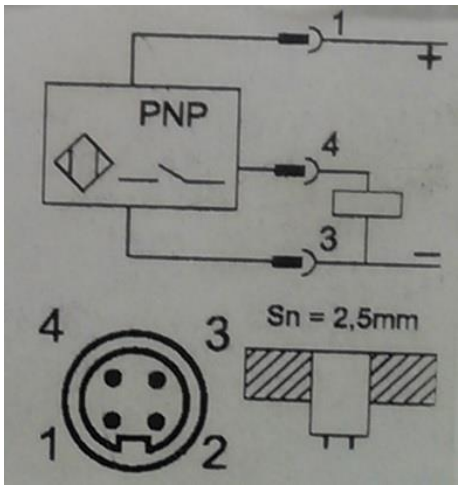


Figura 64 – Esquemático de ligação e pinos

Sendo um sensor digital, será ativado por um transístor PNP, ativando o polo positivo.

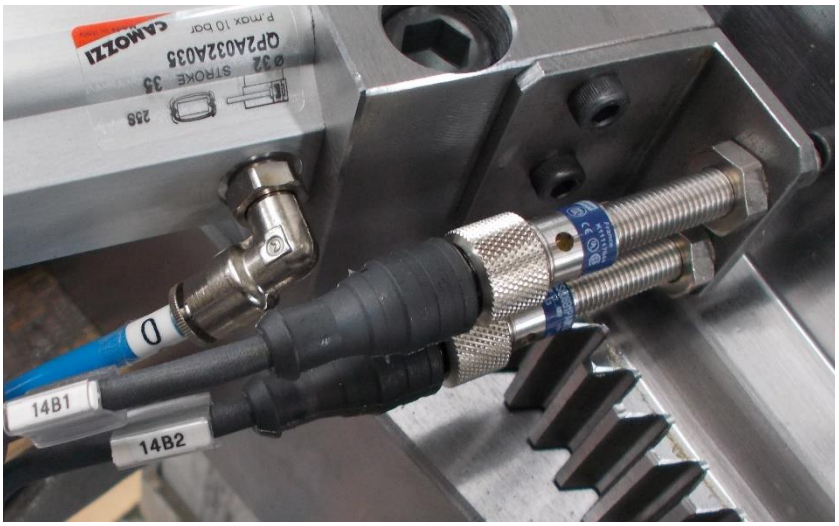


Figura 65 – Sensores indutivos aplicados no prato rotativo

A figura 65 mostra dois sensores indutivos aplicados no prato rotativo. Permitem saber o qual de rotação que o prato efetuou, neste caso, na posição inicial ou 0º ou a 180º.

Parte V – Atuadores

Tendo um papel importante no funcionamento das máquinas, foram realizados diversos trabalhos de montagem e ligação dos vários atuadores. Também aqui foi importante efetuar um estudo sobre os atuadores, o qual é apresentado nas seguintes secções.

5.1 – Motores elétricos

Apesar de se basearem nas mesmas leis, têm formas construtivas diferentes assim como o tipo de alimentação, fazendo com que se comportem de forma diferente. A figura 66 apresenta um esquema dos diferentes tipos de motores elétricos.

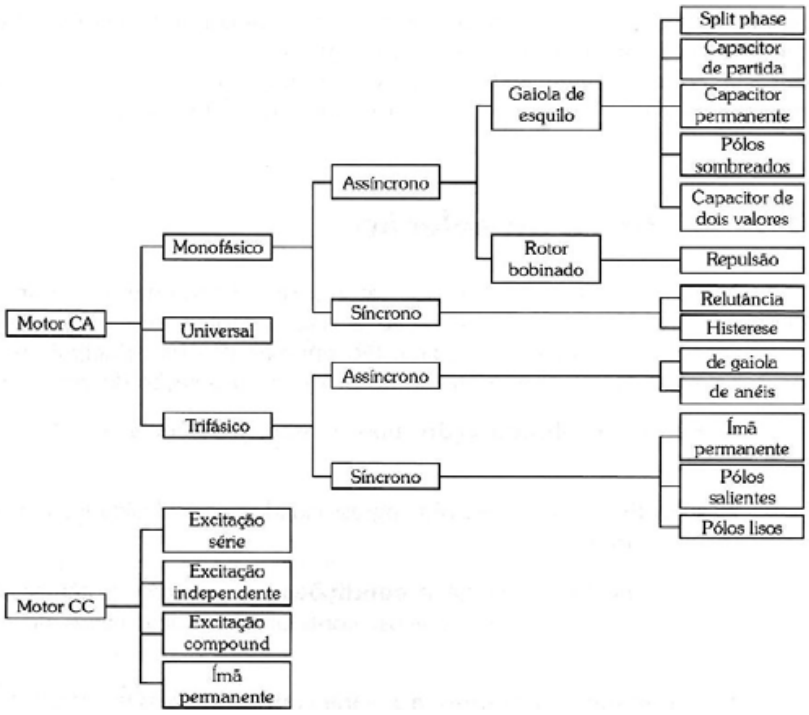


Figura 66 – Diferentes tipos de motores elétricos

Os motores analisados serão o motor corrente alternado assíncrono, de indução, e o motor síncrono de imãs permanentes, o servomotor.
O motor de indução permite movimentar o carro das unidades, não sendo necessária muita precisão. Por outro lado, a injeção e dosagem é efetuada por servomotores visto serem processos que requerem muita precisão de movimentos.

5.1.1 – Motor Assíncrono

Os motores assíncronos, ou de indução, são os motores mais usados no mercado. Possuem um rotor em curto-circuito o qual é formado por barras de alumínio que estão alojadas nos núcleos das ranhuras da chapa magnética e as extremidades estão ligadas entre si por intermédio de um anel. Assim, o campo magnético variável criado no estator induz correntes sinusoidais nas barras da gaiola do rotor as quais criam um campo magnético no rotor que se opõem ao campo do estator. Uma vez que os polos com a mesma polaridade repelem-se, cria-se uma força no sentido de rotação do rotor o qual gira com uma velocidade inferior à velocidade de sincronismo, ou seja, o escorregamento.[12]
As correntes trifásicas em circuitos equilibrados são desfasadas de 120º no tempo, podendo ser representadas pelas expressões:

$$I_a(t) = I.sen(w.t) \quad (9)$$

$$I_b(t) = I.sen(w.t-120^o) \quad (10)$$

$$I_c(t) = I.sen(w.t-240^o) \quad (11)$$

A força magnetomotriz do campo magnético produzido pela bobina quando percorrida pela corrente elétrica é dada por:

$$F = N.i(t) \quad (12)$$

O escorregamento é variável, sendo o seu mínimo quando o motor está a funcionar sem carga e o máximo quando a trabalhar à plena carga. A equação seguinte representa o escorregamento.

$$s = \frac{ns - n}{ns} \tag{13}$$

Onde s é o escorregamento, ns a velocidade de sincronismo e n a velocidade de rotação. Se a rotação igualar a velocidade de sincronismo, o escorregamento é nulo, sendo que o motor deixa de produzir binário e assim reduzir a velocidade.

A velocidade do campo girante, designada de velocidade síncrona, é proporcional à frequência do sistema de tensões e ao número de polos e é dada pela expressão seguinte:

$$n = \frac{60f}{p} \tag{14}$$

Onde n é a velocidade, f a frequência da alimentação e p o número de pares de polos.

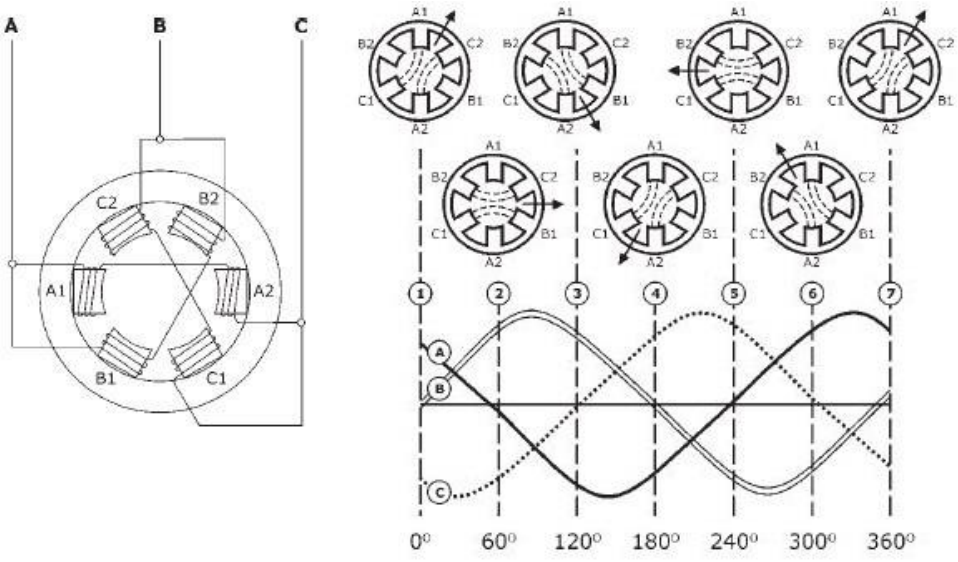


Figura 67 – Campo Magnético girante

A figura 67 representa um campo magnético girante, os pontos 1 e 7 correspondem aos momentos em que a tensão de uma fase é zero, sendo possível fazer a composição dos

vetores de indução magnética para cada instante. A resultante destes vetores gira (campo girante) com velocidade proporcional à frequência e ao número de polos no motor.

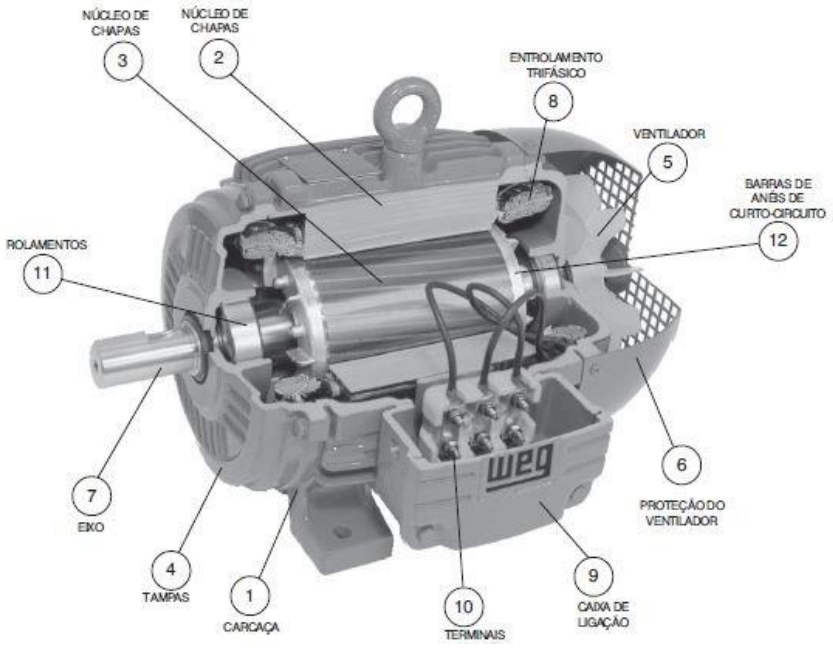


Figura 68 – Constituição de um motor de indução

A figura 68 mostra a constituição de um motor de indução no qual:

- Estator é constituído pela carcaça, núcleo de chapas (2) e enrolamento trifásico;
- Rotor é constituído pelo eixo, núcleo de chapas (3), barras e anéis de curto de circuito.
- Outros elementos como as tampas, ventilador, proteção do ventilador, caixa de ligação, terminais e rolamentos.

A curva binário / velocidade, da figura 69 mostra a relação entre o binário desenvolvido pelo motor e a rotação. No arranque e sendo o motor ligado à rede diretamente, o binário será aproximadamente o dobro do binário nominal, diminuindo à medida que a velocidade aumenta até cerca de 30% da velocidade nominal. O binário volta a aumentar até atingir o seu máximo, com 80% da velocidade nominal, atingindo o valor nominal quando a velocidade atinge, igualmente o seu valor nominal.

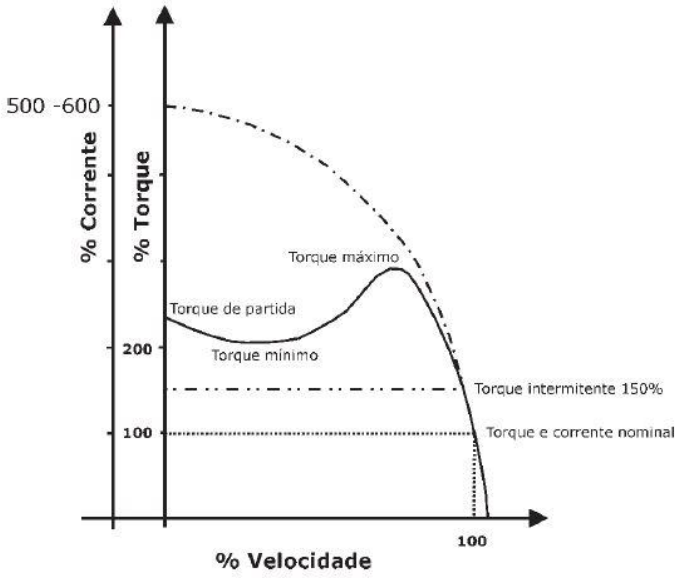


Figura 69 – Curvas binário x velocidade e corrente x velocidade com tensão e frequência constante

A curva corrente / velocidade mostra o consumo da corrente em função da velocidade. Ligando diretamente à rede, a corrente será cinco a seis vezes superior que a nominal, diminuindo à medida que a velocidade aumenta até atingir um valor o qual é determinado pela carga.

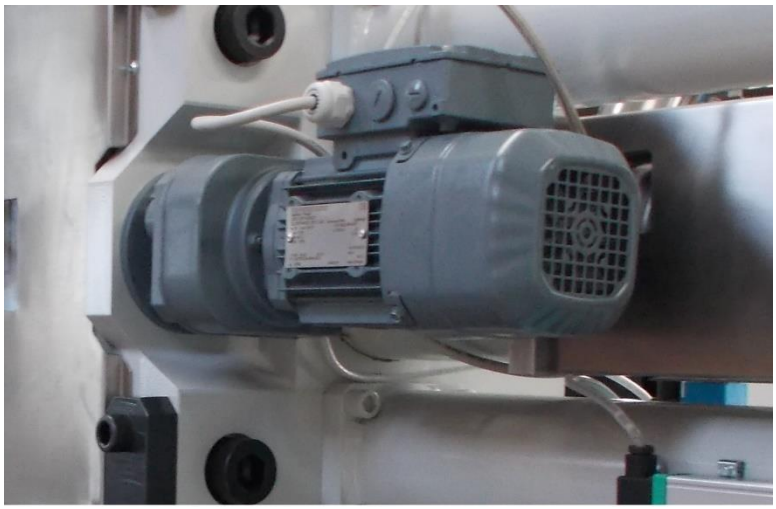


Figura 70 – Motor indução

A figura 70 mostra o motor de indução acoplado a uma unidade EL.0600 para efetuar o movimento do carro.

5.1.2 – Servomotor

O servomotor é um motor trifásico síncrono AC no entanto com rotores constituídos por imãs permanentes, não havendo enrolamentos de campo. O rotor gira com velocidade diretamente proporcional à frequência de alimentação e inversamente proporcional ao número de polos magnéticos do motor, sendo a velocidade de sincronismo.
Os servomotores apresentam características que os fazem distinguir dos restantes motores, funcionando a diversas velocidades com binário constante possuindo um preciso controlo de binário onde se pode atuar sobre o mesmo, aumentando ou diminuindo, sem prejudicar o servomotor. Apresentam igualmente uma enorme precisão da velocidade e posição. [13]

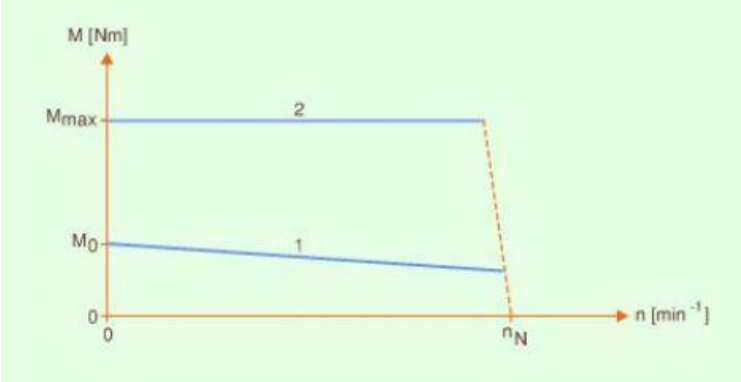


Figura 71 – Características desejadas num servomotor

A figura 71 apresenta a principal característica desejada num servomotor, ou seja, binário constante numa larga faixa de utilização.
O servomotor tem necessidade de uma malha de controlo para efetuar o controlo das correntes de armadura. Estas correntes criam um campo magnético que vai interagir com o campo magnético de valor fixo criado pelos imãs permanentes, sendo o binário máximo do motor criado quando o campo dos imãs permanentes fica ortogonal ao campo criado pelas correntes que circulam nas bobinas de armadura. A partir da posição do rotor, fornecida pela encoder, é possível a malha de controlo impor as correntes de armadura e controlar assim o binário do motor e velocidade. O controlo é feito pela "drive" que decompõe as correntes por fase (i_a, i_b e i_c) em duas componentes, i_{sd} e i_{sq}, onde i_{sd} é a corrente

correspondente da armadura segundo a direção do eixo direto e i_{sq} a corrente de armadura segundo o eixo em quadratura. As correntes i_{sd} e i_{sq} circulam em bobinas fictícias na direção do rotor e direção ortogonal ao rotor.

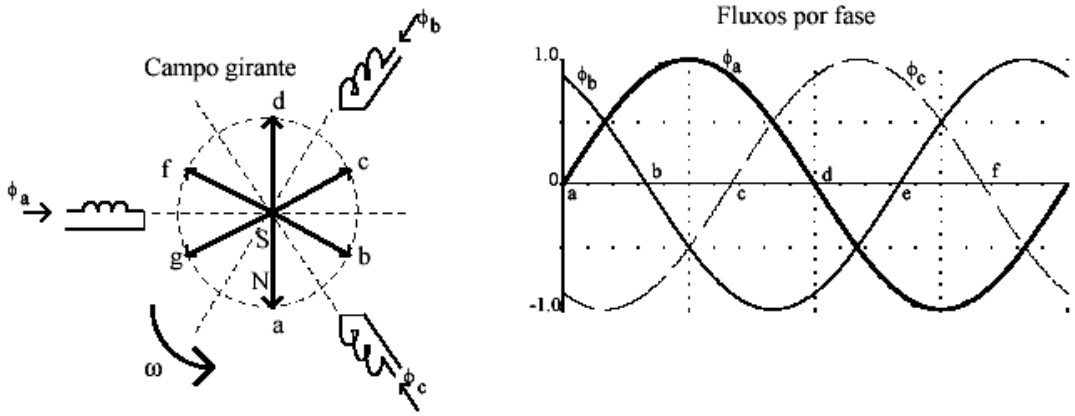


Figura 72 – Campo girante e fluxos por fase

Na figura 72 observa-se a relação dos fluxos magnéticos criados pelas correntes das fases e desfasamento de 120º, proporcionando um campo magnético girante. Entre as principais características, um servomotor apresenta o binário nominal determinado pela potência nominal, além de que o binário máximo chega a ser cerca de três vezes o binário nominal.
A figura 73 mostra três servomotores para o movimento da injeção, dosagem e carro da unidade EL.0028.

Figura 73 - Servomotor

5.2 – Resistências Elétricas de Aquecimento

As resistências elétricas permitem o aquecimento da câmara, onde se encontra o fuso, de forma a diluir o material e possa ser injetado no molde.
São resistências com isolamento de mica, normalmente usadas na indústria que usam máquinas transformadoras de plástico. (Figura 74)

Figura 74 – Constituição de uma resistência com isolamento de mica

A mica é provida de um excelente e forte dielétrico e de boa capacidade de transferência de calor. O calor produzido pelo fio de Cromoníquel é rapidamente transferido para a superfície da resistência. As resistências são projetadas de forma a evitar a introdução de matéria plástica. [14]
Os cabos usados nas resistências são cabos para alta temperatura.

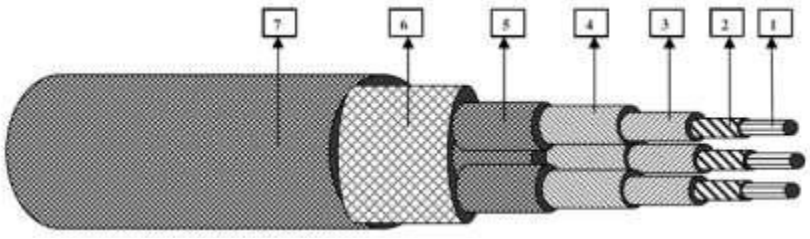


Figura 75 – Constituição do cabo de ligação das resistências

A figura 75 mostra a constituição do cabo das resistências onde:

1. 2 Condutores em níquel 99.6% + 1 condutor em cobre niquelado
2. Fita PTFE

3. Fibra de vidro em espiral
4. Fibra de vidro impregnada em resina de silicone em espiral
5. Trança de fibra de vidro impregnada em resina de silicone em espiral
6. Fita de fibra de vidro
7. Trança em aço galvanizado

Através do Anexo II podemos visualizar o esquema de ligação das resistências eléctricas de aquecimento, onde as resistências são divididas em zonas. Zona1, zona2, zona3, zona4, bico e extensão de bico. A zona4 e extensão de bico são opções consoante o projeto do cliente. Nas zonas1, 2 e 3 as resistências são ligadas em paralelo. A divisão por zonas permite colocar uma sonda, ou seja, um termopar a medir a temperatura de cada zona e assim atuar por zona individualmente.

Também igualmente por zonas, o circuito das resistências é fechado por relés de estado sólido, o qual liga e desliga o circuito consoante o sinal de controlo vindo do PLC.

5.3 – Válvula Solenoide

As válvulas usadas permitem controlar a passagem de ar comprimido tendo em vista diferentes funções, como o acionamento do cilindro pneumático ou acionamento do vibrador da tremonha para entrada de material. [9]

São bobinas eletromagnéticas que quando percorridas por corrente elétrica geram um campo magnético que vai atrair elementos com características ferrosas, comportando-se como um imã permanente. Nas electroválvulas pneumáticas, o êmbolo da válvula é o próprio magnético móvel. Quando o campo é gerado pela passagem de corrente elétrica, o êmbolo da válvula é atraído, abrindo ou fechando as passagens do ar comprimido no interior da carcaça.

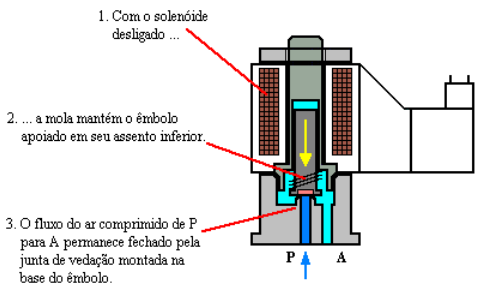


Figura 76 – Válvula solenoide fechada

A figura anterior exemplifica o estado de uma válvula solenoide desligada, ou seja, como não há passagem de corrente elétrica, a mola mantem o êmbolo apoiado, fechando a passagem de "P" para "A".

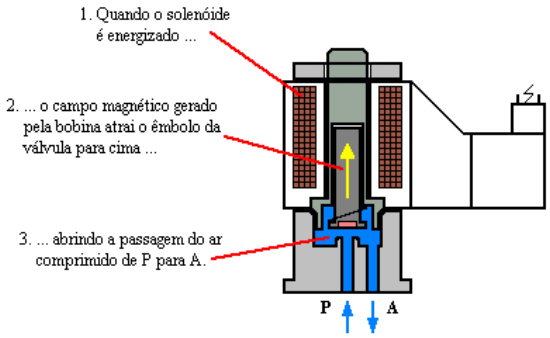


Figura 77 – Válvula solenoide ligada

A figura 77 representa uma válvula solenoide ligada, ou seja, como há passagem de corrente elétrica na bobona, o campo magnético gerado atrai o êmbolo da válvula fazendo este deslocar-se, permitindo assim a abertura e passagem de ar comprimido de "P" para "A".

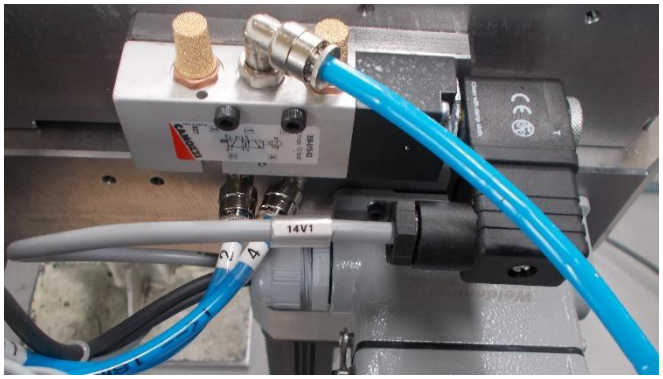


Figura 78 – Válvula solenoide pneumática para a atuação do "Lock" de um prato rotativo

5.4 – Cilindro Pneumático

O cilindro pneumático permite movimentar, mediante ar comprimido, o "Lock" de bloqueio do prato rotativo convertendo energia fluídica em energia mecânica na forma de força e velocidade linear.

A figura seguinte mostra a constituição típica de um cilindro pneumático.

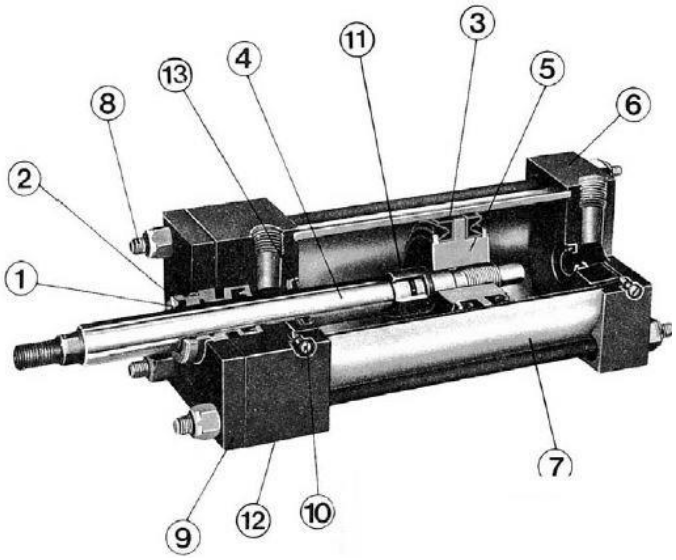


Figura 79 – Constituição de um cilindro pneumático

Onde:

1. Mancal;
2. Guarnição de limpeza da haste;
3. Guarnição "U" cup;
4. Haste;
5. Êmbolo;
6. Cabeçote traseiro;
7. Camisa (tubo de deslizamento);
8. Tirantes com porca;
9. Tampa de fixação de mancal;
10. Válvula do controlo de fluxo do amortecimento;
11. Colar do amortecimento dianteiro;
12. Cabeçote dianteiro;
13. Guarnição do amortecimento.

Os cilindros podem ser de ação simples ou dupla ação. Os de simples ação usam o ar comprido para produzir trabalho num único sentido do movimento, avanço ou retorno. Possuem um orifício para entrada do ar e no lado oposto outro orifício para respiro. Normalmente o movimento não realizado é efetuado por uma mola.

Nos cilindros de dupla ação, usam o ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos, ou seja, no avanço e retorno. Possuem dois orifícios por onde, alternadamente, entra e sai o ar.

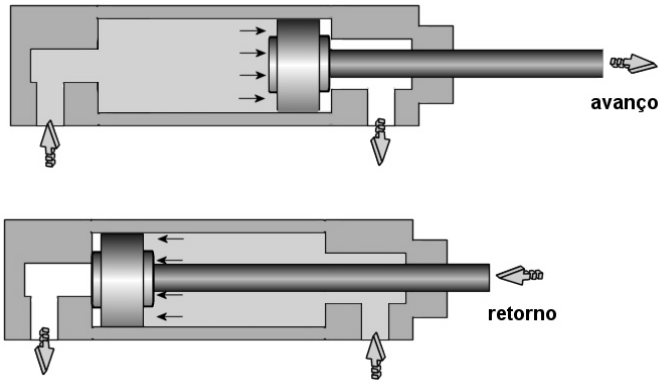


Figura 80 – Cilindro de dupla ação

A figura 80 mostra um exemplo de um cilindro de dupla ação onde, no avanço, o ar entra pelo orifício traseiro e empurra o êmbolo e no retorno, o sentido é invertido.

Parte VI – Cadeia de Comando

Diversos trabalhos realizados consistiram na montagem e alterações dos quadros elétricos e execução de diversas ligações aos equipamentos de controlo e comando do quadro. Neste sentido foi desenvolvido um estudo sobre os diversos equipamentos permitindo, igualmente, uma melhor compreensão da sua estrutura e agilidade nas respetivas alterações solicitadas.

6.1 – Variador Eletrónico de Frequência

O variador eletrónico de velocidade permite controlar o motor de indução que aciona o carro das unidades de injeção. É um dos equipamentos mais utilizados nos processos industriais, sendo versátil e dinâmico, capaz de gerar uma tensão e frequência trifásica ajustável e com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico.
Face a métodos mecânicos de comando de um motor, tem como vantagens: [12]

- Adaptação da velocidade a condições de exploração precisas;
- Controlar a corrente de arranque, diminuindo a corrente de arranque do motor que poderiam originar quedas de tensão na rede elétrica;
- Controlar a aceleração e desaceleração, por exemplo na movimentação de diversas cargas;
- Prolongar a vida do motor, já que reduz os choques mecânicos;
- Melhora o fator de potência;
- Economiza energia e aumenta a produtividade do processo.

A velocidade de um motor, rotação, é calculada pela seguinte equação:

$$n = \frac{60 * f * (1 - s)}{p} \quad (15)$$

Onde,

n = velocidade

f = frequência

s = escorregamento

p = pares de polos

Perante a equação anterior, alterando a frequência para valores diferentes da alimentação, conseguimos variar igualmente a velocidade de rotação do motor.

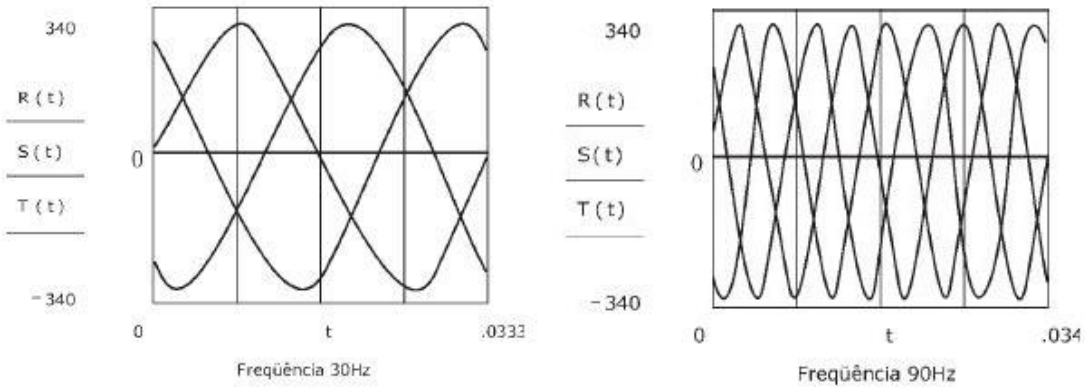


Figura 81 – Variação da frequência

A figura 81 mostra o efeito da variação da frequência onde para uma frequência de 30hz a velocidade de rotação são 875rpm e para 90hz a velocidade de rotação são 2625rpm.

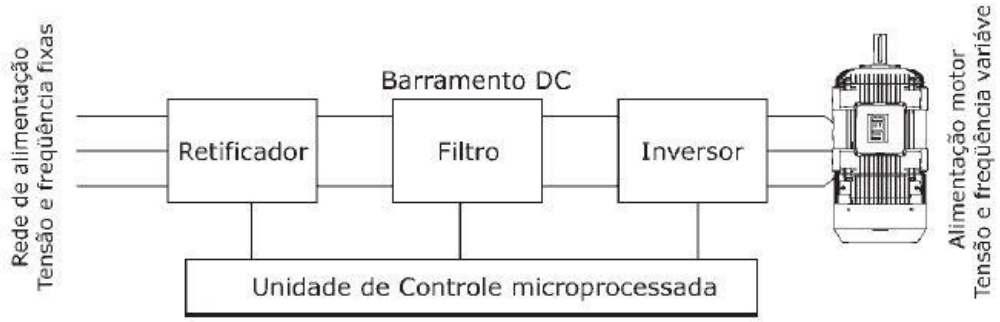


Figura 82 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência

A figura 82 mostra um diagrama de blocos constituinte de um inversor de frequência, onde o retificador gera uma tensão contínua, sendo posteriormente filtrada e introduzida no bloco inversor. No bloco retificador, seis díodos situados no circuito de entrada, retificam a tensão trifásica da rede, resultando uma tensão DC a qual é filtrada por um condensador e utilizada como entrada para o bloco inversor.

O inversor é constituído por vários elementos:

- CPU, unidade de processamento, onde todas as informações e parâmetros estão armazenados. Executa igualmente a geração dos pulsos de disparo dos IGBTs onde a combinação de abertura e fecho é efetuada por PWM.
- Interface Homem-máquina, onde se pode visualizar o que ocorre no inversor, num display, e inserir parâmetros de acordo com a aplicação.
- Interfaces analógicas ou digitais. Por norma, para controlar a velocidade de rotação de um motor AC, usa-se uma tensão analógica que varia dos 0 – 10Vcc. Para inverter o sentido de rotação, inverte-se a polaridade do sinal, -10 – 0Vcc. Um parâmetro de programação define a entrada a usar, digital ou analógica.
- Elemento de potência constituído por um circuito retificador e circuito de saída do inversor.

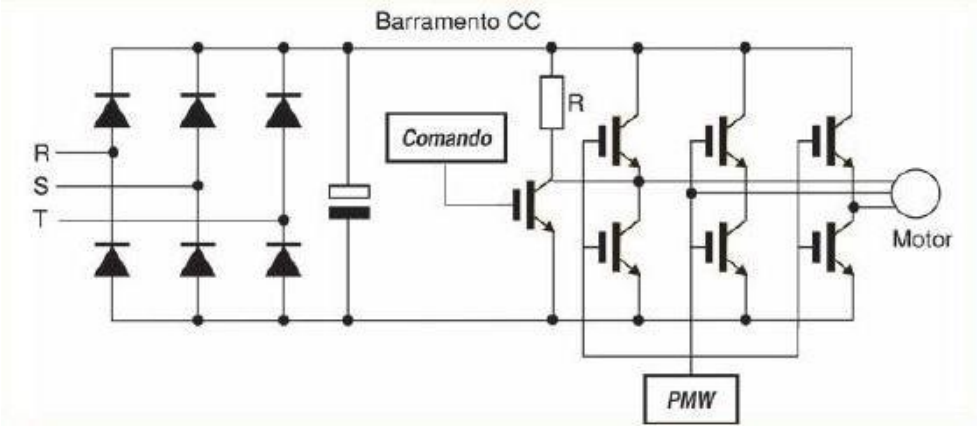


Figura 83 – Representação esquemática de um inversor frequência

A figura 83 faz uma representação esquemática de um inversor onde são utilizados seis semicondutores, tipo IGBT, a funcionar como interruptores estáticos, comutados a alta frequência e comandados pelo módulo de controlo. Cada fase de saída corresponde a um ramo com dois IGBTs e dois díodos. Assim existem três sinais de comando desfasados de 120º que comandam os três pares de IGBTs.

Existem dois métodos de controlo do inversor, o escalar e o vetorial.

O controlo escalar baseia-se na relação V/f constante, mantendo o binário nominal constante para qualquer velocidade. Dois parâmetros que definem as características das bobines trifásicas de um motor de indução são a resistência, que depende do material e

comprimento do fio, e indutância que depende da geometria das bobines e interação com o rotor. A corrente que circula no estator é proporcional ao valor da resistência R e reatância indutiva X_L que depende da indutância L e frequência f. A reatância indutiva é dada pela seguinte equação:

$$XL = 2.\pi.f.L \tag{16}$$

E a corrente:

$$I = V\frac{V}{(R2 + XL2)^1/2} \tag{17}$$

Como o valor da resistência é muito pequeno para valores acima de 30Hz, esta é desprezada quando comparado com a reatância indutiva. Assim e das equações, temos o valor da corrente proporcional à tensão de alimentação V, à indutância L e à frequência f, onde L é uma constante do motor, sendo V e f controlados pelo inversor.

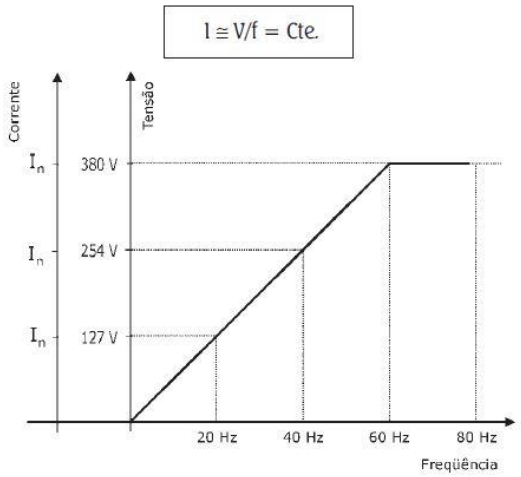


Figura 84 – Relação tensão-frequência constante

Para variar a velocidade, variamos a frequência da tensão de alimentação o que induz à variação da tensão proporcionalmente e assim manter a corrente no estator constante e semelhante à nominal. A figura 84 mostra essa relação. Da mesma figura, observamos que acima de certa frequência a tensão já não sobe, uma vez que já atingiu a tensão da rede. É a região de enfraquecimento de campo, onde a corrente e binário diminuem.

Abaixo dos 30Hz, a resistência do estator começa a ter influência na corrente, onde para baixas frequências e mantendo-se a proporcionalidade V/f, a corrente e binário vão diminuindo. Para colmatar esta situação, a tensão do estator em baixas frequências deve ser aumentada com a compensação I x R. A figura seguinte mostra esse efeito.

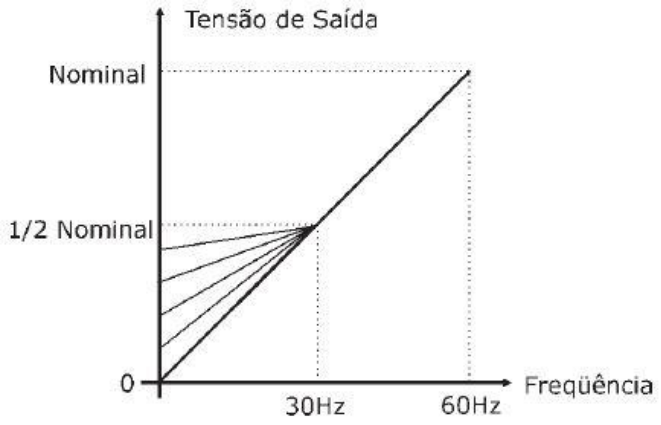


Figura 85 – Efeito da compensação I x R

Para colmatar estas desvantagens, existem os inversores de controlo vetorial sendo mais onerosos.

O inversor com controlo vetorial calcula a corrente necessária para produzir o binário requerido pelo motor, e assim obter a corrente do estator e a corrente de magnetização. Visto que um vetor é uma representação matemática de uma grandeza física com magnitude e direção, os inversores vetoriais têm esse nome porque separa em duas componentes a corrente que circula nas bobines do estator, a I_d ou corrente de magnetização e a I_q ou corrente que produz o binário. A corrente total é a soma vetorial das duas componentes e o binário produzido no motor é proporcional ao produto vetorial das duas componentes.

Como vantagens do inversor com controlo vetorial:

- Elevada precisão de regulação da velocidade;
- Performance dinâmica;
- Controlo do binário para diversas aplicações;
- Operações suaves em baixa velocidade e sem oscilações de binário;

A figura 86 mostra o variador eletrónico de velocidade usado para controlar os motores de indução das unidades de injeção.

Figura 86 – Variador Eletrónico de Velocidade

6.1.1 – PWM – Modulação de Largura de Impulsos

O PWM consiste em manter fixo o período (T) do sinal e variar a razão cíclica (D), variando assim a largura do impulso (t_{on}). (Figura 87)

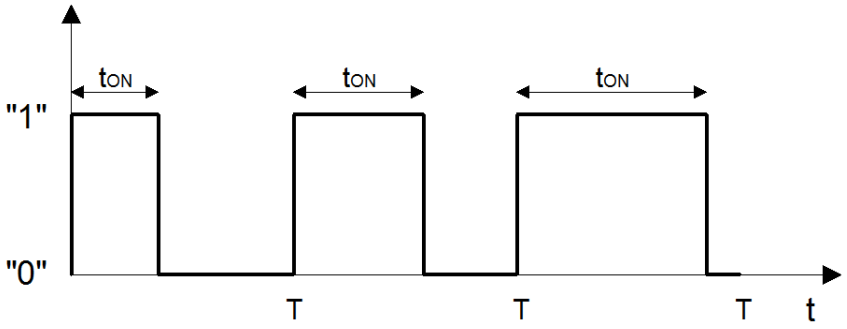


Figura 87 – Exemplo de sinal PWM

A modulação PWM gera um trem de impulsos de onde quadrada com largura de pulso variada com o intuito de comandar os IGBTs e fornecer ao motor um sinal sinusoidal de frequência e tensão variável. Os sinais são obtidos por comparação entre a onda portadora, c(t) e a onda de referência r(t). [15]

Normalmente são usados três tipos de onda portadora. A onda dente de serra, onde o flanco ascendente do PWN ocorre em instantes de tempo fixos e o descendente é modulado com a variação da onda de referência. A onda dente de serra invertido, na qual o flanco descendente do PWM ocorre em tempos fixos e o flanco ascendente é modulado com a variação da onda de referência. Por último a onda triangular onde ambos os flancos ascendente e descendente são modulados. A maioria das aplicações DC-AC é efetuada com a modulação com onda triangular.

A figura 88 mostra os diferentes tipos de onda portadora na implementação do PWM.

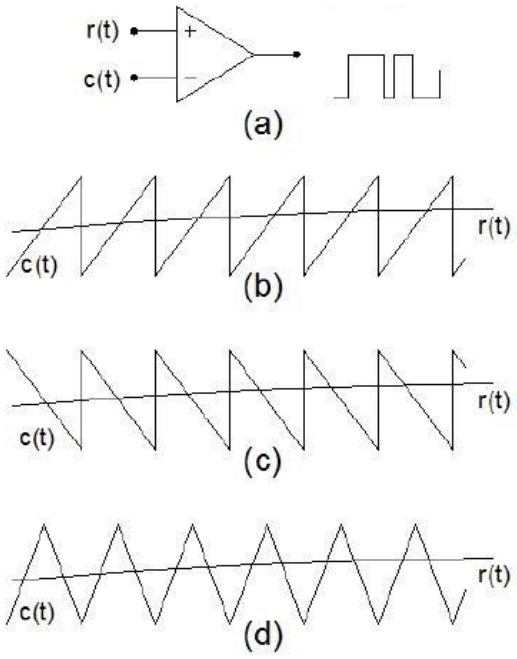


Figura 88 – PWM implementado com diferentes ondas portadoras

Por norma o sinal PWM é obtido analogicamente, denominado natural-sampling. Se for implementado de forma digital, a onda de referência é amostrada a uma frequência fixa e a portadora efetuada por um contador, denominando-se regular-sampling. Na figura 89 visualiza-se a diferença do sinal PWN com natural-sampling e regular-sampling.

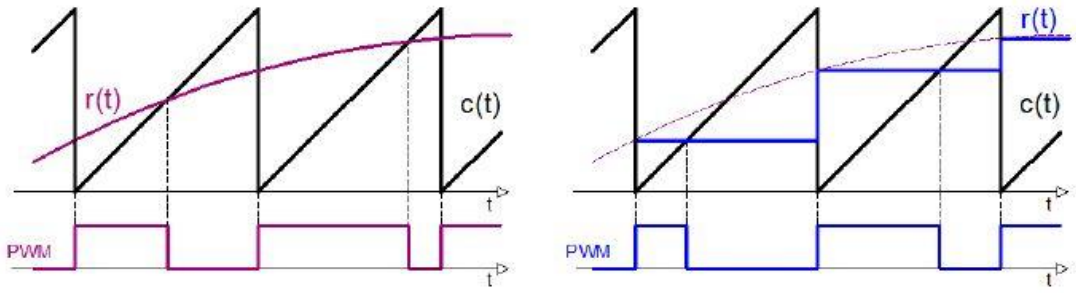


Figura 89 – Diferença do sinal PWM com natural-sampling e regular-sampling

6.2 – Relé de Estado Sólido

O relé de estado sólido permite efetuar contínuas operações de comutação sem desgaste mecânico nem arco elétrico, além de apresentar um funcionamento silencioso quando comparado com as soluções mecânicas como contactores. Os relés normalmente utilizados são da Carlo Gavazi, do tipo RJ1A.

Também denominados de SSR (Solid State Relay). São dispositivos semicondutores usados quando se pretende ter elevada quantidade de comutações, velocidade de operação, dimensões e peso reduzido. Deve-se, inclusive, usar estes relés em ambientes inflamáveis ou situações semelhantes, visto não produzir o arco elétrico dos relés ou contactores tradicionais. O disparo dos SSR´s faz-se, por norma, em tensão nula e o bloqueio quando cessa a corrente, evitando a emissão de interferências por rádio frequência. [16]

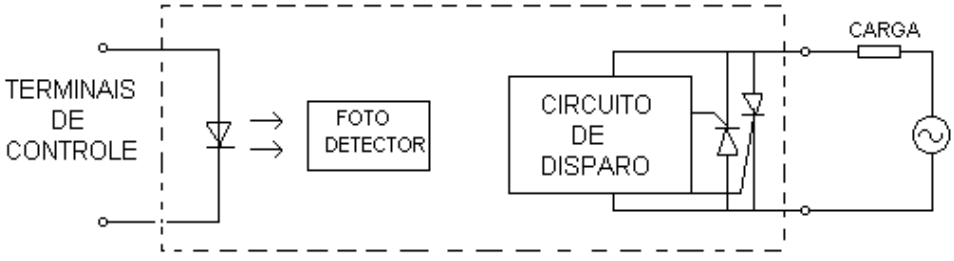


Figura 90 – Configuração de um Relé de Estado sólido

A figura 90 mostra uma configuração típica de um SSR. Face a um relé usual, a bobine é substituído por um fotoemissor e os contatos por um dispositivo sensível à luz. O circuito de controlo permite, ou não, o disparo dos tirístores.

São também chamados de zero crossing switch, onde os tirístores são disparados quando a tensão passa por zero, conseguindo um crescimento da corrente proporcional ao crescimento da tensão, sinusoidalmente. Temos assim a corrente em fase com a tensão, para cargas resistivas, não gerando interferências por rádio frequência.

Face aos relés eletromecânicos, os SSR´s apresentam várias vantagens:

- Inexistência de partes móveis como contatos ou molas nem partes metálicas sujeitas a corrosão;
- Inexistência de arco elétrico nem interferências por rádio frequência;
- Elevada velocidade de comutação;
- Disparo em tensão nula, aumentando a vida da carga;
- Elevada expectativa de vida útil;
- Imunidade a choques e vibrações.

Figura 91 – Relés de Estado Sólido

A figura 91 mostra os vários relés de estado sólido que efetuam a ligação das resistências de aquecimento de uma unidade de injeção.

Parte VII – Trabalho prático

O trabalho desenvolvido consistiu na eletrificação total das unidades, ou seja, toda a montagem e ligações inerentes dos sensores e atuadores, passando pela ligação dos miolos das fichas de ligação das unidades de injeção e pratos rotativos e toda a respetiva ligação e montagem, quando necessária, dos quadros elétricos.

Assim, o trabalho realizado consistiu em:

- Montagem e ligação das resistências de aquecimento;
- Montagem e ligação dos termopares;
- Montagem e ligação das válvulas solenoides, régua linear de deslocamento e fim de curso;
- Montagem e ligação do sensor de pressão;
- Montagem e ligação de todos os cabos nos miolos das fichas de ligação da unidade ao quadro elétrico;
- Montagem do cilindro pneumático com os respetivos sensores magnéticos, válvula solenoide e sensores indutivos com execução das ligações nos miolos das fichas de ligação do prato rotativo ao quadro elétrico;
- Execução e passagem dos cabos no tubo de ligação das unidades ao quadro;
- Ligação de todos os cabos provenientes da unidade no quadro elétrico, com o respetivo acondicionamento dentro do quadro e ligações à terra;
- Alterações no quadro, dependendo do destino da unidade (sistemas com ou sem neutro) e montagem de interfaces no quadro para comunicação com a máquina injetora do cliente.

O processo de montagem de uma unidade inicia-se com a confirmação de encomenda, onde são efetuadas requisições internas para a encomenda do diverso material e equipamento necessário, desde as peças maquinadas ao equipamento elétrico. O processo de eletrificação, propriamente dito, inicia-se com a montagem das resistências elétricas na câmara da unidade assim como a montagem dos termopares nas diferentes zonas de aquecimento. Posteriormente é montada a válvula solenoide de controlo da refrigeração da zona de entrada do material, o fim de curso e o sensor de pressão. A passagem de todos os

cabos tem que seguir os respetivos caminhos apropriados de forma a se conseguir, no final dos ensaios, colocar as proteções mecânicas exteriores.

Para a ligação da unidade ao quadro, existe a necessidade de passar diversos cabos num tubo com o comprimento baseado no comprimento dos cabos de potência e encoder dos servomotores, onde são igualmente passados o cabo de aquecimento, dos sinais, cabos compensados para as sondas e cabos blindados do sensor de pressão e régua. A ligação com a unidade é efetuada com fichas de ligação constituídas por base e tampa e miolos macho e fêmea.

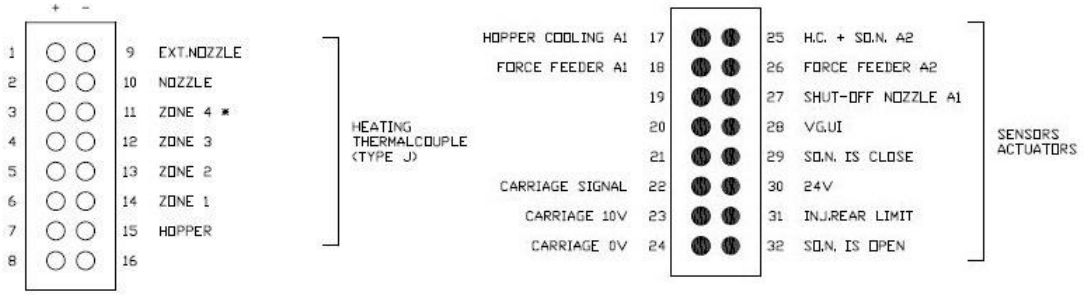


Figura 92 – Pinos de ligação dos miolos macho e fêmea de 16 pinos.

A figura 92 mostra os pinos de ligação dos miolos macho e fêmea onde ligam os diversos sinais e os termopares.

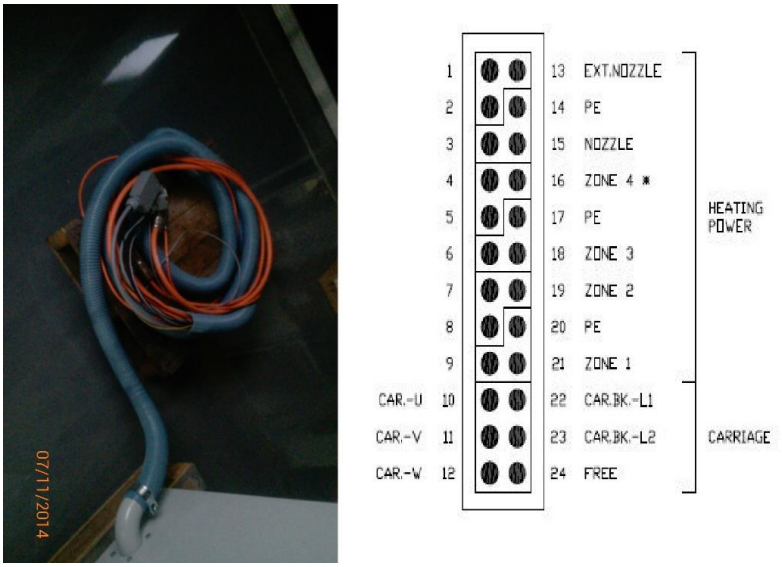


Figura 93 – Tubo de ligação à unidade e pinos de ligação do miolo macho de 24 pinos.

A figura 93 mostra o tubo de ligação da unidade ao quadro e os pinos de ligação do miolo macho de 24 pinos onde se ligam as resistências e o motor de indução.

Para a ligação dos diversos cabos usam-se ponteiras cravadas nas pontas dos fios, consoante a secção do mesmo, de forma a poderem ser apertadas nos miolos. Nos cabos blindados, a malha de proteção tem que ser ligada à terra, sendo a mesma isolada com termorretrátil e uma ponteira cravada na ponta da malha liga ao ponto terra do miolo.

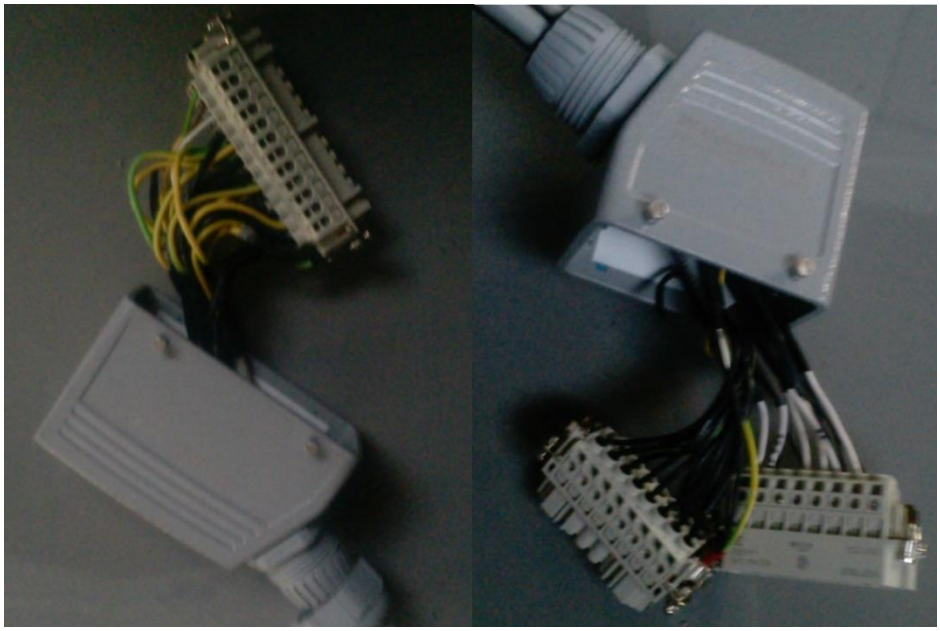


Figura 94 – Ligação dos cabos nos miolos das tampas.

A figura 94 mostra a ligação dos cabos do motor de indução e resistências (esquerda), dos termopares e cabos dos sinais (direita) nos respetivos miolos das tampas de ligação.

Depois do tubo conectado ao quadro e os cabos passados, é necessário fazer a ligação dos mesmos dentro do quadro elétrico. Os cabos compensados dos termopares ligam individualmente à carta de entrada para temperatura CAI883. A válvula solenoide da refrigeração liga à carta de saídas digitais CTO163. O sensor de pressão e a régua de deslocamento linear ligam à carta de entradas e saídas analógicas CAM123. Em ambos os casos, os cabos de ligação têm blindagem onde a mesma tem que ser ligada ao barramento de terra. No entanto há a necessidade de ter particular cuidado na zona de corte da blindagem devido ao ruido que o sinal possa ser afetado. A malha é cortada no comprimento máximo admissível para que os fios se possam ligar na carta, continuando

isolados no comprimento máximo possível. Posteriormente, e usando termorretráteis e ponteiras de cravar, a malha da blindagem é conectada a um cabo de terra e liga-se ao barramento de terra do quadro.

Do cabo das resistências de aquecimento que vem da ficha de ligação à unidade, ligam-se os fios aos relés de estado sólido e disjuntor de proteção por zona de aquecimento. Nas fichas de ligação é efetuado um barramento nos pinos para a ligação das terras das resistências sendo o mesmo ligado, já no quadro, ao barramento de terra do quadro.

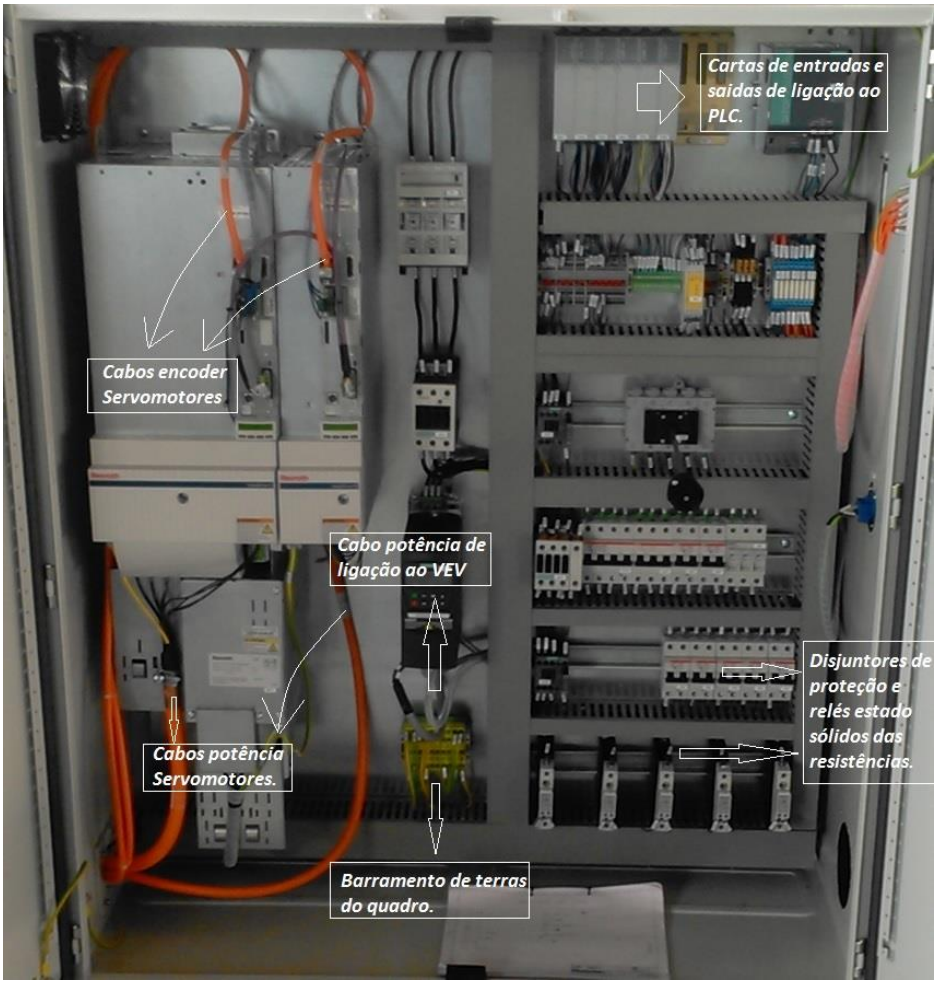


Figura 95 – Visão geral do quadro.

A figura 95 mostra uma visão geral do quadro elétrico de uma unidade.

O cabo de ligação do motor de indução é igualmente blindado. Depois de ligar as três fases ao VEV, efetua-se o mesmo procedimento com a blindagem, ligando a um cabo terra

com termorretrateis e ponteira de cravar e conectando posteriormente ao barramento de terra.

Os cabos dos servomotores ligam-se respetivamente aos servocontroladores, ou "drives", da injeção e dosagem. Para esse efeito, existe nas "drives" um barramento de saída das fases e outro para ligação do cabo do encoder. Ambos os cabos são seguros na "drive" por abraçadeiras, onde existe a necessidade de fixar os cabos na zona saliente dos mesmos onde está disponível o ponto de terra.

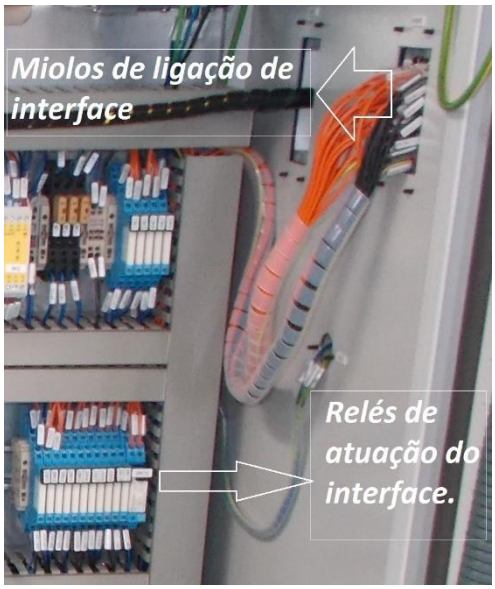


Figura 96 – Implementação interface Euromap

Consoante as necessidades do cliente, por vezes implementou-se nos quadros um interface de ligação com a máquina injetora do cliente designado por "Euromap". O intuito do interface é coordenar as sequências de atuação da unidade mediante estado da máquina injetora, os sinais de segurança e robot de extração das peças. Na figura 96 é visualizado um interface Euromap com os relés de interface e as ligações aos miolos de ligação à unidade injetora.

Conclusão

O trabalho apresentado traduz as atividades desenvolvidas ao longo do estágio na empresa Plasdan – Automação e Sistemas,Lda. a qual constrói máquinas para a indústria de injeção de plástico. Tendo como objetivo analisar e estudar a cadeia de instrumentação e atuação que fazem parte integrante das máquinas, foi realizado um levantamento de todos os sensores e atuadores e feito um estudo detalhado de cada um, desde a montagem, funcionamento e respetivas ligações.

Perante a familiarização dos diversos componentes, foi então possível realizar trabalho de campo nos seus diversos aspetos, desde a própria montagem nas máquinas, as ligações para a transmissão dos sinais nas fichas de ligação e as ligações nos quadros elétricos aos respetivos interfaces.

Ao longo dos diversos trabalhos, houve duas situações carentes de serem melhoradas. Uma diz respeito às ligações nos miolos macho/fêmea onde, na mesma ficha, são ligados dois pares de miolos macho/fêmea de numeração 1-16 e 17-32 que correspondem aos termopares e aos diversos sinais de sensores e atuadores. No entanto, não havendo uma normalização da sequência da numeração dos miolos nas bases e tampas e no início dos ensaios das unidades, houve quase sempre a necessidade de alterar a sequência estabelecida dos miolos, levando a atrasos nos ensaios. Esta situação foi comunicada diversas vezes, sendo a sua solução a normalização de uma sequência dos miolos, estando ainda pendente de resolução. Outra situação refere-se aos cabos blindados que ligam o sensor de pressão e régua ao quadro elétrico. A blindagem dos mesmos era cortada inadvertidamente bastante afastada da carta de entrada, ficando assim bastante suscetíveis a ruídos provenientes do ambiente envolvente, reproduzindo valores errados de medição. Como referido anteriormente, a solução para a quase completa atenuação de ruido foi cortar a blindagem na base da carta, isolá-la com manga termorretrátil e ligá-la ao barramento de terra.

Foi assim possível obter uma análise e perceção dinâmica do funcionamento geral de uma unidade de injeção e prato rotativo, máquinas capazes de transformar uma simples peça de plástico em complexas peças constituídas por vários componentes. Esta experiência foi um desafio gratificante para o enriquecimento do meu percurso pessoal e profissional, onde foi possível descobrir uma das áreas da indústria que até então era me desconhecida.

Referências Bibliográficas

[1] Back, Edu - Modelo para estimativa de custos nas etapas iniciais do projeto de peças injetadas em plástico. Tese em Engenharia Mecânica, http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2011/BACKEdu.pdf

[2] Rodrigo, Fábio. Estudo Teórico-Experimental do Fabrico de Peças Poliméricas por Injeção. Instituto Superior Técnico, IST., https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142120684/Dissertacao%20-%2055604.pdf

[3] Cruz, Nuno. Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos. Universidade do Minho.

[4] Instrumentação e Medida, Capitulo 4 – Transdutores e Condicionamento de Sinal. Universidade da Beira Interior, http://webx.ubi.pt/~dinis/IM/im_cap04_transdutores.pdf

[5] Trajano Camargo, Controle e Automação Industrial, http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle_e_-Automacao_Industrial_II.pdf

[6] Gomes, Alex., Calibração e Compensação de Sensores de Pressão Piezoresistivos – Dissertação em Engenharia de Sistemas Eletrónicos.

[7] Resitec Leiria, Componentes Industriais. Guia de Termopares.

[8] Coelho, João. Sensores e Atuadores. Instituto Politécnico de Bragança.

[9] Sandretto, empresa de Máquinas Injetoras. Manutenção de Máquinas Injetoras, http://www.sandretto.com.br/site/estudos/ManutencaoEletricaSandretto.pdf

[10] Catalogo Camozzi, Sensores Magnéticos de Proximidade Serie CSV/CST.

[11] WEG, Sensores e Fontes.

[12] WEG, Guia de Aplicação de Inversores de Frequência.

[13] Matos, Nuno. Dissertação em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Análise do Funcionamento de um Servomotor de Corrente Alternada com Imanes Permanentes. Universidade do Porto, http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72684/1/000155343.pdf

[14] Resitec Leiria, Componentes Industriais. Guia de Resistências.

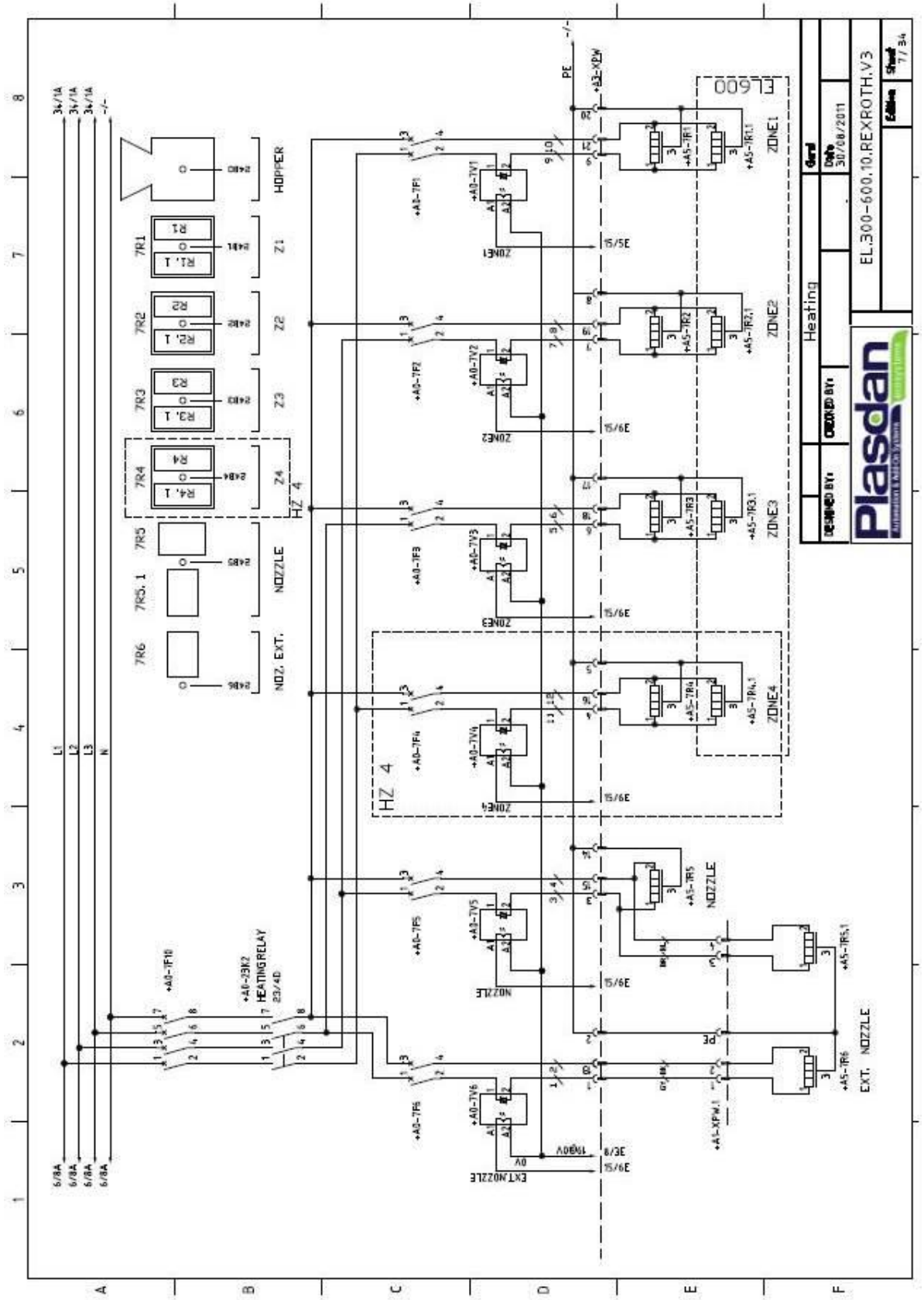
[15] Caetano, Sérgio. Comando de Ondulador de Tensão Trifásico por PWM e técnica U/F com implementação por Microcontrolador. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

[16] Neves, João. Eletrónica Industrial – Escola Técnica Liberato Salzano.

Anexos

INJECTION UNIT	Units	EL.MICRO	EL.0028			EL.00120			EL.0300			EL.0600		
Screw diameter	mm	5	16	18	20	22	25	30	25	30	35	40	45	50
Swept volume	cc	1,1	16	20	25	41	61	98	61	106	168	219	357	490
Max. shot weight	g	1,0	14	18	23	37	55	88	55	96	152	199	322	442
Max. injection pressure, direct	bar	2200	2000	1600	1320	2200	2000	1600	2450	2000	1800	1400	1700	1400
Screw L:D ratio.	L/D	14	22,5	20	20	22,5	20,5	18,8	22,4	22,8	19,6	19,5	19,5	19
Screw stroke	mm	56		80		110	125	140	125	150	175	175	225	250
Screw torque, standard	Nm	54		85			200			520			590	
Nozzle sealing force	kN	15		28,5			30			40			40	
Max. nozzle retract stroke	mm	N/A		60			80			200			200	
Max. linear velocity of screw, direct	mm/sec	500		112			130			155			140	
Max. injection rate, direct	g/sec	89	21	25	30	44	58	83	69	92	134	175	201	248
Screw speed range, standard drive	r.p.m.	300		320			300			300			300	
Electrical Supply	V	400/480		400 /480			400 /480			400 /480			400 /480	
Maximum current	A			16			32			50			125	

Anexo I – Características construtivas das unidades de injeção



Anexo II – Esquema de ligação das resistências elétricas