



PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA CHANFRO DE GEOMETRIAS IRREGULARES

JORGE MANUEL FRAGOEIRO CARBOILA

setembro de 2018

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA CHANFRO DE GEOMETRIAS IRREGULARES

Jorge Manuel Fragoeiro Carboila
1151736

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA CHANFRO DE GEOMETRIAS IRREGULARES

Jorge Manuel Fragoeiro Carboila
1151736

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a Orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva e Coorientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto
Professor adjunto, ISEP

Orientador

Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor adjunto, ISEP

Coorientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor adjunto, ISEP

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto foi possível com o apoio de várias pessoas que, de uma forma mais ou menos direta, contribuíram para a sua execução.

Ao meu orientador, Doutor Francisco Silva, pelo incentivo e apoio em todas as fases deste projeto.

Ao meu coorientador, Doutor Raul Campilho, pelo suporte na revisão técnica e de conteúdo.

Ao Engenheiro Júlio Rei e a todos os colaboradores da REIMAN.

Ao Pedro Mimoso pelo apoio nos estudos em 3D.

À minha família por sempre me incentivar a dar o melhor em todas as fases da minha vida.

À Ana Salgado, pelo carinho e apoio incondicional, e ao pequeno Manuel, por fazer parte da nossa vida.

PALAVRAS - CHAVE

Chanfro, Automático, Geometrias Irregulares, Guias Lineares, CNC, 2 Eixos, Fusos de Esferas, Perfil de Alumínio.

RESUMO

A REIMAN dedica-se ao comércio de equipamentos industriais, entre os quais guiamentos lineares de precisão. Estes guiamentos são compostos por perfis de aço com uma geometria irregular, nos quais são colocados patins de recirculação de elementos rolantes (esferas ou rolos). No sentido de evitar danos nos vedantes dos patins, aquando da sua colocação nas guias, estas devem sofrer uma operação de chanfro, normalmente realizada imediatamente após o corte. Dada a reduzida oferta de equipamentos adequados à realização destes chanfros, os valores de aquisição são extremamente elevados.

Nesta dissertação faz-se o estudo para o projeto de um equipamento dedicado à realização de chanfros em perfis irregulares, utilizando produtos normalizados, de fácil aquisição no mercado e devidamente testados a nível de desempenho técnico, de forma a permitir a sua rápida execução, com custos reduzidos e elevada fiabilidade.

O projeto do equipamento foi concluído com sucesso, estando a sua execução pendente de aprovação pela direção da empresa.

KEYWORDS

Chamfer, Automatic, Irregular Geometries, Linear Guideways, 2D, CNC, 2 Axis, Bal screws, Aluminium Profile.

ABSTRACT

REIMAN is a company dedicated to the trade of industrial equipment, including precision linear guide rails. These guide rails are steel profiles with an irregular geometry that, in order to avoid damage to the seals of the linear blocks assembled on them, must undergo a chamfer operation usually performed after the cutting operation. Given the reduced offer in the market for equipment able to produce these chamfers, its supply is limited and has high acquisition values.

This dissertation presents the design of the equipment dedicated to chamfer irregular profiles using standard products, easily acquired on the market and properly tested demonstrating a high level of technical performance, in order to allow its rapid implementation, with low costs and high reliability.

The equipment design was successfully finished and its construction is awaiting the company's direction approval.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ACT	Autoridade para as Condições de Trabalho
AFNOR	<i>Association Française de Normalisation</i>
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
JIS	<i>Japanese Industrial Standard</i>
NBR	Borracha de acrilonitrilo-butadieno
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NP	Norma Portuguesa
NSK	<i>Nippon Seiko Limited Partnership Company</i>
OCDE	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
PA	<i>Poliamida</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PMI	<i>Precision Motion Industries</i>
PTFE	<i>Poli-tetra-fluoretileno</i>
PVD	<i>Physical Vapour Deposition</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>
THK	<i>Toho Seiko Co., Ltd</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WTO	<i>World Trade Organization</i>

Lista de Unidades

cSt	<i>CentiStoke</i> (Unidade de viscosidade de óleos lubrificantes)
HRA	Dureza em <i>Rockwell A</i>
HRC	Dureza em <i>Rockwell C</i>
HV	Dureza em <i>Vickers</i>
kg	Quilograma
kgf	Força (1 kgf = 9,81 N)
kgf cm	Binário (1 kgf·cm = 0,10 Nm)
kW	<i>Quilowatt</i>
m	Metro
m/minuto	Velocidade em metros por minuto
mm/minuto	Velocidade em milímetros por minuto
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
N	Newton (Força)
Nm	Binário (Newton x metro)
rad/s	Radianos por segundo (Velocidade angular)
rpm	Rotações por minuto (Velocidade de rotação)
W	<i>Watt</i>

Lista de Símbolos

°	Grau (ângulo)
η	Eficiência / Rendimento
μ	Coefficiente de atrito
g	Constante de aceleração gravítica (9,81m/s ²)
m	Massa (kg)
Mx; My; Mz	Momentos em relação aos eixos X, Y, Z
NLGI	Grau de viscosidade de uma massa lubrificante

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Anti-Backlash</i>	Anulação da folga de funcionamento/retorno
<i>Backlash</i>	Folga de funcionamento/retorno
<i>Grasseur</i>	Acessório de lubrificação por massa lubrificante
<i>Stick - Slip</i>	Fenómeno de paragem e deslizamento sucessivo
<i>Tandem</i>	Ligação de equipamentos em série/sequencial

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - EQUIPAMENTO DE CORTE DE GUIAS LINEARES (SILVERCUT GMBH)	32
FIGURA 2 – EXEMPLO DA OPERAÇÃO DE CORTE DE GUIAS LINEARES (SILVERCUT GMBH)	32
FIGURA 3 - ESQUEMA DE MONTAGEM EM “TANDEM” DE GUIAS LINEARES (PMI - AMT, 2018)	32
FIGURA 4 – GUIA LINEAR COM CHANFROS (NG-TECH, 2016)	33
FIGURA 5 – RESUMO DE FICHA TÉCNICA DE UMA DOBRADIÇA (ELESA+GANTER, 2018)	40
FIGURA 6 – CAPA DO PRIMEIRO CATÁLOGO “GANTER” EM 1912 (GANTER GRIFF, 2015)	41
FIGURA 7 – EXEMPLO DE PÁGINAS DO PRIMEIRO CATÁLOGO GANTER DE ELEMENTOS NORMALIZADOS PARA MÁQUINAS (GANTER GRIFF, 2015)	42
FIGURA 8 – RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE DA CAIXA DO VEDANTE E O COMPRIMENTO DE CHANFRO (ISO 7425-2, 2016)	43
FIGURA 9 – QUADRO RELACIONAL ENTRE O DIÂMETRO “D” DO VEIO E A PROFUNDIDADE “S” DA CAIXA DO VEDANTE (ISO 7425-2, 2016)	44
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DE CHANFRO NUMA GUIA DE TAMANHO 25, DE ACORDO COM A NORMA ISO 7425-2, UTILIZANDO O CONCEITO DE DIÂMETRO EQUIVALENTE DESCRITO NA TABELA 3 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	46
FIGURA 11 – RODA DE OLEIRO (SLAUGHTER, 2018)	47
FIGURA 12 – MOVIMENTAÇÃO DE BLOCOS DE PEDRA NO ANTIGO EGÍPTO (NSK, 2018)	48
FIGURA 13 – IMAGEM SOBRE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE ESFERAS (NSK, 2018)	48
FIGURA 14 – EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO DE CARGA ENTRE A GUIA, O PATIM E O SUPORTE (BOSCH REXROTH, 2017)	49
FIGURA 15 – VISTA EM CORTE DE UM PATIM LINEAR DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	50
FIGURA 16 – VISTA DE UM PATIM COM CASSETE DE LUBRIFICAÇÃO (PMI - AMT, 2018)	52
FIGURA 17 - SISTEMA DE GAIOLA DE ELEMENTOS ROLANTES NUM PATIM DE ROLOS (PMI - AMT, 2018)	52
FIGURA 18 – GRÁFICO DE INFLUÊNCIA DA PRÉ-CARGA NA RIGIDEZ DOS PATINS (PMI - AMT, 2018)	53
FIGURA 19 – SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA GENÉRICAS DOS CONJUNTOS PATIM E GUIA (PMI - AMT, 2018)	54
FIGURA 20 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DE MOMENTOS (PMI - AMT, 2018)	56
FIGURA 21 – LISTA DE SUBCONJUNTOS DO EQUIPAMENTO (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	59
FIGURA 22 – EQUIPAMENTO PORTÁTIL DE CHANFRAR TUBOS SHAVEDGER (BEVELLER, 2016)	60
FIGURA 23 – MÁQUINA DE CHANFRAR PERFIS LONGOS AUTOCUT 500 (BDS MASCHINEN GMBH, 2016)	60
FIGURA 24 – MÁQUINA DE CHANFRAR PERFIS REDONDOS ASC76 CNC (J&S ENGINEERING, 2016)	61
FIGURA 25 – PORMENOR DA FERRAMENTA DE CHANFRO COM PASTILHAS DE CARBONETO DA ASC76 CNC (J&S ENGINEERING, 2016)	61
FIGURA 26 – MÁQUINA DE CORTE LASER ADIRA - BLUE LASER COM 3 EIXOS (ADIRA S.A., 2016)	62
FIGURA 27 – FRESADORA CNC OPTIMA COM 3 EIXOS, SÉRIE S – EQUIPAMENTO DE PEQUENAS DIMENSÕES (OPTIMA, 2016)	62
FIGURA 28 – EQUIPAMENTO CORTE LASER TRUMPF COM 5 EIXOS PARA REALIZAR CORTE 3D (TRUMPF, 2016)	63

FIGURA 29 – SIEMENS SINUMERIC, MONITOR DE PROGRAMAÇÃO (SIEMENS, 2017)	63
FIGURA 30 – EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLO FANUC (CENTROID CNC, 2017)	64
FIGURA 31 – CNC USB, <i>SOFTWARE</i> CAD/CAM GRATUITO (PLANET-CNC, 2017)	64
FIGURA 32 – FRESA CERIN, REF 4653/5-60° (CERIN, 2017)	68
FIGURA 33 – FICHA TÉCNICA DA FRESA SELECIONADA (CERIN, 2017)	69
FIGURA 34 – REVESTIMENTO SUPERFICIAL CER-T (CERIN, 2017)	69
FIGURA 35 – VELOCIDADES DE CORTE PARA A FRESA CERIN (CERIN, 2017)	70
FIGURA 36 – ESQUEMA DAS DIMENSÕES GERAIS DO CHANFRO REALIZADO NUMA LARGURA DE 4 MM E A UTILIZAR PARA CÁLCULO (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	71
FIGURA 37 – TABELA DE FORÇA DE CORTE KC ESPECÍFICA, CATÁLOGO DA MITSUBISHI CARBIDE (MITSUBISHI CARBIDE, 2016)	72
FIGURA 38 – MOTOR KRESS 1050FME-P DE 1,05 KW (KRESS, 2017)	73
FIGURA 39 - DFG 115, GUIA DE DESLIZAMENTO COM ESCORREGAMENTO FABRICADA PELA ACCURIDE (ACCURIDE, 2017)	73
FIGURA 40 – GUIAMENTO LINEAR ACCURIDE 0115 (ACCURIDE, 2017)	74
FIGURA 41 – ROLLON X- RAIL SISTEMA DE GUIAMENTO POR ROLETES COM AJUSTE DE PRÉ-CARGA (ROLLON, 2017)	75
FIGURA 42 - ROLLON X- RAIL MONTAGEM TÍPICA PARA COMPENSAÇÃO DE DESALINHAMENTO DA ESTRUTURA (ROLLON, 2017)	75
FIGURA 43 – ROLLON COMPACT RAIL, PATIM E GUIA TIPO “T” (ROLLON, 2017)	76
FIGURA 44 - ROLLON EASYSLIDE GUIAMENTO DE GAIOLA DE ESFERAS (ROLLON, 2017)	77
FIGURA 45 - GUIAMENTO DE VEIO RETIFICADO E ROLAMENTO LINEAR (NIPON KODDO, 2017)	77
FIGURA 46 – GUIAMENTO LINEAR DE PATIM DE RECIRCULAÇÃO DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	78
FIGURA 47 – GUIAMENTO LINEAR DE PATIM DE RECIRCULAÇÃO DE ROLOS (PMI - AMT, 2018)	79
FIGURA 48 – CHIARAVALLI, CATÁLOGO DE CORREIAS GATES (CHIARAVALLI, 2017)	81
FIGURA 49 – MONTAGEM DE SISTEMA PINHÃO-CREMALHEIRA E REDUTOR (WITTENSTEIN, 2017)	81
FIGURA 50 – FUSO TRAPEZOIDAL E FÊMEAS EM BRONZE E AÇO (ABBSSAC, 2017)	82
FIGURA 51 – FUSO E FÊMEA DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	82
FIGURA 52 – EXEMPLO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DA FRESA NO CASO CRÍTICO DE LARGURA DE CHANFRO DE 4 MM (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	85
FIGURA 53 – EXCERTO DA TABELA Z17 RELATIVA ÀS CONSTANTES UTILIZADAS NO CÁLCULO DA FORÇA DE CORTE (GIEK, 1996)	86
FIGURA 54 – PORMENOR DO EIXO XX DO EQUIPAMENTO EM ESTUDO (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	86
FIGURA 55 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE GUIAS LINEARES (PMI - AMT, 2018)	87
FIGURA 56 - ESTUDO DO EIXO XX	88
FIGURA 57 – CÁLCULO DA CARGA APLICADA PARA MONTAGEM TRANSVERSA (WALL) (PMI - AMT, 2018)	89
FIGURA 58 – FÓRMULA DE CÁLCULO DA CARGA EQUIVALENTE P_e DE ACORDO COM O CATÁLOGO PMI-AMT (PMI - AMT, 2018)	90
FIGURA 59 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO EIXO XX	91
FIGURA 60 – VALORES RECOMENDADOS PARA FS DE ACORDO COM A APLICAÇÃO (PMI - AMT, 2018)	91
FIGURA 61 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DE CARGA / MOVIMENTO DA FRESA (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	93
FIGURA 62 – EXPRESSÃO DE CÁLCULO DE VIDA NOMINAL (PMI - AMT, 2018)	94

FIGURA 63 – INFLUÊNCIA DA DUREZA NO CÁLCULO DA VIDA EM SERVIÇO (PMI - AMT, 2018)	94
FIGURA 64 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE NA VIDA EM SERVIÇO (PMI - AMT, 2018)	95
FIGURA 65 – TABELA DE CORREÇÃO DO FATOR DE CARGA (PMI - AMT, 2018)	95
FIGURA 66 – CONDIÇÕES DE SELEÇÃO DE PRÉ-CARGA (PMI - AMT, 2018)	96
FIGURA 67 – GRAUS DE PRECISÃO DE GUIAS PARA VÁRIAS TIPOLOGIAS DE EQUIPAMENTO (PMI - AMT, 2018)	97
FIGURA 68 – OPÇÕES DE VEDANTES DISPONÍVEIS NA SÉRIE MSA E MSB DA PMI (PMI - AMT, 2018)	98
FIGURA 69 - VEDANTES UTILIZADOS NA CONFIGURAÇÃO SS SELECIONADA. (PMI - AMT, 2018)	98
FIGURA 70 - EXEMPLO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA AO UTILIZAR O RESERVATÓRIO DE LUBRIFICANTE SL (PMI - AMT, 2018)	98
FIGURA 71 – EXEMPLO DE PATIM DESTRUÍDO PELA AUSÊNCIA DE LUBRIFICAÇÃO ADEQUADA (REIMAN, 2017)	99
FIGURA 72 - METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE FUSO DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	100
FIGURA 73 – CORRESPONDÊNCIA DE APLICAÇÕES TÍPICAS COM CLASSES DE PRECISÃO DE FUSOS (PMI - AMT, 2018)	101
FIGURA 74 – ESQUEMAS DE MONTAGEM TÍPICA DE FUSOS DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	102
FIGURA 75 – CARGA AXIAL MÁXIMA EM KGF EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO EXTERIOR DO FUSO, TIPO FIXAÇÃO E DISTÂNCIA ENTRE APOIOS (PMI - AMT, 2018)	103
FIGURA 76 – EXEMPLO DE MONTAGEM DE UMA FÊMEA ROTATIVA (HIWIN, 2017)	105
FIGURA 77 – DESENHO DE FUNCIONAMENTO DE UMA FÊMEA ROTATIVA (HIWIN, 2017)	105
FIGURA 78 – RPM PERMITIDAS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO EXTERIOR DO FUSO, TIPO FIXAÇÃO E DISTÂNCIA ENTRE APOIOS (PMI - AMT, 2018)	107
FIGURA 79 - TIPOLOGIA DE FLANGES HABITUAIS EM FUSOS DE ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	108
FIGURA 80 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E DE CARGA DA FÊMEA FSIN1605B (PMI - AMT, 2018)	108
FIGURA 81 – EXEMPLO DE MONTAGEM PARA MOVIMENTO HORIZONTAL (PMI - AMT, 2018)	109
FIGURA 82 – ESQUEMA DOS VÁRIOS FATORES QUE INFLUENCIAM A RIGIDEZ AXIAL (BAMBERG, 2017)	110
FIGURA 83 – TRATAMENTO GRÁFICO PARA OBTENÇÃO DA RIGIDEZ (PMI - AMT, 2018)	111
FIGURA 84 – ESQUEMA DA APLICAÇÃO DE PRÉ-CARGA EM FÊMEAS DUPLAS (HIWIN, 2017)	114
FIGURA 85 – ESQUEMA DE APLICAÇÃO DE PRÉ-CARGA EM FÊMEAS SIMPLES, ESFERAS DE MAIOR DIMENSÃO E DESFASAMENTO (HIWIN, 2017)	114
FIGURA 86 – PRÉ-CARGA EM FÊMEAS DUPLAS (PMI - AMT, 2018)	115
FIGURA 87 – DIAGRAMA DE DESFASAMENTO E PRÉ-CARGA (PMI - AMT, 2018)	116
FIGURA 88 – DEFORMAÇÃO ELÁSTICA COMPARATIVA DE UMA FÊMEA COM E SEM PRÉ-CARGA (PMI - AMT, 2018)	116
FIGURA 89 – REPRESENTAÇÃO DO ERRO NUMA ROTAÇÃO E ACUMULADO EM FUNÇÃO DO CURSO PERCORRIDO, ASSOCIADA ÀS CLASSES DE PRECISÃO NORMALIZADAS QUE ASSOCIAM O MAIOR ERRO MEDIDO NUM QUALQUER DESLOCAMENTO DE 300 MM (PMI - AMT, 2018)	117
FIGURA 90 – CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO FATOR DE CARGA FW (PMI - AMT, 2018)	119
FIGURA 91 – INFLUÊNCIA DO DESALINHAMENTO NO TEMPO DE VIDA EM SERVIÇO (PMI - AMT, 2018)	121
FIGURA 92 – FATOR G EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DAS ESFERAS (PMI - AMT, 2018)	123
FIGURA 93 – DIAGRAMA TÍPICO DE EIXO DE EQUIPAMENTO DE CORTE (PMI - AMT, 2018)	124

FIGURA 94 - CÁLCULO DA CARGA APLICADA PARA MONTAGEM VERTICAL (PMI - AMT, 2018)	127
FIGURA 95 – MOMENTO MP DE ACORDO COM O CATÁLOGO PMI-AMT (PMI - AMT, 2018)	127
FIGURA 96 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO EIXO YY	128
FIGURA 97 - VISTA LATERAL EIXO YY	129
FIGURA 98 – CARGA AXIAL MÁXIMA EM KGF EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO EXTERIOR DO FUSO, TIPO FIXAÇÃO E DISTÂNCIA ENTRE APOIOS (PMI - AMT, 2018)	132
FIGURA 99 – RPM ADMISSÍVEIS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO, COMPRIMENTO E SUPORTE (PMI - AMT, 2018)	133
FIGURA 100 – TRATAMENTO GRÁFICO PARA OBTENÇÃO DA RIGIDEZ (PMI - AMT, 2018)	134
FIGURA 101 – AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA MASSA A DESLOCAR PELO EIXO YY EM SOLIDWORKS	135
FIGURA 102 – DESENHO DA PLACA DE SUPORTE DA FRESA	136
FIGURA 103 – REPRESENTAÇÃO DO SUPORTE KRESS COM OS ELEMENTOS DE MALHA	137
FIGURA 104 – IDENTIFICAÇÃO DAS 8 FACES DE APOIO DA PLACA DE SUPORTE KRESS	137
FIGURA 105 – APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO VERTICAL DESCENDENTE	138
FIGURA 106 – DETALHE DA APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO VERTICAL DESCENDENTE	138
FIGURA 107 - ANÁLISE DAS TENSÕES NO MOVIMENTO VERTICAL DESCENDENTE	139
FIGURA 108 - ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES NO MOVIMENTO VERTICAL DESCENDENTE	139
FIGURA 109 - APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO VERTICAL ASCENDENTE	140
FIGURA 110 - DETALHE DA APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO VERTICAL ASCENDENTE	140
FIGURA 111 - ANÁLISE DAS TENSÕES NO MOVIMENTO VERTICAL ASCENDENTE	141
FIGURA 112 - ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES NO MOVIMENTO VERTICAL ASCENDENTE	141
FIGURA 113 - APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO LATERAL	142
FIGURA 114 - DETALHE DA APLICAÇÃO DA CARGA NO MOVIMENTO HORIZONTAL	142
FIGURA 115 - ANÁLISE DAS TENSÕES NO MOVIMENTO HORIZONTAL	143
FIGURA 116 - ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES NO MOVIMENTO HORIZONTAL	143
FIGURA 117 – FICHA DE PRODUTO E CARACTERÍSTICAS PARA MOTOR DE 3 NM DO EIXO XX (SOROTEC GMBH, 2017)	145
FIGURA 118 - FICHA DE PRODUTO E CARACTERÍSTICAS PARA MOTOR DE 5,5 NM DO EIXO YY (SOROTEC GMBH, 2017)	146
FIGURA 119 – ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SUPORTES DOS MOTORES	147
FIGURA 120 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO ACOPLAMENTO DOS MOTORES DE PASSO AOS FUSOS DE ESFERAS	147
FIGURA 121 – VISTA EXPLODIDA DOS SUPORTES BK E BF (HIWIN, 2017)	148
FIGURA 122 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE UMA BARREIRA IMATERIAL PILZ (PILZ, 2018)	149
FIGURA 123 – EXEMPLOS DE FOLES E PROTEÇÕES DA GAMA PEI (PEI, 2017)	149
FIGURA 124 - QUESTIONÁRIO DE FABRICO DE FOLES (PEI, 2017)	150
FIGURA 125 – TIPOS DE FIXAÇÃO POR FLANGE (PEI, 2017)	151
FIGURA 126 – CONTROLADOR DE 3 EIXOS DA SOROTEC (SOROTEC GMBH, 2017)	152
FIGURA 127 – ESQUEMA DE LIGAÇÕES ENTRE EQUIPAMENTOS (EDING CNC, 2018)	153
FIGURA 128 – INTERFACE DO <i>SOFTWARE</i> DE CONTROLO DA EDING CNC (EDING CNC, 2018)	153
FIGURA 129 – EXTRATO DO MANUAL COM DESCRIÇÃO DA FUNCIONALIDADE DE IMPORTAR DXF (EDING CNC, 2018)	154
FIGURA 130 – ESQUEMA DE LIGAÇÕES DO CONTROLADOR SOROTEC (SOROTEC GMBH, 2017).	154

FIGURA 131 - ESBARRO DO EIXO ZZ	155
FIGURA 132 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PRATO DA SELTER SELECIONADO (SELTER, 2017)	156
FIGURA 133 - BASE MAGNÉTICA SELTER (SELTER, 2017)	156
FIGURA 134 – RELAÇÃO ENTRE AFASTAMENTO E FORÇA DE RETENÇÃO (ELESA+GANter, 2016)	156
FIGURA 135 – INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA FORÇA DE RETENÇÃO (ELESA+GANter, 2016)	157
FIGURA 136 – RELAÇÃO DO TIPO DE MATERIAL COM A CAPACIDADE DE RETENÇÃO (SELTER, 2017)	157
FIGURA 137 – ESQUEMA DO SUBCONJUNTO DO PRATO MAGNÉTICO	157
FIGURA 138 – EXEMPLO DAS DIMENSÕES DE PERFIL EM FUNÇÃO DA MEDIDA BASE (BOSCH REXROTH, 2017)	158
FIGURA 139 - EXEMPLO DE FIXAÇÃO ENTRE PERFIS POR ESQUADROS E FÊMEAS EM T (BOSCH REXROTH, 2017)	159
FIGURA 140 - FICHA TÉCNICA DO PERFIL DE RASGO 10 MM E BASE 50 MM DA ITEM (ITEM, 2016)	159
FIGURA 141 - ESQUEMA DE ESTRUTURA DO EQUIPAMENTO EM PERFIL DE 50 MM RASGO DE 10 MM	160
FIGURA 142 – PONTOS DE SUPORTE DA ESTRUTURA AO SOLO E FORÇAS DE REAÇÃO	160
FIGURA 143 – CARGAS APLICADAS NA ESTRUTURA	161
FIGURA 144 – BARRAS DE SUPORTE DAS CARGAS ORIGINADAS PELOS EIXOS XX E YY	161
FIGURA 145 - ESTUDO DE TENSÕES SOBRE ESTRUTURA DE SUPORTE	162
FIGURA 146 – PONTO DE DESLOCAMENTO MÁXIMO DA ESTRUTURA	162
FIGURA 147 – FATORES INFLUENCIADORES QUE CONTRIBUEM PARA ACIDENTES (ACT, 2013)	163
FIGURA 148 - EXCERTO DE QUADRO SOBRE OS RESPONSÁVEIS DA SEGURANÇA DE MÁQUINAS (ACT, 2013)	164
FIGURA 149 – PROCESSO ITERATIVO DE REDUÇÃO DO RISCO	165
FIGURA 150 - MONTAGEM DA ESTRUTURA DE BASE	166
FIGURA 151 - MONTAGEM DOS PÉS NIVELADORES	167
FIGURA 152 - IMAGEM DOS PÉS NIVELADORES ELESA+GANter	167
FIGURA 153 - MONTAGEM DO EIXO YY	168
FIGURA 154 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO EIXO XX	169
FIGURA 155 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO ESBARRO (EIXO ZZ)	170
FIGURA 156 - MONTAGEM DO PRATO MAGNÉTICO E SISTEMA DE ROLETOS	170
FIGURA 157 - MONTAGEM DAS BLINDAGENS DE PC	171
FIGURA 158 - ESQUEMA DE MONTAGEM DAS PORTAS LATERAIS	171
FIGURA 159 - PORMENOR DE MONTAGEM DA PEGA TUBULAR, BATENTE DE SENSOR E SISTEMA DE FECHO	172
FIGURA 160 - PORMENOR DE MONTAGEM DO SENSOR DE PORTA FECHADA E SISTEMA DE FECHO	173
FIGURA 161 - VISTA GLOBAL DO EQUIPAMENTO	174

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA RESUMO DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPAMENTOS SEMELHANTES	34
TABELA 2 - LARGURA DE CHANFRO “C” ASSOCIADA AO DIÂMETRO “D” DE ACORDO COM A NORMA ISO 7425-2	45
TABELA 3 - VALORES DA COTA “C” PARA GUIAS DA SÉRIE MSA UTILIZANDO O CONCEITO DE DIÂMETRO EQUIVALENTE	45
TABELA 4 - TABELA DE EXEMPLO (TAMANHOS 15 E 20) PARA TOLERÂNCIAS DE MODELOS INTERMUTÁVEIS (PMI - AMT, 2018)	54
TABELA 5 - DESVIOS DE PARALELISMO POR CLASSE DE PRECISÃO (PMI - AMT, 2018)	55
TABELA 6 – MATRIZ DE DECISÃO	66
TABELA 7 – VANTAGENS DAS SOLUÇÕES SELECIONADAS	67
TABELA 8 – COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE GUIAMENTO	80
TABELA 9 – COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE ACIONAMENTO	84
TABELA 10 – VERIFICAÇÃO E INTERVALOS DE MANUTENÇÃO	122
TABELA 11 – AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE E ESTIMATIVA DE OCORRÊNCIA DE RISCOS	166
TABELA 12 – RETORNO DE INVESTIMENTO	178

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	31
1.2	OBJETIVOS	34
1.3	METODOLOGIA	35
1.4	ESTRUTURA	36
1.5	EMPRESA DE ACOLHIMENTO	36
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
2.1	NOTAS INTRODUTÓRIAS SOBRE A NORMALIZAÇÃO	39
2.1.1	A NORMALIZAÇÃO NA INDÚSTRIA	39
2.2	REQUISITOS DO CHANFRO DE GUIAS LINEARES	43
2.3	BREVE INTRODUÇÃO AOS GUIAMENTOS LINEARES POR ELEMENTOS ROLANTES	47
2.3.1	RESUMO HISTÓRICO	47
2.3.2	FUNCIONAMENTO BÁSICO E CONSTITUINTES	49
2.3.3	RIGIDEZ E PRÉ-CARGA DOS PATINS	53
2.3.4	CLASSES DE PRECISÃO	53
2.3.5	CAPACIDADE DE CARGA	55
3	DESENVOLVIMENTO	59
3.1	ESTUDO DE EQUIPAMENTOS DE CHANFRO	60
3.2	AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CNC DE 2 E 3 EIXOS	62
3.3	DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL E MATRIZ DE DECISÃO	65
3.3.1	DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL	65
3.3.2	MATRIZ DE DECISÃO	65
3.4	ARQUITETURA DO PRODUTO	68
3.4.1	CARACTERÍSTICAS DO AÇO A TRABALHAR	68
3.4.2	FRESA	68
3.4.3	MOTOR DA FRESA	71
3.4.4	GUIAS DOS EIXOS XX E YY	73
3.4.5	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO PARA O GUIAMENTO	79
3.4.6	ACIONAMENTO DOS EIXOS XX E YY	80
3.4.7	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO PARA O ACIONAMENTO	83
3.5	FORÇAS ENVOLVIDAS NA OPERAÇÃO DE CHANFRO	84
3.6	EIXO XX – CÁLCULO DAS GUIAS LINEARES	87
3.6.1	IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERATIVAS	88
3.6.2	SELEÇÃO DO TIPO/REFERÊNCIA DAS GUIAS E PATINS	88
3.6.3	CÁLCULO DA CARGA APLICADA	88
3.6.4	CÁLCULO DA CARGA EQUIVALENTE	90
3.6.5	CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA ESTÁTICO	91
3.6.6	CÁLCULO DA CARGA MÉDIA	92
3.6.7	CÁLCULO DA VIDA NOMINAL EM SERVIÇO	94
3.6.8	DEFINIÇÃO DA RIGIDEZ DO SISTEMA DE GUIAMENTO	96
3.6.9	DEFINIÇÃO DA PRECISÃO	97

3.6.10	PROTEÇÃO CONTRA ENTRADA DE RESÍDUOS E LUBRIFICAÇÃO	97
3.6.11	CONCLUSÃO	99
3.7	EIXO XX – CÁLCULO DO FUSO DE ESFERAS	100
3.7.1	DEFINIÇÃO DA PRECISÃO E FOLGA AXIAL	101
3.7.2	DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO, DIÂMETRO E PASSO	101
3.7.3	SELEÇÃO DO TIPO DE MONTAGEM DO FUSO E SUPORTES	102
3.7.4	ANÁLISE DA CARGA AXIAL MÁXIMA	103
3.7.5	ANÁLISE DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO MÁXIMA	104
3.7.6	SELEÇÃO DA FÊMEA DE ESFERAS	107
3.7.7	AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ AXIAL DO SISTEMA	108
3.7.8	ANÁLISE DA PRECISÃO DE POSICIONAMENTO	117
3.7.9	CÁLCULO DO TEMPO DE VIDA EM SERVIÇO	118
3.7.10	CONSIDERAÇÕES RELATIVAS A ERROS DE INSTALAÇÃO	120
3.7.11	CONSIDERAÇÕES RELATIVAS Á CARGA ESTÁTICA NOMINAL E FORÇA AXIAL ADMISSÍVEL	121
3.7.12	PROTEÇÃO CONTRA ENTRADA DE RESÍDUOS E LUBRIFICAÇÃO	122
3.7.13	AVALIAÇÃO DO BINÁRIO DE ACIONAMENTO	123
3.7.14	BINÁRIO DO MOTOR	124
3.8	EIXO YY – CÁLCULO DAS GUIAS LINEARES	126
3.8.1	IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERATIVAS	126
3.8.2	SELEÇÃO DO TIPO / REFERÊNCIA DAS GUIAS E PATINS	126
3.8.3	CÁLCULO DA CARGA APLICADA	126
3.8.4	CÁLCULO DA CARGA EQUIVALENTE	127
3.8.5	CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA ESTÁTICO	129
3.8.6	CÁLCULO DA CARGA MÉDIA	129
3.8.7	CÁLCULO DA VIDA NOMINAL EM SERVIÇO	130
3.8.8	DEFINIÇÃO DA RIGIDEZ DO SISTEMA DE GUIAMENTO	131
3.8.9	DEFINIÇÃO DA PRECISÃO	131
3.8.10	PROTEÇÃO CONTRA ENTRADA DE RESÍDUOS E LUBRIFICAÇÃO	131
3.8.11	CONCLUSÃO	131
3.9	EIXO YY – CÁLCULO DO FUSO DE ESFERAS	131
3.9.1	DEFINIÇÃO DA PRECISÃO E FOLGA AXIAL	131
3.9.2	DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO, DIÂMETRO E PASSO	131
3.9.3	SELEÇÃO DO TIPO DE MONTAGEM DO FUSO E SUPORTES	132
3.9.4	ANÁLISE DA CARGA AXIAL MÁXIMA	132
3.9.5	ANÁLISE DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO MÁXIMA	132
3.9.6	SELEÇÃO DA FÊMEA DE ESFERAS	133
3.9.7	AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ AXIAL DO SISTEMA	133
3.9.8	ANÁLISE DA PRECISÃO DE POSICIONAMENTO	134
3.9.9	CÁLCULO DO TEMPO DE VIDA EM SERVIÇO	134
3.9.10	CONSIDERAÇÕES RELATIVAS Á CARGA ESTÁTICA NOMINAL E FORÇA AXIAL ADMISSÍVEL	135
3.9.11	PROTEÇÃO CONTRA ENTRADA DE RESÍDUOS E LUBRIFICAÇÃO	136
3.9.12	BINÁRIO DO MOTOR E POTÊNCIA DE ACIONAMENTO	136
3.10	PLACA DE SUPORTE DA FRESA	136
3.10.1	ESTUDO DAS CARGAS GERADAS NO MOVIMENTO VERTICAL DESCENDENTE	138
3.10.2	ESTUDO DAS CARGAS GERADAS NO MOVIMENTO VERTICAL ASCENDENTE	139
3.10.3	ESTUDO DAS CARGAS GERADAS NO MOVIMENTO HORIZONTAL	142
3.11	MOTORIZAÇÃO DOS EIXOS	144
3.11.1	SUPORTE DOS MOTORES	146
3.11.2	ACOPLAMENTO AOS FUSOS	147
3.11.3	SUPORTES DOS FUSOS	148

3.11.4	FOLES DE PROTEÇÃO	148
3.11.5	SISTEMA DE CONTROLO	152
3.12	ESBARRO DO EIXO ZZ	155
3.13	SISTEMA DE FIXAÇÃO DA PEÇA A CHANFRAR	156
3.14	ESTRUTURA EM PERFIL DE ALUMÍNIO	158
3.15	SEGURANÇA DE EQUIPAMENTOS	163
3.15.1	ANÁLISE DA ORIGEM DOS ACIDENTES	163
3.15.2	ANÁLISE E REDUÇÃO DO RISCO	164
3.16	ESQUEMA DE MONTAGEM	166
3.16.1	ESTRUTURA EM PERFIL	166
3.16.2	MONTAGEM DO EIXO YY	167
3.16.3	MONTAGEM DO EIXO XX	168
3.16.4	MONTAGEM DA MESA DE TRABALHO E ESBARRO (EIXO ZZ)	169
3.16.5	MONTAGEM DA MESA DE ALIMENTAÇÃO E PRATO DE FIXAÇÃO	170
3.16.6	MONTAGEM DAS BLINDAGENS FIXAS DE PC	171
3.16.7	MONTAGEM DAS BLINDAGENS MÓVEIS (PORTAS) DE PC	171
3.16.8	MONTAGEM DO KIT DE CONTROLO E PASSAGEM ADICIONAL DE CABOS.	173
3.16.9	VISTA GERAL DO EQUIPAMENTO	173
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	177
4.1	ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS E ROI	177
4.2	OPORTUNIDADES DE MELHORIA NO EQUIPAMENTO	178
4.3	CONCLUSÃO FINAL	179
5	BIBLIOGRAFIA E FONTES DE INFORMAÇÃO	183
6	ANEXOS	189
6.1	ANEXO – PROPOSTA COMPONENTES REIMAN (INTERNA)	189
6.2	ANEXO – FICHA TÉCNICA CERIN	194
6.3	ANEXO – FICHA TÉCNICA CORREDIÇAS DAS PORTAS	195
6.4	ANEXO – DESENHO DE CONJUNTO	196
6.5	ANEXO – DESENHO PRODUÇÃO SUPORTE KRESS	197
6.6	ANEXO – SUPORTE MOTOR	198
6.7	ANEXO – SUPORTE MOTOR	199
6.8	ANEXO – FUSO EIXO YY (MAQUINAÇÃO EQUIVALENTE NO EIXO YY)	200
6.9	ANEXO – PLACA LIGAÇÃO EIXOS	201
6.10	ANEXO – PLACA LIGAÇÃO EIXO FIXO	202
6.11	- ESPAÇADOR	203
6.12	ANEXO – EXEMPLO DE G-CODE	204
6.13	ANEXO – RELATÓRIO ELEMENTOS FINITOS :: BAIXO > CIMA	209

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura

1.5 Empresa de Acolhimento

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo realiza-se a contextualização do projeto e os objetivos a atingir no que diz respeito às características do equipamento. Será descrita a metodologia de abordagem e realizada uma análise de *benchmarking*, de forma a avaliar o estado da arte em equipamentos de referência.

É também apresentada a estrutura geral deste documento, sendo ainda dedicadas algumas linhas à apresentação da REIMAN, como empresa de acolhimento.

1.1 Contextualização

O movimento linear de precisão em equipamentos industriais tem evoluído dos convencionais sistemas de guiamento por deslizamento, como os guiamentos em cauda de andorinha, para guias lineares em aço com patins de elementos rolantes de esferas ou rolos. Estes sistemas são de fácil utilização pois as cargas máximas e tempo de vida em serviço são bem conhecidos e facilmente calculáveis para cada aplicação.

A versatilidade é também uma das suas principais vantagens, dado que se encontram disponíveis comercialmente em tamanhos normalizados em que os barramentos ou guias lineares são cortados localmente no distribuidor ou fabricante de máquinas, na medida requerida e com prazos de entrega reduzidos. O corte destes barramentos é normalmente realizado recorrendo a equipamentos de corte abrasivo refrigerado, semelhantes aos utilizados na preparação de amostras para ensaios metalográficos, pois desta forma não existe alteração das propriedades adquiridas aquando do seu tratamento térmico (figuras 1 e 2).

Aquando do corte das guias lineares é necessário ter presente a aplicação, pois podem ocorrer as seguintes situações:

a) As guias são preparadas para serem montadas em *tandem*, prolongando o comprimento máximo disponibilizado pelo fabricante. Neste caso é realizado um corte e retificação das superfícies em contacto e chanfros nos topos da guia composta (figura 3).

b) As guias são cortadas para utilização em comprimentos inferiores aos disponibilizados pelo fabricante, sendo realizados chanfros nos dois topos da secção da guia (figura 4).



Figura 1 - Equipamento de corte de Guias Lineares (SILVERCUT GMBH)

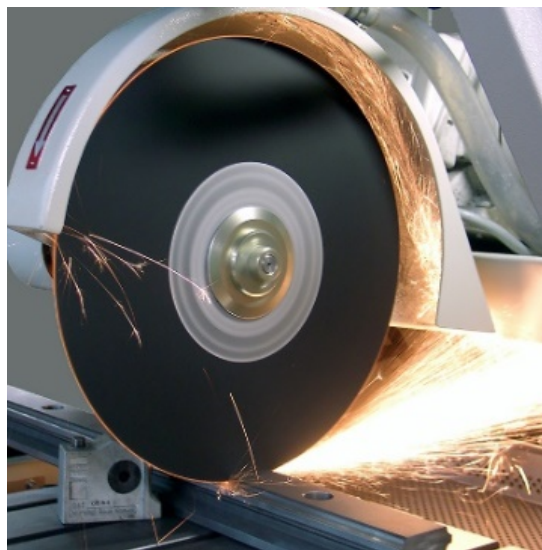


Figura 2 – Exemplo da operação de corte de guias lineares (SILVERCUT GMBH)

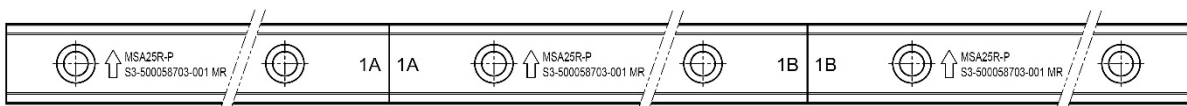


Figura 3 - Esquema de montagem em “tandem” de guias lineares (PMI - AMT, 2018)

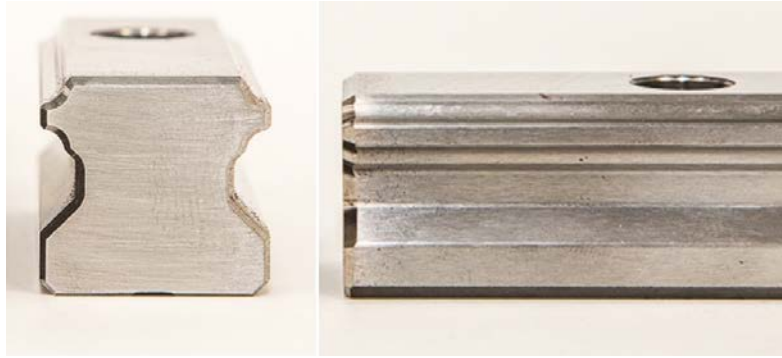


Figura 4 – Guia Linear com Chanfros (NG-TECH, 2016)

Em qualquer das situações é necessário realizar chanfros, que têm como principal função facilitar a introdução dos patins sem danificar os vedantes raspadores presentes nos topos dos mesmos. Dada a especificidade do produto e do limitado mercado, não existe uma oferta comercial alargada de equipamentos de suporte a esta atividade. Ao passo que os equipamentos de corte derivaram de uma adaptação de equipamentos de preparação de amostras metalográficas ou corte de materiais especiais, existindo algumas empresas europeias que os fabricam, os equipamentos de retificação das faces e de chanfro de geometrias irregulares estão disponíveis, aparentemente, apenas em dois fabricantes a *CASALIN Srl* e a *NG-Tech Srl*. Esta situação motiva o interesse da REIMAN, como distribuidor de guiamientos lineares no mercado ibérico, a desenvolver um equipamento próprio para realizar as operações de chanfro de forma automática, otimizando uma operação que atualmente é realizada manualmente por um operador, recorrendo a uma ferramenta rotativa com uma mó de esmerilamento.



Numa outra vertente, o atual fabrico de equipamentos industriais complexos suporta-se na utilização de elementos normalizados, com características e desempenho devidamente testado e documentado, que permitem a sua utilização genérica e facilmente adaptável a equipamentos específicos. Apenas desta forma se conseguem construir equipamentos complexos, em reduzidos prazos, com baixo custo de mão-de-obra e com garantias de correto funcionamento. Neste contexto, apresentando-se a REIMAN como uma empresa dedicada ao comércio de equipamentos industriais normalizados, a construção deste equipamento tem como requisitos, além do óbvio cumprimento da sua função, a utilização de soluções disponíveis na empresa ou de fácil aquisição no mercado, evitando sempre que possível o fabrico de componentes. É com base nestes pressupostos que o equipamento em estudo será desenvolvido, recorrendo prioritariamente a soluções normalizadas, com ênfase nos guiamientos lineares e fusos de esferas, comercializados pela empresa e responsáveis pelo guiamento e acionamento dos eixos.

1.2 Objetivos

Relativamente a equipamentos de chanfro de guias lineares, não existem muitas empresas que fabriquem e promovam estes equipamentos comercialmente. Após intensa pesquisa, foi possível encontrar apenas duas empresas que os apresentam comercialmente.

A tabela seguinte apresenta as características resumidas de cada equipamento. Pela informação disponível, nomeadamente o vídeo de apresentação (CASALIN, 2017), infere-se que o equipamento da CASALIN será uma solução robusta, preparada para elevada produtividade devido à possibilidade de realizar 2 chanfros em simultâneo. O equipamento da NG-Tech aparenta ser uma solução de construção mais ligeira mas não é disponibilizada (nem na proposta de fornecimento do fabricante) informação concreta sobre os pormenores de funcionamento.

Tabela 1 - Tabela resumo de características de equipamentos semelhantes

Modelo	CM80	Macchina per smussare le guide a ricircolo di sfere - rulli
Imagem		
Fabricante:	CASALIN Srl	Ng-Tech Srl
Website:	www.fratellicasalin.com	www.ng-tech.it
Características:		
Ferramenta rotativa	2,5 kW – 1,6 Nm 0 - 15000 rpm	N/A N/A
Curso dos eixos	XX – 150 mm YY – 150 mm	XX – 65 mm YY – 65 mm
Refrigeração	Por fluxo de ar	Não requer
Outras características	-2 mandris (permite maquinação em linha de produção -Reservatório de limalhas -Software CAD/CAM -Controlo táctil de 10" -Ligação USB e <i>Ethernet</i> -Mandril de carbonetos -Aperto pneumático -Rolos de transferência	-Importação do perfil em CAD -Controlo por PLC -2 Eixos (XX e YY) -1 Esbarro ZZ ajustável
Peso	900 kg	N/A

Tendo presente estas características, pretende-se que o equipamento de chanfro de geometrias irregulares cumpra com os seguintes requisitos principais:

- Simplicidade de construção e operação;
- Robustez mecânica aliada à máxima redução de peso e dimensões;
- Reduzido número de componentes;
- Utilização de componentes normalizados;
- Utilização de soluções disponíveis no catálogo de representadas REIMAN;
- Acionamento elétrico, evitando-se a utilização de pneumática ou hidráulica;
- Funcionamento seguro para o operador;
- Reduzido custo de componentes;
- É suficiente realizar apenas um chanfro por operação;
- Sistema de controlo simples e adquirido em KIT;
- Ausência de líquido de refrigeração;
- Reduzido tempo de ciclo;
- Dimensões compatíveis com tapetes de rolos já existentes na empresa.

É com base nestes requisitos que se dará o desenvolvimento deste equipamento.

1.3 Metodologia

A metodologia a adotar no desenvolvimento deste projeto segue os seguintes passos:

- Estudo do material a trabalhar através da análise ao seu funcionamento;
- Levantamento de necessidades relativamente ao chanfro e à sua normalização;
- Avaliação de equipamentos CNC de vários eixos;
- Decomposição funcional e matriz de decisão;
- Arquitetura de produto;
- Forças envolvidas na operação de chanfro;
- Cálculos dos eixos (solução de guiamento e acionamento);
- Estudo das cargas nos componentes de fabrico;
- Estudo da motorização dos eixos;
- Definição dos foles de proteção;
- Seleção do sistema de controlo;
- Solução adotada para o esbarro (eixo Z);
- Sistema de fixação da peça a chanfrar;
- Definição do montante / estrutura de suporte;
- Estudo da segurança do equipamento;
- Esquemas de montagem;
- Conclusões, incluindo-se o estudo de ROI e oportunidades de melhoria.

1.4 Estrutura

Este documento está estruturado em quatro secções principais:

- Introdução, onde se realiza o enquadramento do projeto e se realiza o levantamento de necessidades
- Revisão Bibliográfica, onde se compilam os dados mais pertinentes para o seu desenvolvimento, desde o estudo do principal material a trabalhar como dos requisitos da operação de chanfro a realizar
- Desenvolvimento, neste capítulo faz-se o estudo técnico do equipamento a projetar e dimensionam-se os seus subconjuntos até ao equipamento final
- Conclusão, onde se apresenta as considerações finais, nomeadamente no que concerne a comparação entre a solução obtida, os equipamentos disponíveis para aquisição da CASALIN Srl e NG Tech Srl e a análise de retorno de investimento.

1.5 Empresa de Acolhimento

A REIMAN é, atualmente, uma empresa de referência no comércio de equipamentos industriais. Foi constituída em finais de 1988, para dar resposta às necessidades emergentes da indústria nacional, tendo sido pioneira na importação e comércio de acessórios normalizados e de motores elétricos. Iniciou a sua atividade com um único elemento, contando neste momento com uma equipa de 30 colaboradores, uma gama de produtos que se estende por 5 departamentos onde estão englobadas 18 representações, de fabricantes reconhecidos internacionalmente, com mais de 20 000 referências em sistema.

A REIMAN sempre respondeu às exigências do mercado, obtendo um crescimento sustentado através da apresentação de um leque de soluções que permitissem o aumento de competitividade tanto desta, como dos seus parceiros de negócio, esta filosofia tendo sido uma constante na empresa ao longo dos seus 30 anos de existência.

Os seus produtos encontram-se presentes na vida quotidiana, usualmente não de forma direta mas através do valor que acrescentam aos equipamentos que os fabricantes nacionais produzem e comercializam no país e para exportação. Na indústria pesada, podemos encontrar produtos da REIMAN em equipamentos diversos desde máquinas têxteis, de conformação de metal e corte e marcação por laser, fabrico aditivo, controlo de redes elétricas, equipamentos de hotelaria, equipamentos para a indústria da cortiça, ventilação industrial, equipamentos de controlo e acesso biométrico, etc.

No dia-a-dia, ao abastecer, ao atravessar uma portagem ou painel informativo de autoestrada, ao viajar de autocarro, de avião, de metro, ao ligar a aspiração central, a caldeira de aquecimento ou simplesmente ao usufruir de um edifício de cariz público, encontramos produtos comercializados pela REIMAN.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Notas Introdutórias sobre a normalização

2.2 Requisitos do chanfro de guias lineares

2.3 Breve introdução aos guiamentos lineares por elementos
rolantes

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta secção reúne-se toda a informação pertinente para o desenvolvimento do equipamento em estudo.

2.1 Notas Introdutórias sobre a normalização

A ISO é a maior organização mundial de desenvolvimento de normas voluntárias. Foi fundada em 1947 e desde então publicou mais de 21 000 normas internacionais que abrangem quase todos os aspetos tecnológicos e de negócio.

A primeira norma ISO, na altura chamada “Recomendação”, foi a ISO/R 1:1951 - *Standard reference temperature for industrial length measurements* publicada em 1951 (ISO, 2016).

Com sede na Suíça, possui mais de 150 colaboradores e conta com membros de 163 países (ISO, 2016). As normas ISO contribuem positivamente para o desenvolvimento à escala global, pois facilitam o comércio, disseminam conhecimento, inovação e avanços tecnológicos, e partilham boas práticas de gestão e conformidade, permitindo ainda encontrar soluções e atingir benefícios em quase todos os sectores de atividade incluindo a agricultura, construção, engenharia mecânica, produção, distribuição, transporte, saúde, tecnologia da comunicação e informação, ambiente, energia, segurança, gestão da qualidade e serviços (ISO, 2016).

A OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) e o departamento para o comércio dos Estados Unidos da América demonstraram que as normas e a presunção de conformidade possuem um impacto de 80% no comércio mundial. A WTO (*World Trade Organization*) obriga os seus membros a utilizar normas ISO de forma a evitar barreiras técnicas ao comércio que podem advir de diferentes normas nacionais ou regionais.

2.1.1 A normalização na indústria

Uma norma é uma forma definida de fazer algo, desde o fabrico de um produto à gestão de um processo ou ao fornecimento de um material. O seu objetivo é delinear uma base fiável para que as pessoas possam ter as mesmas expectativas sobre um produto ou serviço (BSI, 2016).

À parte das normas ISO ou outras (NP, DIN, BSI, AFNOR, JIS, etc) na indústria, é comum existirem normas voluntárias que definem as características e o comportamento de determinado serviço ou produto, como exemplificado na figura 5.

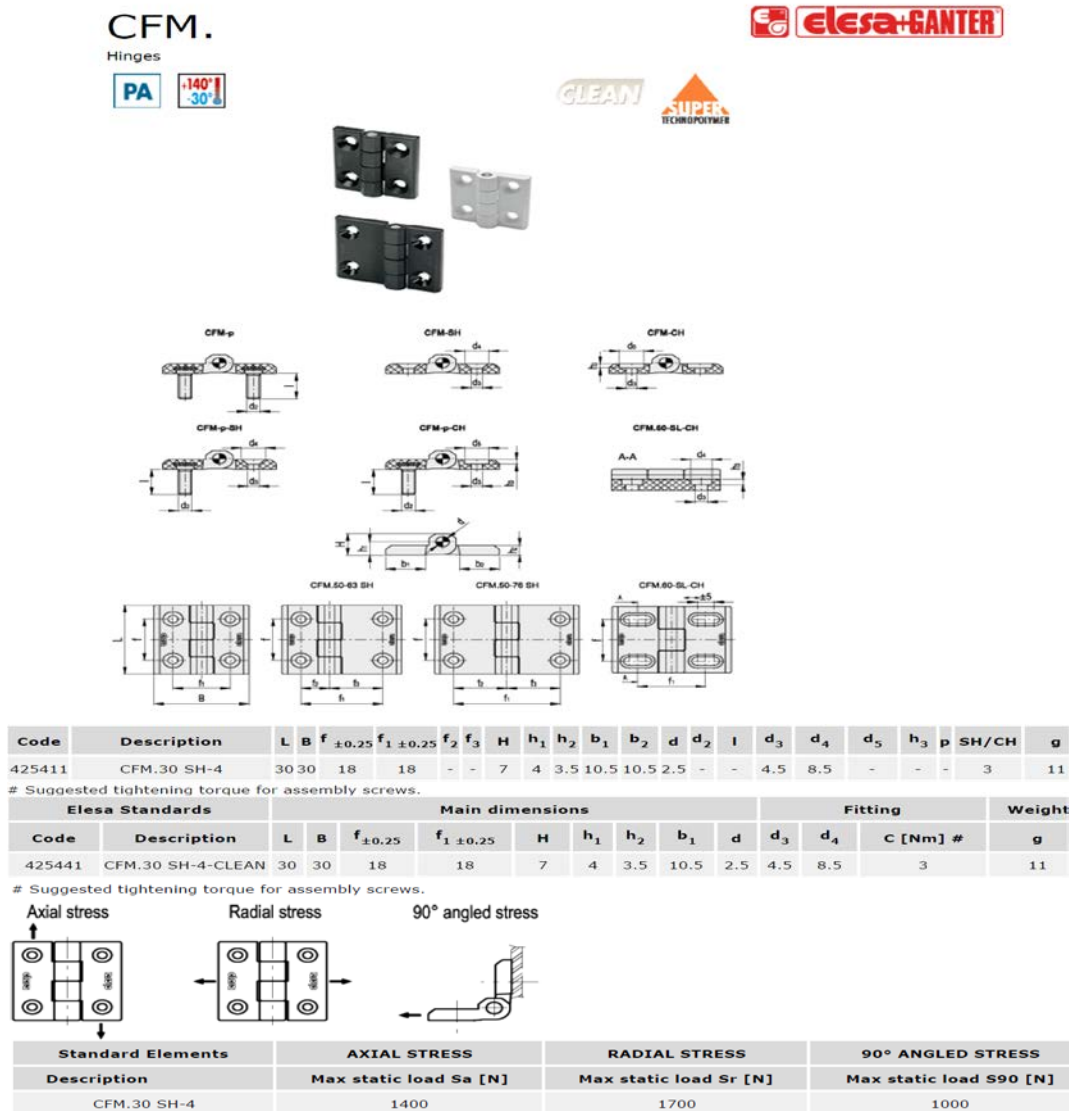


Figura 5 – Resumo de ficha técnica de uma dobradiça (ELESA+GANTER, 2018)

Estas são normalmente apresentadas sob a forma de catálogos onde se descrevem as características técnicas e dimensionais que cada produto apresenta. Assim, da mesma forma que a norma ISO 898-1 (ISO, 2018) define as características de parafusos de classe 8.8, os catálogos de fabricantes de componentes apresentam as características em catálogos de fácil consulta. Como exemplo desta normalização, apresenta-se a figura 5, retirada do catálogo da ELESA+GANTER onde se pode verificar as diversas configurações, dimensões e capacidade de carga de uma dobradiça produzida por este fabricante.

A normalização voluntária de determinado produto por uma empresa ou marca motiva, por vezes, que outras empresas sigam as mesmas considerações, oferecendo produtos que possam ser facilmente substituídos entre marcas, na expectativa de ganhar cota de mercado. Em muitos casos existem diferenças construtivas relacionadas com os materiais ou características técnicas, sendo mantidas as cotas gerais de fixação e atravancamento. Esta tendência de normalizar as gamas de produção permite às empresas oferecer produtos de elevada qualidade e baixo custo, através da especialização numa determinada gama de produtos. Aliando a esta especialização a necessidade de manter vantagem competitiva entre empresas que disponibilizam o mesmo produto num mercado, observa-se um aumento de qualidade e natural redução de custos para o consumidor/integrador industrial.

A GANTER-GRIFF é um exemplo da interligação da implementação da normalização voluntária de um fabricante e das normas nacionais e internacionais. Esta empresa alemã iniciou a produção de elementos normalizados para máquinas, apresentando-os na forma de um catálogo (figuras 6 e 7), 5 anos antes da criação das normas DIN (Ganter Griff, 2015), marcando assim a transição de uma produção individualizada para a produção em série.



Figura 6 – Capa do primeiro catálogo “Ganter” em 1912 (Ganter Griff, 2015)

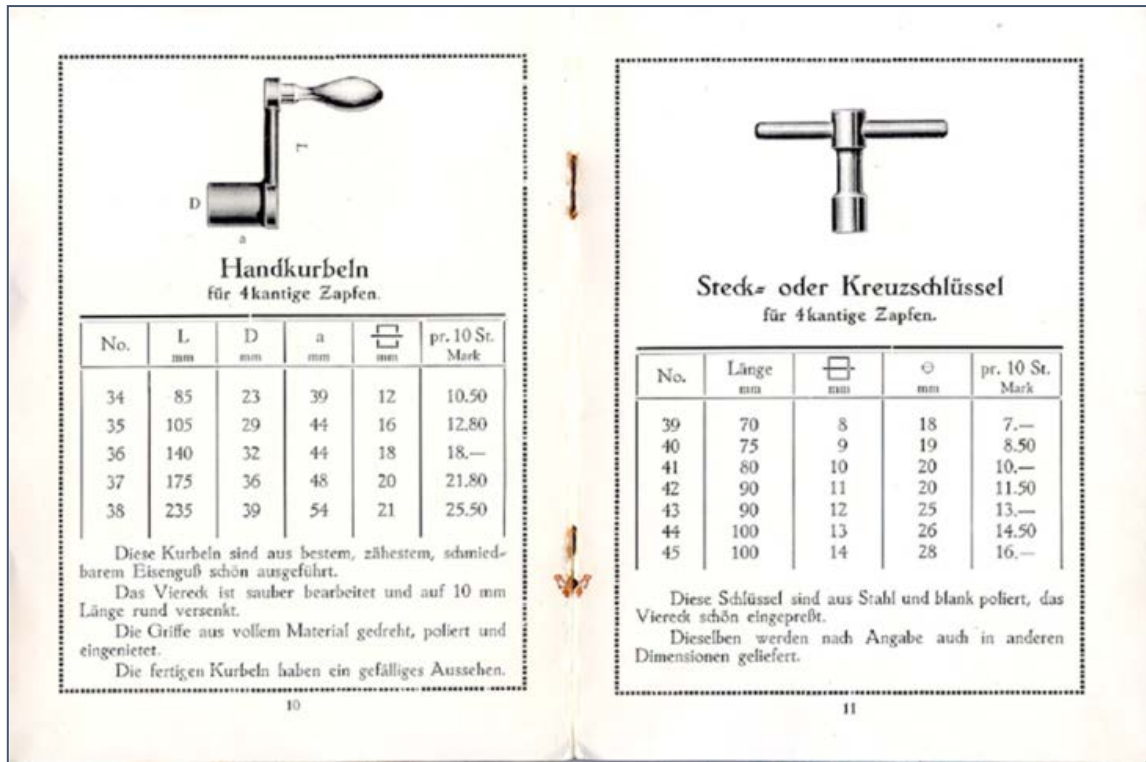


Figura 7 – Exemplo de páginas do primeiro catálogo Ganter de elementos normalizados para máquinas

(Ganter Griff, 2015)

2.2 Requisitos do chanfro de guias lineares

A operação de chanfro realizada nas guias lineares, tal como mencionado anteriormente, tem como objetivo principal evitar danos nos vedantes raspadores dos patins aquando da sua montagem. A integridade destes elementos é extremamente importante para o tempo de vida do sistema dado que estes previnem a entrada de detritos para o interior do patim e mantêm o lubrificante no seu interior. A sua funcionalidade e aplicação assemelha-se aos vedantes em qualquer equipamento onde exista vedação hidráulica e no qual os danos dos vedantes afetam o seu correto desempenho.

Considerando esta analogia, recorre-se ao ponto 9 da norma ISO 7425-2 (ISO, 2018) que define as dimensões e tolerâncias recomendadas para caixas e veios de vedantes hidráulicos. Esta norma indica que, de forma a proteger os vedantes de eventuais danos aquando da sua montagem, é necessário utilizar chanfros de entrada nas extremidades de inserção dos vedantes. Estes podem ser maquinados diretamente no veio ou numa ferramenta amovível auxiliar de montagem. Assim, os ângulos de chanfro de entrada devem estar compreendidos entre os 20° e 30° e a cota “C”, de comprimento mínimo de chanfro, é tabelada em função da profundidade “S” da caixa de alojamento do vedante, como verificado na figura 8.

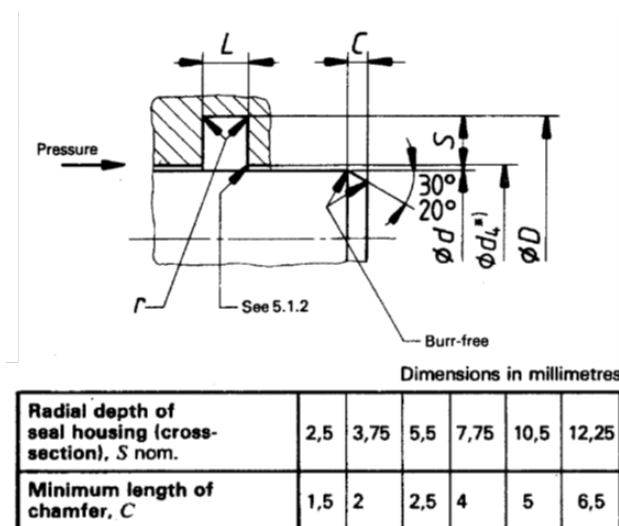


Figura 8 – Relação entre a profundidade da caixa do vedante e o comprimento de chanfro (ISO 7425-2, 2016)

Como a profundidade da caixa “S” está diretamente relacionada com o diâmetro “d” do veio, é possível estabelecer uma relação direta entre o diâmetro “d” e o comprimento mínimo do chanfro “C” (figura 9).

Dimensions in millimetres

Rod diameter ¹⁾ <i>d</i> f8 ²⁾	Groove diameter <i>D</i>		Housing radial depth <i>S</i> nom.	Axial length <i>L</i> + 0,25 0	<i>r</i> max.
		tol.			
6	11	H9 ²⁾	2,5	2,2	0,5
8	13				
10	15				
12	17				
	19,5		3,75	3,2	
14	19		2,5	2,2	
	21,5		3,75	3,2	
16	23,5				
18	25,5				
20	27,5				
	31		5,5	4,2	
22	29,5		3,75	3,2	
	33		5,5	4,2	
25	32,5		3,75	3,2	
	36		5,5	4,2	
28	39				
32	43				
36	47				
40	51		7,75	6,3	
45	56				
50	61				
56	67				
	71,5		5,5	4,2	
63	74		H8 ²⁾	7,75	
	78,5				
70	85,5				
80	95,5				
90	105,5	10,5		8,1	
100	115,5				
110	125,5				
125	140,5				
140	155,5	7,75		6,3	
160	175,5	10,5		8,1	
	181				
180	195,5				
	201				
200	221	12,25	8,1		
220	241				
250	271				
280	304,5				
320	344,5				
360	384,5				

1) Bore diameters in accordance with ISO 3320.
2) See ISO 286-2.

Figura 9 – Quadro relacional entre o diâmetro “d” do veio e a profundidade “S” da caixa do vedante (ISO 7425-2, 2016)

Através da relação entre o diâmetro “d” do veio e a profundidade da caixa do vedante “S”, obtém-se o comprimento de chanfro “C” (tabela 2).

Tabela 2 - Largura de chanfro "C" associada ao diâmetro "d" de acordo com a norma ISO 7425-2

d - Diâmetro (mm)	"C" - Cota mínima recomendada (mm)
6 < d ≤ 14,90	1,50
14,90 < d ≤ 24,90	2,00
24,90 < d ≤ 59,90	2,50
59,90 < d ≤ 199,90	4,00
d > 199,90	5,00

No entanto, os perfis em estudo não possuem um formato circular, pelo que é necessário encontrar uma analogia entre geometrias que permita utilizar esta norma. Apesar de inicialmente formulada para encontrar o diâmetro equivalente no escoamento de fluidos em condutas retangulares, a fórmula derivada por Huebscher, R. (1948) (BROOKS, 2010) será utilizada para converter as cotas de largura e altura dos perfis no seu diâmetro equivalente.

$$de = \frac{1,3(w1 \times h1)^{5/8}}{(w1 + h1)^{1/4}} \quad (1)$$

Onde:

de- diâmetro equivalente (mm);

w1- largura do perfil (mm);

h1- altura do perfil (mm).

Apesar de ser uma aproximação relativamente grosseira, os intervalos de diâmetro associados à cota "C" são latos o suficiente para que esta abordagem seja utilizada para encontrar a largura de chanfro para cada tamanho de guia, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 - Valores da cota C para guias da Série MSA utilizando o conceito de diâmetro equivalente

Tamanho	w1 – Largura*	h1 – Altura*	d Equivalente*	Cota "C" associada*
15	15	15	16	2
20	20	18	21	2
25	23	22	25	2,5
30	28	26	29	2,5
35	34	29	34	2,5
45	45	38	45	2,5
55	53	44	53	2,5
65	63	53	63	4

*** dimensões em mm**

Desta forma, recorrendo à norma ISO 7425-2 (ISO, 2018) e à definição de diâmetro equivalente para perfis retangulares, pode-se definir que o chanfro nesta tipologia de perfis deve ser realizado:

- Considerando um ângulo de $25^\circ \pm 5^\circ$;
- Com uma largura de chanfro mínima de acordo com a cota "C" calculada anteriormente.

Como exemplo, numa guia de tamanho 25, o chanfro obtido deverá ter as dimensões da figura 10, apresentadas em mm.

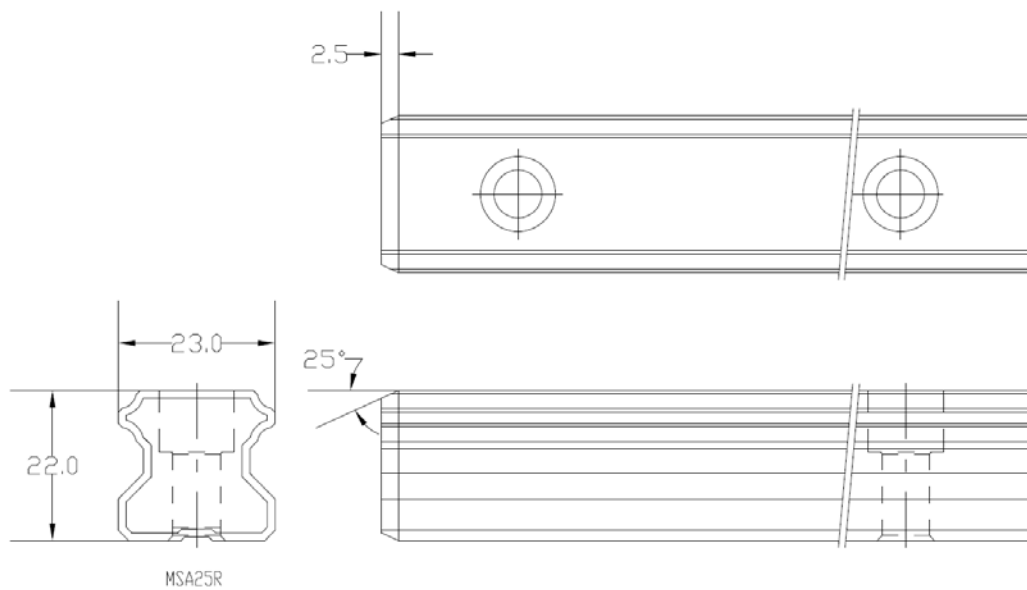


Figura 10 – Representação de chanfro numa guia de tamanho 25, de acordo com a norma ISO 7425-2, utilizando o conceito de diâmetro equivalente descrito na tabela 3 (elaboração própria)

2.3 Breve introdução aos guiamentos lineares por elementos rolantes

Para enquadrar o projeto do equipamento em estudo, realiza-se neste capítulo uma breve apresentação aos guiamentos lineares, sendo estes o principal produto a ser trabalhado.

2.3.1 Resumo histórico

A substituição de deslizamento com atrito pela utilização de elementos rolantes no deslocamento de cargas será algo que remete à própria invenção da roda.

De acordo com Megan Ganbino (Ganbino, 2009), a roda mais antiga de que há registo foi encontrada numa escavação arqueológica na Mesopotâmia e é datada de 3500 AC, na idade do Bronze, presumindo-se que fosse utilizada como roda de oleiro e que a sua utilização no movimento de carroças tenha surgido cerca de 300 anos mais tarde, a figura 11 mostra uma roda de oleiro desta época.



Figura 11 – Roda de oleiro (Slaughter, 2018)

A figura 12 apresenta uma imagem da utilização de troncos redondos na movimentação de blocos de pedra no antigo Egipto, sendo a movimentação dos troncos da parte de trás para a frente do bloco uma representação conceptual dos atuais sistemas de circulação de elementos rolantes.

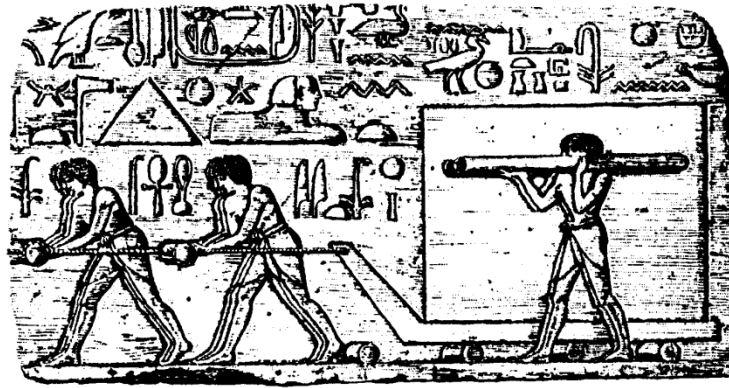


Figura 12 – Movimentação de blocos de pedra no Antigo Egíto (NSK, 2018)

Apesar da origem do movimento linear recorrendo à utilização de elementos rolantes remontar à antiguidade, a sua utilização generalizada como elemento mecânico só surgiu no início do século XX, onde sistemas de movimento linear utilizando guias e esferas de aço, sem recirculação, permitiam um movimento suave e preciso em equipamentos de elevada precisão. O princípio básico dos sistemas de movimento linear atuais, utilizando uma guia linear e patim com recirculação de elementos rolantes, pode ser observado na figura 13 e refere-se a uma patente registada em França em 1932 (NSK, 2018).

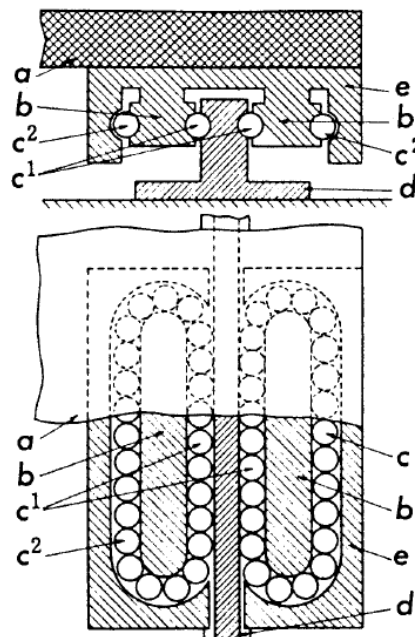


Figura 13 – Imagem sobre sistemas de recirculação de esferas (NSK, 2018)

Apesar de esta patente abranger as funções principais dos guiamentos lineares, foram necessárias algumas décadas até que esta solução fosse comercializada. Assim, o mecanismo básico do movimento linear por elementos rolantes foi estabelecido em 1946 quando a empresa norte-americana Thomson iniciou o comércio de rolamentos lineares de recirculação de esferas para veios retificados.

Durante vários anos foram surgindo adaptações e melhoramentos, até que em 1973 a THK introduziu no mercado os primeiros patins de recirculação de esferas em guias lineares de aço (NSK, 2018). Atualmente existem várias empresas que fabricam e comercializam guias lineares com patins de recirculação de esferas ou rolos, disponíveis em vários tamanhos e classes de precisão, com acessórios especiais, com vista a aumentar o seu desempenho em situações específicas, sendo denominador comum a intermutabilidade entre as diversas marcas, garantida pela norma DIN ISO 12090-1 (antiga DIN 645-1) (ISO, 2018), respeitando a troca dos conjuntos guia e patim.

2.3.2 Funcionamento básico e constituintes

O funcionamento dos sistemas de guiamento linear é relativamente simples. A carga a movimentar é suportada num ou mais patins que se movimentam ao longo de uma guia. A carga é distribuída por todos os elementos rolantes que estejam, a cada instante, em contacto entre o patim e a guia, conseguindo-se obter um movimento de elevada precisão, para elevadas cargas e de elevada eficiência (figura 14).

Nos extremos dos patins existem os topos de recirculação, que possuem no seu interior canais que direcionam os elementos rolantes novamente para a outra extremidade do patim.

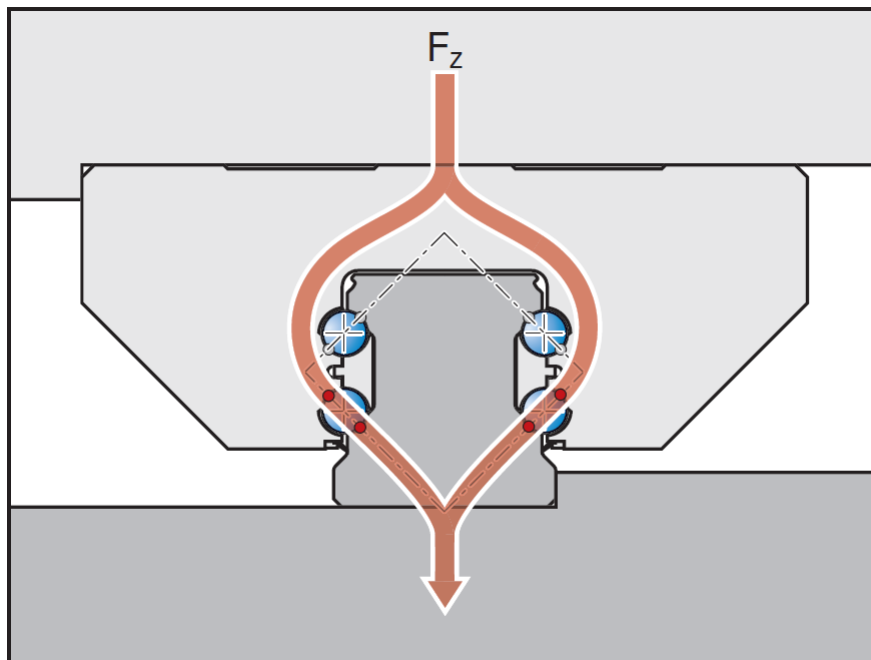


Figura 14 – Exemplo da distribuição de carga entre a guia, o patim e o suporte (BOSCH REXROTH, 2017)

Os sistemas de guiamento linear são constituídos pelos elementos esquematizados na figura 15 e descritos de seguida (PMI - AMT, 2018):

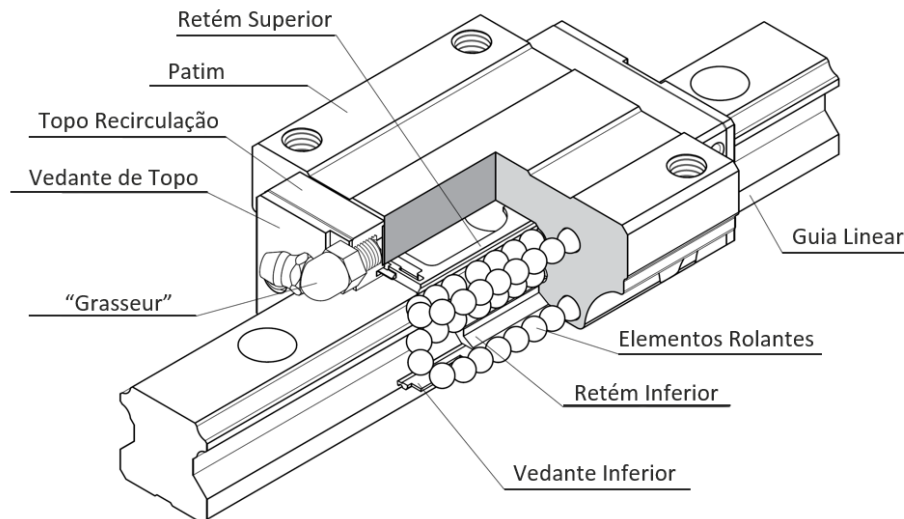


Figura 15 – Vista em corte de um patim linear de esferas (PMI - AMT, 2018)

Guia linear - perfil de aço de alto teor em carbono que permite tratamento térmico de endurecimento superficial. As guias são retificadas nos caminhos dos elementos rolantes de forma a permitir um suave movimento destes.

Patim linear - o patim incorpora os seguintes elementos:

Bloco central – bloco de aço com pistas retificadas onde se realiza o contacto entre os elementos rolantes e a guia. O bloco possui também os canais de recirculação e os furos que permitem a sua fixação à máquina;

Elementos rolantes – os elementos rolantes podem ser esferas ou rolos, sendo que a própria geometria da guia e dos caminhos de circulação do patim diferem em cada caso. Os sistemas podem ter 2, 4 ou 6 recirculações de elementos em que a utilização de rolos aumenta a capacidade de carga e rigidez do conjunto, já que as cargas são descarregadas numa linha de contacto, ao passo que na utilização de esferas existe apenas um ponto de contacto por elemento rolante;

Topo ou cassette de recirculação – este elemento é normalmente construído em plástico técnico, sendo possível a utilização de alumínio ou latão quando as guias são utilizadas em ambientes de altas temperaturas. Este elemento é responsável pelo direccionamento dos elementos rolantes de, e para, os canais de recirculação, assim como pela distribuição do lubrificante introduzido no *grasseur* para todas as circulações;

Reténs – são elementos que mantêm a posição dos elementos rolantes no patim, sem função estrutural;

Vedantes – os vedantes são responsáveis por evitar a entrada de poeiras e detritos para o interior do patim. De acordo com o ambiente onde o sistema é utilizado existem *kits* de proteção adicionais, seja para proteção de poeiras provenientes do corte de pedra ou de madeira, utilizando-se vedantes adicionais no topo e interior do patim ou sua substituição por vedantes bidirecionais de elevado desempenho ou na proteção de limalhas a alta temperatura, provenientes de equipamentos de arranque de apara, através da colocação de raspadores metálicos adicionais. A entrada de resíduos nos patins é a principal causa da sua destruição, pois os detritos acumulam-se nos topos dos canais de recirculação, impedem a recirculação dos elementos rolantes e causam a ruína dos topos de recirculação, com a saída dos elementos rolantes;

Tampas da guia – existem dois tipos de fixação das guias, a fixação superior e a inferior. Na fixação inferior, as guias possuem furos cegos roscados permitindo que a face superior da guia seja sempre regular, não sendo utilizadas tampas. Nas guias de fixação superior, estas possuem furos passantes com uma caixa para alojar um parafuso CHC (DIN 912 - ISO 4762) (ISO, 2018), sendo que neste caso é necessário utilizar tampas para a furação, que impedem que se acumulem detritos nos furos de fixação e que estes sejam transferidos para as circulações superiores. As tampas são habitualmente em plástico, sendo possível a utilização de tampas metálicas em ambientes de alta temperatura. Estas tampas podem ser substituídas por uma fita a todo o comprimento da guia, no entanto, esta solução obriga a maquinar uma caixa no cimo da guia onde a fita é colocada;

Grasseur – o *grasseur* é o elemento por onde é introduzida a massa lubrificante no interior do patim, que através dos canais de lubrificação existentes nos topos, chega aos elementos rolantes. Existem acessórios que substituem estes elementos quando se utiliza lubrificação por óleo, especialmente em equipamentos mais complexos que utilizam lubrificação centralizada. A ausência ou incorreta lubrificação é também uma das mais frequentes causas da destruição destes sistemas;

Cassete de lubrificação (acessório) – Em aplicações onde seja mais difícil utilizar os sistemas convencionais de lubrificação, pode ser utilizada lubrificação por cassete. A cassete de lubrificação, cujo esquema de montagem está representado na figura 16, é um reservatório de óleo lubrificante que é transferido por efeito de capilaridade num tecido de feltro, para um lubrificador especial colocado entre os vedantes e o topo de recirculação e que deposita uma película de lubrificante diretamente na guia. Apesar de ser um sistema muito eficaz que garante a lubrificação do patim durante milhares de km, apenas garante uma lubrificação limite dos elementos através de deposição de uma pequena quantidade de óleo lubrificante na guia;

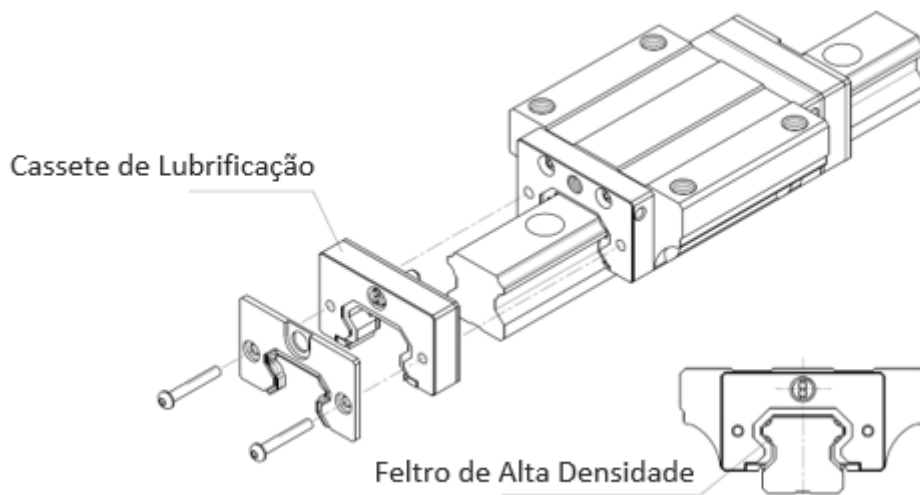


Figura 16 – Vista de um patim com cassete de lubrificação (PMI - AMT, 2018)

Gaiola de elementos rolantes (acessório) – a gaiola de elementos rolantes, representada na figura 17, é um elemento de plástico técnico que separa todos os elementos rolantes e que possui uma dupla função: reduzir o ruído de funcionamento e aumentar a eficiência da lubrificação. A redução do ruído decorre da completa separação e alinhamento dos elementos rolantes, eliminando choques entre estes aquando do movimento do patim e, simultaneamente, permite que cada nicho deste elemento acumule lubrificante, alongando os intervalos de lubrificação.

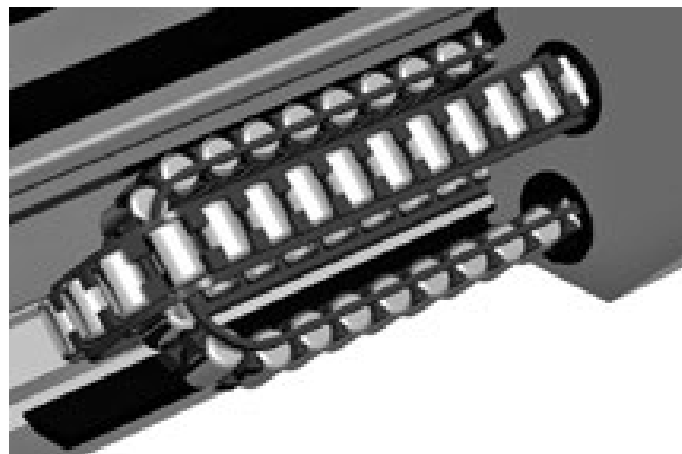


Figura 17 - Sistema de gaiola de elementos rolantes num patim de rolos (PMI - AMT, 2018)

2.3.3 Rigidez e pré-carga dos patins

A pré-carga nos patins é conseguida utilizando elementos rolantes com uma dimensão ligeiramente superior ao espaço entre o patim e guia, o que permite aumentar a rigidez do conjunto (figura 18). A pré-carga deve ser selecionada corretamente para cada aplicação uma vez que tem uma influência direta na vida do patim. Uma pré-carga demasiado elevada irá diminuir a vida em serviço deste elemento.

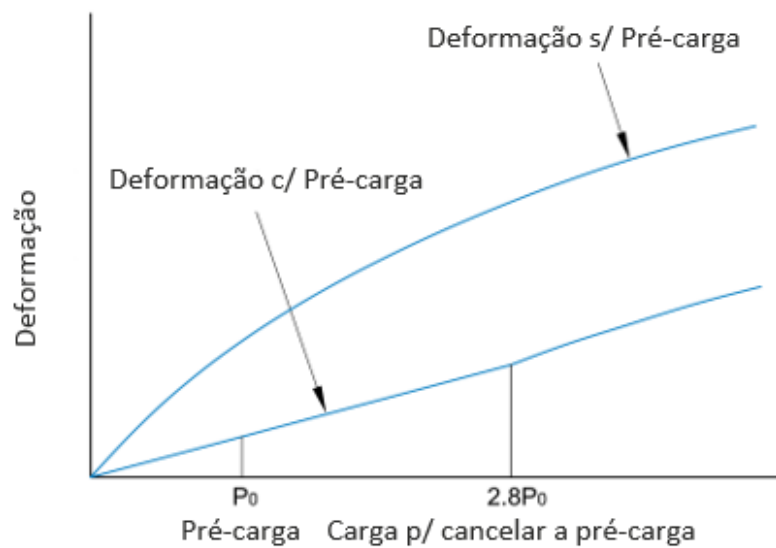


Figura 18 – Gráfico de influência da pré-carga na rigidez dos patins (PMI - AMT, 2018)

2.3.4 Classes de precisão

Os sistemas de guiamento por guia linear e patim possuem várias classes de precisão (*N-Standard*; *H-High*; *P-Precision*; *SP-Super Precision*; *UP-Ultra Precision*), mediante os requisitos do equipamento onde estão instalados. As classes de precisão têm em consideração as tolerâncias dimensionais do patim e guia, assim como o paralelismo num determinado deslocamento.

Nas classes de precisão mais elevadas os sistemas de patim e guia são calibrados em fábrica e comercializados já montados (conjuntos não intermutáveis).

A figura 19 e tabela 4 seguintes ilustram as faces de referência, tolerâncias dimensionais dos patins e desvios associados ao descolamento para as três primeiras classes de precisão.

A figura 19 e tabelas 4 e 5 foram retiradas do catálogo PMI e apresentam as tolerâncias e desvios de paralelismo para patins e guias de tamanho 15 e 20 nas várias classes de precisão.

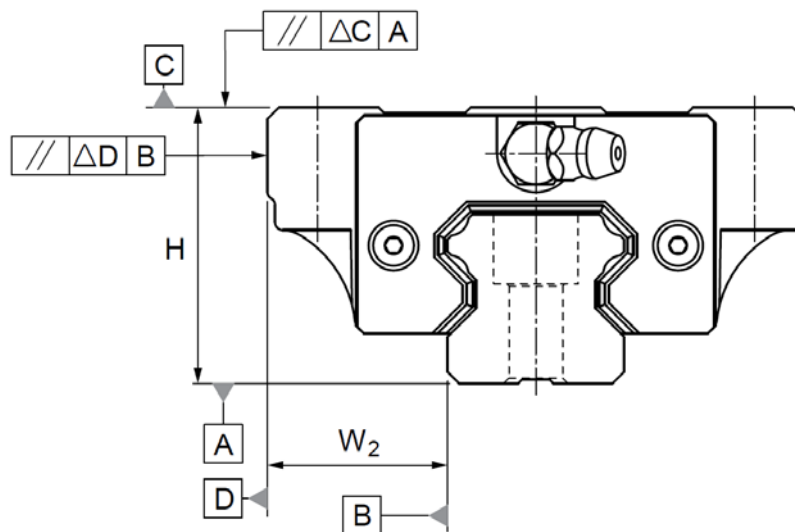


Figura 19 – Superfícies de referência genéricas dos conjuntos patim e guia (PMI - AMT, 2018)

Tabela 4 - Tabela de exemplo (tamanhos 15 e 20) para tolerâncias de modelos intermutáveis (PMI - AMT, 2018)

Tamanho normalizado	Tolerância (mm)	Classe de precisão		
		N (normal)	H (alta)	P (precisa)
15	H	$\pm 0,1$	$\pm 0,03$	0 -0,03
	ΔH	0,02	0,01	0,006
	W_2	$\pm 0,1$	$\pm 0,03$	0 -0,03
	$W_2(\Delta W_2)$	0,02	0,01	0,006
	20	Paralelismo superfície C com A		ΔC (ver tabela 5)
	Paralelismo superfície D com B		ΔD (ver tabela 5)	

Tabela 5 - Desvios de paralelismo por classe de precisão (PMI - AMT, 2018)

Comprimento da guia (mm)		Desvios máximos de paralelismo de deslocamento por classe de precisão (μm)				
De	Até	N	H	P	SP	UP
0	315	9	6	3	2	1,5
315	400	11	8	4	2	1,5
400	500	13	9	5	2	1,5
500	630	16	11	6	2,5	1,5
630	800	18	12	7	3	2
800	1000	20	14	8	4	2
1000	1250	22	16	10	5	2,5
1250	1600	25	18	11	6	3
1600	2000	28	20	13	7	3,5
2000	2500	30	22	15	8	4
2500	3000	32	24	16	9	4,5
3000	3500	33	25	17	11	5
3500	4000	34	26	18	12	6

2.3.5 Capacidade de carga

Os guiamentos lineares por elementos rolantes possuem uma capacidade de carga bastante elevada considerando a sua reduzida dimensão. Dado que são elementos normalizados, as suas características técnicas estão bem estudadas e definidas na literatura técnica de cada fabricante, sendo a norma ISO 14728 (ISO, 2018) a referência para os estes cálculos. Nos catálogos é habitual encontrar a seguinte informação:

Carga estática nominal, utilizada para dimensionamento de sistemas que realizem um reduzido número de ciclos e que define, no caso dos guiamentos por esferas, a carga máxima (constante ou decorrente de impactos) que um patim pode suportar, em qualquer direção, sem que o total das deformações plásticas causada pelos elementos rolantes e a guia seja superior a 0,01% o diâmetro de uma esfera desse patim. Nos guiamentos por rolos, considera-se como limite uma carga que provoque uma tensão de 4000 MPa no centro do ponto de contacto entre o elemento rolante e a guia;

Carga dinâmica nominal, utilizada para dimensionar sistemas que realizem um elevado número de ciclos. Refere-se à carga cuja magnitude é tal, que a vida nominal do guiamento linear é de 50 km para sistemas de esferas e 100 km para sistemas de rolos;

Momentos estáticos nas direções XX, YY e ZZ, referem-se aos momentos em torno dos respetivos eixos, que provocam uma carga equivalente à carga estática nominal desse patim (figura 20).

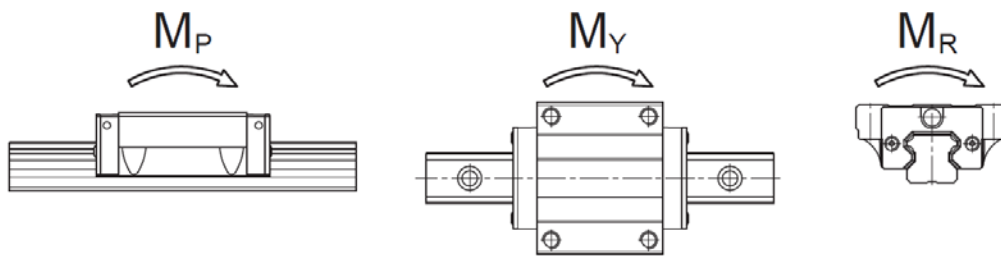


Figura 20 - Esquema de aplicação de momentos (PMI - AMT, 2018)

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Estudo de equipamentos de chanfro
- 3.2 Avaliação de equipamentos CNC de 2 e 3 eixos
- 3.3 Decomposição funcional e matriz de decisão
 - 3.4 Arquitetura do produto
- 3.5 Forças Envolvidas na Operação de Chanfro
 - 3.6 Eixo XX – Cálculo das guias lineares
 - 3.7 Eixo XX – Cálculo do fuso de esferas
 - 3.8 Eixo YY – Cálculo das guias lineares
 - 3.9 Eixo YY – Cálculo do fuso de esferas
 - 3.10 Placa de Suporte da Fresa
 - 3.11 Motorização dos Eixos
 - 3.12 Esbarro do eixo ZZ
- 3.13 Sistema de fixação da peça a chanfrar
 - 3.14 Estrutura em perfil de alumínio
 - 3.15 Segurança de equipamentos
 - 3.16 Esquema de montagem

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo é dedicado ao estudo do projeto, recolhendo-se a informação necessária ao desenvolvimento do mesmo, de forma a obter uma matriz de decisão e a subsequente solução de referência do equipamento a desenvolver. De forma a facilitar a identificação dos subconjuntos estudados nos capítulos seguintes, apresenta-se na figura 21 a sua integração no equipamento.

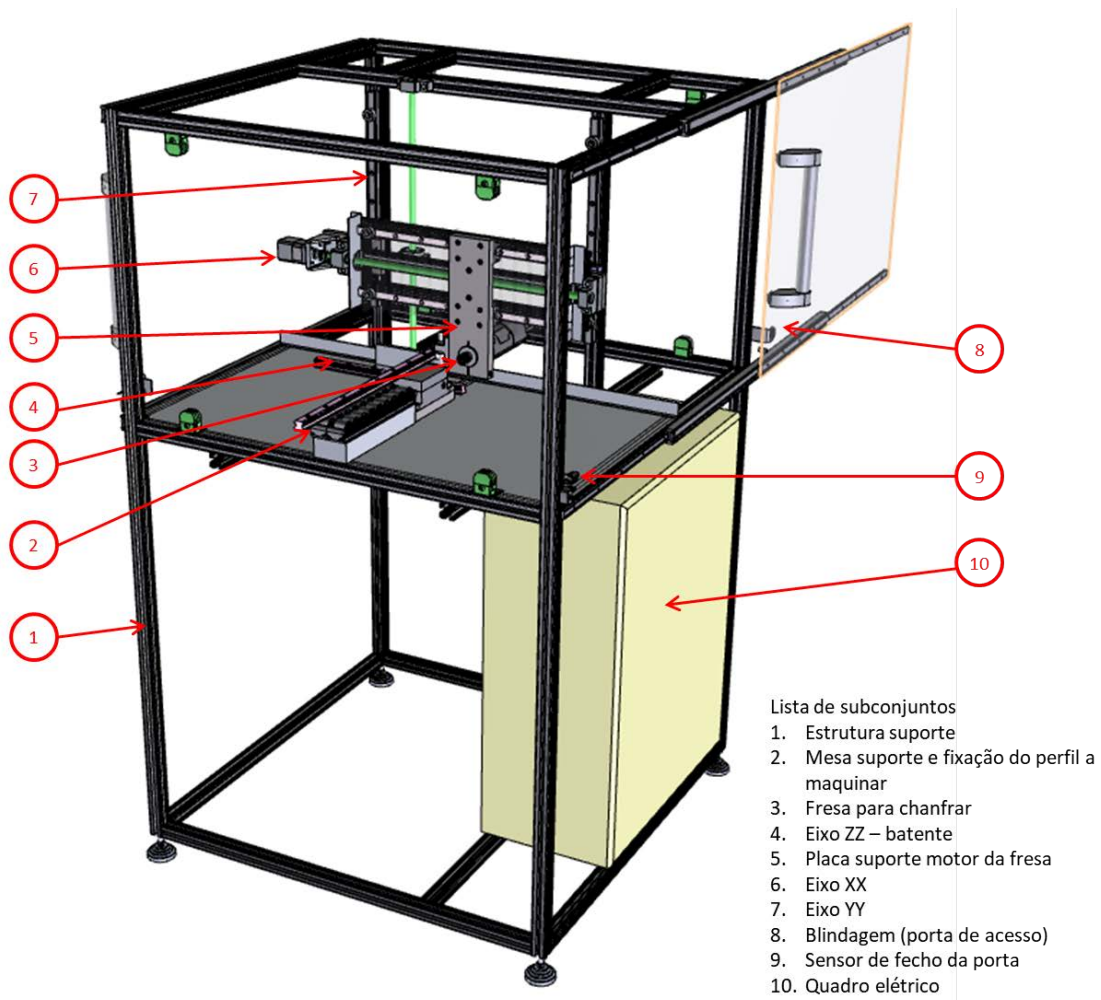


Figura 21 – Lista de subconjuntos do equipamento (elaboração própria)

3.1 Estudo de equipamentos de chanfro

Após análise de várias fontes de informação sobre este tipo de equipamentos, verifica-se que existem comercialmente equipamentos de chanfro, relacionados principalmente com:

- Chanfro de tubos e perfis circulares (figuras 22, 24 e 25);
- Chanfro de superfícies retas (figura 23).



Figura 22 – Equipamento portátil de chanfrar tubos Shavedger (Beveller, 2016)



Figura 23 – Máquina de chanfrar perfis longos Autocut 500 (BDS Maschinen GmbH, 2016)



Figura 24 – Máquina de chanfrar perfis redondos ASC76 CNC (J&S Engineering, 2016)



Figura 25 – Pormenor da ferramenta de chanfro com pastilhas de carboneto da ASC76 CNC (J&S Engineering, 2016)

Estes equipamentos relacionam-se principalmente com a preparação de superfícies para soldadura e utilizam ferramentas de corte com pastilhas de carbonetos. Os equipamentos CNC, como o da figura 25, possuem ainda um esbarro frontal automático para que, aquando da alimentação do perfil, seja realizada uma indexação e se consiga controlar a largura do chanfro. Estes modelos possuem normalmente uma interface com o utilizador por monitor táctil.

3.2 Avaliação de equipamentos CNC de 2 e 3 eixos

O corte de geometrias complexas é atualmente muito comum pela utilização de equipamentos com controlo numérico com dois, três ou mais eixos. Assim sendo, a conjugação de conceitos típicos dos equipamentos de chanfro aliados aos dos equipamentos CNC, apresenta-se como uma solução viável para o projeto atual.

Os equipamentos de três eixos são muito comuns, existindo inclusivamente vários fabricantes nacionais. Nestes equipamentos o terceiro eixo pode ser utilizado apenas para manutenção e ajuste da altura de trabalho da ferramenta, como acontece no ajuste da altura da lente nas máquinas de corte e gravação a *laser*, realizado em função da espessura do material que está a ser trabalhado (figura 26) ou pode ser utilizado no ajuste permanente da fresa para maquinar relevos em fresadoras CNC (figura 27).

Existem variantes de equipamentos CNC, mais complexos, como o corte a *laser* de tubos ou o corte 3D, que recorrem a 5 eixos (ou mais) de posicionamento da cabeça de corte, como visível no equipamento da figura 28.

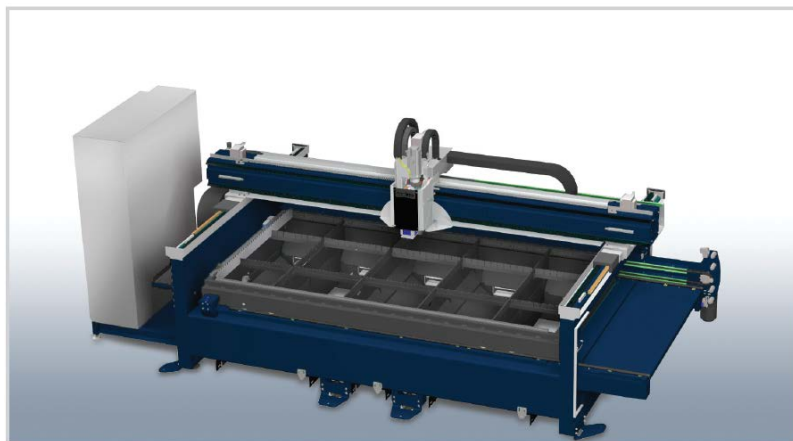


Figura 26 – Máquina de corte laser ADIRA - Blue Laser com 3 eixos (ADIRA S.A., 2016)



Figura 27 – Fresadora CNC OPTIMA com 3 eixos, Série S – equipamento de pequenas dimensões (Optima, 2016)



Figura 28 – Equipamento corte laser TRUMPF com 5 eixos para realizar corte 3D (Trumpf, 2016)

O acionamento dos eixos nestes equipamentos é normalmente realizado por motores lineares, motores passo-a-passo ou servomotores, acoplados a correias, fusos de esferas ou cremalheiras helicoidais de elevada precisão. A utilização de fusos trapezoidais é possível, corrigindo adequadamente o fator de serviço para evitar o sobreaquecimento e desgaste prematuro do sistema fuso/fêmea (UNIMEC, 2017). Mediante a aplicação, é possível adquirir motores e controladores de elevado desempenho da SIEMENS, FANUC, FAGOR ou outros e ainda soluções em KIT com motores e controladores de baixo custo e prontos a instalar.

Existem também vários *software* CAD/CAM disponíveis no mercado, desde soluções proprietárias como o da figura 29, ou *software* livre, que permitem disponibilizar sistemas de controlo de baixo custo, recorrendo a simples computadores pessoais, como se pode avaliar nas figuras 30 e 31.

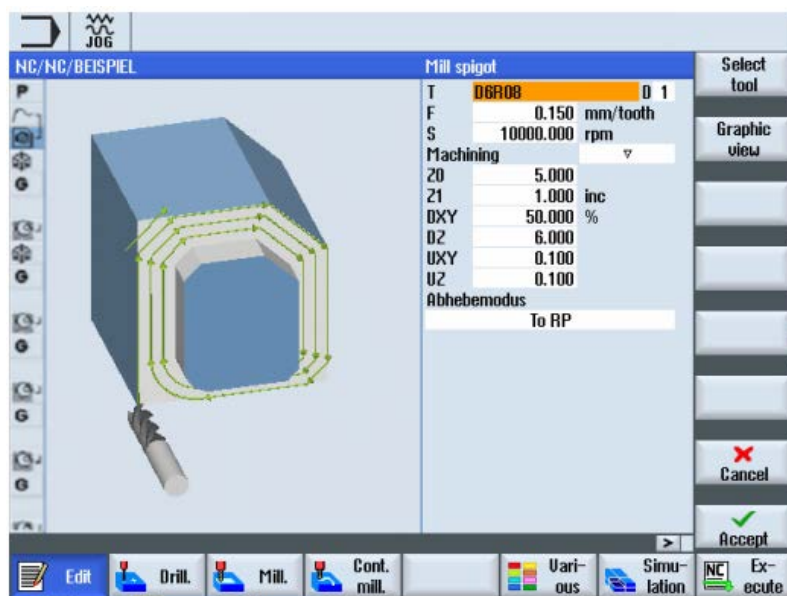


Figura 29 – SIEMENS Sinumeric, monitor de programação (SIEMENS, 2017)

CENTROID™ Board Level CNC Control for use with FANUC Servo Motors
 Motion Controller, Drive Interface, and PLC (MPU11 & GPIO4D & AC/DC servo drives)
 Starting at \$2345 with CENTROID Mill or Lathe software

159 Gates Road, Howard, PA 16841 USA
 (814) 353-9290
 www.centroidcnc.com

FANUC CNC PC choices: Your Windows 7 PC OR: Our All-in-One PC \$1175 (110841b) OR: Our CNC PC \$1175 cabinet mount (#11084) & your display OR: Our CNC console \$2225 (#11082) Panel Mount console \$2715 (#1170) Touch screen option \$495 (#12568) High perf PC upgrade \$615 (12858)

Standard Kit Includes: MPU11 & GPIO4D with CENTROID Software (#11022) \$2345

Optional IO Expansion Boards: Add up to 4 in any combination for up to 272 In / 272 Out

- PLC Add 1616: 16 Inputs (5, 12, 24VDC), 16 Relay Outputs \$395 (#11025)
- Add4AD4DA: 4 Digital to Analog Outputs, 4 Analog to Digital Inputs \$525 (#11141)
- PLC Add 6464: 64 Inputs 5V non Isolated, 64 Outputs Open Collector \$1290 (#11212)

Optional Operator's Control Panel \$745 (#11077), Optional Manual Pulse Generator (MPG) \$495 (#11069), Optional Touch Probe & Software DP-4 \$1590 (#10405) DP-7 \$4200 (#12431), Optional Auto Tool Set TT-2 \$1310 (#12486) TT-1 \$725 (#10220)

Console, Display, & Cabinet opt. mounting hardware: Console ext. cable in conduit (6 ft) \$380 (#11028), Console cable in conduit (over 6ft) \$28.50/ft (#11028), Console mounting arm \$299 (#10636), Console swivel mount (use w/ your arm) \$135 (#10834), Rolling cabinet stand and display tray \$595 (#10512), Rolling console stand \$760 (#10695), Display/keyboard tray with arm \$480 (#10240), Operator's Pendant mounting hardware \$76 (#10491), Internal MPG cable 20' w/whisker/can. \$110 (#11088), Internal Probe cable 6' w/whisker/can. \$50 (#11085)

Your FANUC Motors: Red Cap, Yellow Cap or Black Cap motors. (notes: up to FANUC "20" size motors. Up to 8 axes.) CENTROID AC/DC servo drive 30 amp AC/DC-30 \$1285 each (#12854) 60 amp AC/DC-60 \$1380 each (#12855) Red Cap Encoder upgrade kit \$350 (#12859)

Red Cap Encoder upgrade kit \$350 (#12859)

Copyright © 2012 by CENTROID, rev12.5.13.13
 All prices and specifications subject to change without notice.
 *at time of purchase. This price sheet supersedes all previous pricing.

Figura 30 – Exemplo de configuração de sistema de controlo FANUC (CENTROID CNC, 2017)

CNC USB Controller (General) - H:_Stepper\Stepper\PC Software VS2008\CNCUSBController\Samples\HeartLiso

File View Program Machine Help Debug

Position State Program

Offset W T M

X: 31.0000
 Y: 31.0000
 Z: 0.0000
 A: 0.0000

F: 0.00
 F: 1000.00

0/250 Tool: 1 - EndMill 3mm

1: %
 2: N2 G20 G90
 3: / 12.000 mm dia.
 4: / Relief Limits :
 5: /
 6: N4 T0003 M06
 7: N6 G0 X0.00000 Y C H U
 8: N8 G0 X1.96850 Y J
 9: N10 G0 X1.97914 Y L U L U
 10: N12 G0 Z -0.00001
 11: N14 G1 X1.97914 Y X H L
 12: N16 G1 X1.87952 Y
 13: N18 X1.70122 Y1.
 14: N20 X1.45484 Y1.
 15: N22 X1.27458 Y1.
 16: N24 X1.17161 Y1.
 17: N26 X1.11736 Y1.
 18: N28 X1.07572 Y1.
 19: N30 X1.04642 Y2.
 20: N32 X1.02840 Y2.
 21: N34 X1.02136 Y2.
 22: N36 X1.02459 Y2.
 23: N38 X1.03774 Y2.
 24: N40 X1.06112 Y2.
 25: N42 X1.09594 Y2.
 26: N44 X1.14458 Y2.
 27: N46 X1.19989 Y2.
 28: N48 X1.25777 Y2.
 29: N50 X1.33204 Y2.
 30: N52 X1.40755 Y2.
 31: N54 X1.47735 Y2.
 32: N56 X1.55858 Y2.
 33: N58 X1.63410 Y2.
 34: N60 X1.70961 Y2.
 35: N62 Y1.77306 Y2

Figura 31 – CNC USB, software CAD/CAM gratuito (PLANET-CNC, 2017)

3.3 Decomposição funcional e matriz de decisão

A análise dos equipamentos de chanfro e dos equipamentos CNC realizada anteriormente permite efetuar a decomposição funcional do equipamento de chanfro de geometrias complexas e a análise necessária à obtenção da matriz de decisão.

3.3.1 Decomposição funcional

O equipamento em estudo tem como objetivo realizar um chanfro de $25^\circ (\pm 5^\circ)$ com uma largura máxima de 4 mm, em todo o perímetro de uma geometria complexa. A aplicação principal refere-se ao chanfro de guias lineares de forma a evitar danos nos vedantes do patim, aquando da sua montagem.

O equipamento será composto por:

- Estrutura, que tem por função suportar os demais elementos;
- Mesa de fixação, onde é colocado o perfil a trabalhar, indexando as coordenadas XX e YY;
- Sistema de fixação do perfil, para garantir que este permanece imóvel durante a operação de chanfro, garantindo também a segurança do operador;
- Esbarro do eixo ZZ, para localizar o perfil a ser trabalhado relativamente à ferramenta;
- Ferramenta, responsável pelo arranque de apara;
- Motorização da ferramenta, motor de alta velocidade responsável pela rotação da mesma;
- Eixo linear XX e YY, sistema de guiamento e acionamento, responsáveis por movimentar a ferramenta;
- Motorização e controlo dos eixos, sistema de motores, responsáveis pela movimentação precisa de cada eixo;
- Interface com o utilizador, PLC e/ou PC onde está instalado o *software* de CAD/ CAM;
- *Software* CAD e CAM: o *software* CAD é onde é desenhado (em formato vetorial) o trajeto da ferramenta (perfil da guia) e o *software* CAM é responsável pelo controlo numérico (coordenadas, velocidade) dos controladores dos motores;
- Proteção do equipamento, no caso de qualquer anomalia de funcionamento que permita a paragem rápida de todos os movimentos;
- Proteção do operador, proteção mecânica ou barreira imaterial que garanta a segurança do operador. Pretende-se o cumprimento da diretiva máquinas, através da definição de requisitos essenciais de segurança relacionados com a conceção e o fabrico, a fim de melhorar a segurança das máquinas colocadas no mercado (DIRECTIVA 2006/42/CE, 2016).

3.3.2 Matriz de Decisão

A matriz de decisão (tabela 6) apresentada nesta secção lista as soluções construtivas possíveis para cada função do equipamento, tendo em consideração os seguintes critérios principais:

- Simplicidade de operação;
- Segurança do operador;
- Reduzido peso e dimensões;
- Equipamento robusto e com reduzida manutenção;
- Baixo custo de produção e operação;
- Utilização do maior número possível de elementos normalizados;
- Reduzido tempo de montagem de componentes;
- Utilização de apenas uma fonte de energia (pneumática ou elétrica, excluindo a hidráulica).

Tabela 6 – Matriz de Decisão

Soluções	1	2	3	Selecionada
Funções				
Alimentação	Elétrica	Pneumática	Múltipla	Elétrica
Estrutura	Construção soldada aço	Perfil de alumínio técnico		Perfil de alumínio técnico
Sistema de fixação do perfil	Pneumático	Magnético	Mecânico	Magnético
Esbarro do eixo Z	Construção de eixo Z	Batente mecânico na mesa	Batente mecânico associado à ferramenta	Batente mecânico associado à ferramenta
Ferramenta	Mó montada	Pastilhas de carboneto	Fresa de carboneto	Fresa de carboneto
Motorização ferramenta	Motor IEC 2 Polos	Motor de fresadora		Motor de fresadora
Eixos lineares	Construção dos eixos (guiamento e acionamento)	Aquisição de módulo normalizado		Construção dos eixos (guiamento e acionamento)
Motorização e controlo dos eixos	Servo motores	Motores passo a passo		Motores passo a passo
Interface com utilizador	PLC dedicado com HMI	Controlo CNC em PC		Controlo CNC em PC
Software CAD/CAM	Proprietário	Gratuito		Gratuito
Proteção do equipamento	Controlador dos motores	Fusível mecânico		Controlador dos motores
Proteção do operador	Barreira imaterial	Proteção policarbonato transparente	Proteção metálica	Proteção policarbonato transparente

Estas soluções construtivas permitem obter as vantagens apresentadas na tabela 7 relativamente à simplicidade de construção e entrada em serviço.

Tabela 7 – Vantagens das soluções selecionadas

Soluções	Selecionada	Vantagens da solução adotada
Alimentação	Elétrica	Energia disponível, limpa e versátil que permite a operação do equipamento de uma forma facilitada
Estrutura	Perfil de Alumínio técnico	Solução leve, modular, de fácil implementação e disponível nos produtos comercializados pela REIMAN
Sistema de fixação do perfil	Magnético	Sistema simples, facilmente integrável na estrutura
Esbarro do eixo Z	Batente mecânico associado à ferramenta	A utilização de um batente mecânico associado à ferramenta evita a montagem de um sistema automático de esbarro ou construção de um eixo ZZ motorizado
Ferramenta	Fresa de carboneto	Uma ferramenta de simples substituição e elevada durabilidade
Motorização ferramenta	Motor de fresadora	Motor de fresadora KRESS, de utilização generalizada em equipamentos deste tipo (KRESS, 2017)
Eixos lineares	Construção	Fácil integração e baixo custo dado que vários componentes pertencem à gama comercializada pela empresa
Motorização e controlo dos eixos	Motores passo a passo	Sistema de elevada precisão e económico quando comparado com servomotores ou motores lineares
Interface com utilizador	Controlo CNC em PC	Solução modular económica, com elevada facilidade de gestão e seleção dos ficheiros CAM
Software CAD/CAM	Gratuito	Funcionalidades básicas disponíveis sem custos
Proteção do equipamento	Controlador dos motores	O controlador permite também realizar as funções de segurança (funcionamento na gama nominal e proteção de sobrecargas) permitindo uma solução compacta
Proteção do operador	Proteção policarbonato transparente	Permite visualizar o interior do equipamento quando em operação, controlando o seu correto funcionamento com elevada resistência ao impacto no caso de danos na fresa e eventual projeção de limalha

De notar que todos os componentes de controlo e motorização serão adquiridos como KIT a integrar no equipamento completo.

3.4 Arquitetura do produto

Neste capítulo realiza-se a caracterização do material a trabalhar de forma a iniciar a definição e dimensionamento dos elementos constituintes do equipamento.

3.4.1 Características do aço a trabalhar

As guias onde se realizam os chanfros são de aço de elevado teor em carbono para permitir tratamento térmico de endurecimento superficial. A vida em serviço e capacidade de carga nominal é obtida quando a dureza das pistas onde contactam os elementos rolantes está num intervalo entre 58 e 64 HRC (PMI - AMT, 2018). Para efeitos de seleção da fresa, considera-se uma dureza de 64 HRC em toda a superfície de trabalho.

3.4.2 Fresa

A fresa terá de ter um ângulo de corte adequado ao chanfro e possibilitar o arranque de apara em aço com dureza máxima de 64 HRC. As fresas de carbonetos de tungsténio e cobalto são particularmente adequadas para esta função, devido à sua elevada rigidez e resistência à flexão. Estas características também lhe conferem uma elevada vida útil e qualidade da superfície trabalhada.

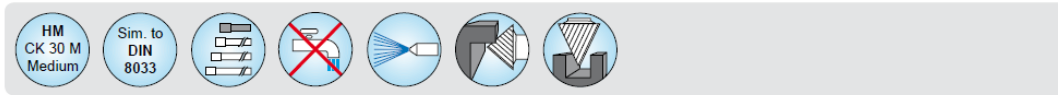
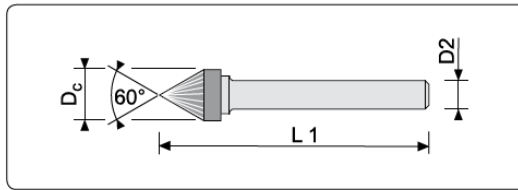
Comercialmente encontram-se vários fabricantes destas fresas. A referência selecionada foi a 4653/5-60° da CERIN com tratamento CER-T (CERIN, 2016), apresentada na figura 32.



Figura 32 – Fresa CERIN, ref 4653/5-60° (CERIN, 2017)

Esta fresa tem um ângulo de 60° e a configuração 5 (fina) permite a sua utilização em aços com dureza até 66 HRC, com elevada qualidade de acabamento (figura 33). As suas principais características são:

- Fabricada em CK 30 M (código CERIN), cuja designação ISO é K30 (CERIN, 2017), composta por 91% de WC e 9% Co com dureza de 91,0 HRA (Bingmann GmbH & Co. KG, 2017) o que corresponde a cerca de 78 HRC (General Carbide, 2017);
- Geometria semelhante à DIN 8033;
- Versão curta, L1 = 39 mm para maior rigidez;
- Funcionamento a seco, com possibilidade de arrefecimento a ar comprimido;
- Adequada para quebrar arestas/realização de chanfros;



D _c	L1	D2	Zahnung / Cut type						46	36
			1	2	3	4	5	6		
3	40	3,00	-	●	●	●	●	●	4633/...-60°	
4	38	3,00	-	●	●	●	●	●	4643/...-60°	
5	39	3,00	-	●	●	●	●	●	4653/...-60°	
6	40	3,00	-	●	●	●	●	●	4663/...-60°	
4	50	6,00	●	●	●	●	●	●		360406/...-60°
6	50	6,00	●	●	●	●	●	●		360606/...-60°
8	56	6,00	●	●	●	●	●	●		360806/...-60°
10	57	6,00	●	●	●	●	●	●		361006/...-60°
12	60	6,00	●	●	●	●	●	●		361206/...-60°
16	64	6,00	●	●	●	●	●	●		361606/...-60°
20	68	6,00	●	●	●	●	●	●		362006/...-60°
20	68	8,00	●	●	●	●	●	●		362008/...-60°

... Zahnung immer mit angeben (zum Beispiel: 2015/4)
 ... Please always indicate cut type (example: 2015/4)



- Geometria da aresta de corte, tipo 5.

A utilização de revestimento superficial de TiAlN aplicado por PVD permite aumentar a resistência da fresa assim como a sua dureza a temperaturas elevadas (figura 34). O revestimento consiste numa deposição superficial de alumina (Al₂O₃) ou óxido de alumina, que é continuamente reposta desde que exista uma elevada temperatura de funcionamento (BRYCOAT, 2017).




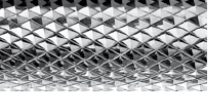


Description	Coating Class	Composition	Coating Structure	Micro Hardness HV 0,05	Maximum application temperature °C	Friction coefficient against steel	Coating Thickness (µm)	
A	Cer-T	Supernitride	TiAlN	Monolayer	3500	900	0,4	2-4

Figura 34 – Revestimento superficial CER-T (CERIN, 2017)

De acordo com a informação técnica disponibilizada no catálogo (CERIN, 2016), e apresentada na figura 35, a velocidade de trabalho de uma fresa de diâmetro de cone 5 mm em aços de

dureza até 66 HRC, é de 2000 rpm, com uma velocidade linear de corte máxima de 31 metros por minuto.

Cutting speeds (approximative values) for Cerin rotary burs

Werkstoff Material	VHM V _c (m/min)	Cer-T V _c (m/min)	Zahnung Cut type	
< 400 N/mm ² < 705 N/mm ²	800 - 1000 600 - 800	800 - 1000 800 - 1000	Zahnung 1 Cut type 1	 ①
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			
< 400 N/mm ² < 850 N/mm ²	650 - 800 500 - 650	650 - 1000 600 - 800	Zahnung 2 Cut type 2	 ②
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			
< 705 N/mm ² < 1125 N/mm ² < 46 HRC	500 - 650 400 - 500 200 - 450	600 - 800 400 - 600 300 - 500	Zahnung 3 Cut type 3	 ③
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			
< 850 N/mm ² < 1125 N/mm ² < 46 HRC < 418 HB	450 - 650 350 - 500 250 - 350 200 - 350	500 - 750 400 - 600 250 - 500 300 - 450	Zahnung 4 Cut type 4	 ④
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			
< 1125 N/mm ² < 1450 N/mm ² < 2050 N/mm ² < 66HRC	350 - 600 250 - 300 150 - 250 150 - 300	400 - 600 250 - 400 150 - 300 200 - 400	Zahnung 5 Cut type 5	 ⑤
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			
< 705 N/mm ² < 1125 N/mm ² < 46 HRC	500 - 650 300 - 500 200 - 450	600 - 800 400 - 600 300 - 500	Zahnung 6 Cut type 6	 ⑥
Titan Titanlegierungen	max n = 2000 (min ⁻¹)			

* Achtung! Titan und Titanlegierungen max. n = 2000 (min⁻¹) * Attention! Titanium and Titanium alloys max. n = 2000 (min⁻¹)

**Schnittgeschwindigkeiten V_c (m/min) - Drehzahlen n (min⁻¹)
Cutting speeds V_c (m/min) - Revolution per minute n (min⁻¹)**

Berechnungsformeln: Schnittgeschwindigkeit V _c (m/min) - Drehzahl n (min ⁻¹) Formula: cutting speed V _c (m/min) - Revolution per minute n (min ⁻¹)	
$V_c \text{ (m/min)} = \frac{\varnothing D_c \text{ (mm)} \times n \text{ (min}^{-1}\text{)}}{1000}$	$n \text{ (min}^{-1}\text{)} = \frac{V_c \text{ (m/min)} \times 1000}{\varnothing D_c \text{ (mm)} \times 3,14}$

V _c (m/min)	D _c (mm)									
	2,35	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00
	Drehzahl n (min ⁻¹) / Revolution per minute n (min ⁻¹)									
100	13550	10616	7962	6369	5308	3981	3185	2654	1990	1592
150	20325	15924	11943	9554	7962	5971	4777	3981	2986	2389
200	27100	21231	15924	12739	10616	7962	6369	5308	3981	3185
250	33875	26539	19904	15924	13270	9952	7962	6635	4976	3981
300	40650	31847	23885	19108	15924	11943	9554	7962	5971	4777
350	47425	37155	27866	22293	18577	13933	11146	9289	6967	5573
400	54201	42463	31847	25478	21231	15924	12739	10616	7962	6369
500	67751	53079	39809	31847	26539	19904	15924	13270	9952	7962
600	81301	63694	47771	38217	31847	23885	19108	15924	11943	9554
700	94851	74310	55732	44586	37155	27866	22293	18577	13933	11146
800	108401	84926	63694	50955	42463	31847	25478	21231	15924	12739
900	121951	95541	71656	57325	47771	35828	28662	23885	17914	14331
1000	135501	106157	79618	63694	53079	39809	31847	26539	19904	15924

* Achtung! Titan und Titanlegierungen max. n = 2000 (min⁻¹) * Attention! Titanium and Titanium alloys max. n = 2000 (min⁻¹)

Figura 35 – Velocidades de corte para a fresa Cerin (CERIN, 2017)

A informação presente na figura 35 pode ser validada a partir da seguinte fórmula:

$$V_c = \frac{D_c \times \pi \times n}{1000} \tag{2}$$

Onde se verifica que, para:

D_c = 5 mm = Diâmetro do cone da fresa

$n = 2000 \text{ rpm} = \text{Rotação da fresa}$

Obtém-se: $V_c = 31 \text{ m/min} = \text{Velocidade de avanço da ferramenta.}$

3.4.3 Motor da fresa

Com as características do material e das condições de funcionamento da fresa definidas, importa agora definir a potência motora necessária ao seu acionamento. As fórmulas aplicadas nos cálculos seguintes são as tabeladas e utilizadas para uma fresa cilíndrica e não cónica, pelo que, ao retirar apenas metade do material, consideram-se todos os valores corrigidos por um fator de segurança aproximado a 2 (figura 36).

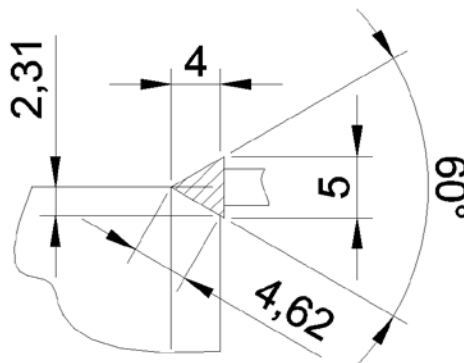


Figura 36 – Esquema das dimensões gerais do chanfro realizado numa largura de 4 mm e a utilizar para cálculo (elaboração própria)

De acordo com a informação disponibilizada pela Mitsubishi (Mitsubishi Carbide, 2016), a potência de corte é obtida por:

$$P_c = \frac{ap \times ae \times vf \times Kc}{60 \times 10^6 \times \eta} \quad (3)$$

Onde:

P_c - Potência de corte [kW]

ap - Profundidade do corte [mm]

ae - Largura de material a remover [mm]

vf - Velocidade linear da fresa [mm/min]

K_c - Força de corte específica [MPa]

H - Eficiência do equipamento

Considerando:

$ap = 2,31 \text{ mm}$ (para o caso limite de um chanfro de 4 mm com ângulo de 30°)

$ae = 4,62 \text{ mm}$ (para a largura da fresa em contacto com o material)

$vf = 1500$ mm/min (apesar da fresa permitir 31 m/min, considera-se apenas 1,5 m/min de velocidade máxima, dado que esta velocidade já permite realizar o chanfro do maior perfil previsto em apenas alguns segundos)

$\eta = 80\%$, coeficiente da eficiência do equipamento, estimado para um motor de escovas (Delta Line, 2016).

Para consultar o valor de K_c , é necessário definir o avanço por dente f_z .

$$f_z = \frac{vf}{z \times n} \quad (4)$$

$z = 20$ (nº de dentes estimado, informação não presente em catálogo)

$n = 2000$ rpm

$f_z = 0,01$ mm/dente

A combinação entre o material mais duro e o avanço por dente tabelado mais próximo ao da aplicação (0,1 mm/dente) aponta para $K_c = 3000$ (figura 37), sendo este o valor usado para cálculo da potência.

● K_c

Work Material	Tensile Strength (MPa) and Hardness	Specific Cutting Force K_c (MPa)				
		0.1mm/tooth	0.2mm/tooth	0.3mm/tooth	0.4mm/tooth	0.6mm/tooth
Mild Steel	520	2200	1950	1820	1700	1580
Medium Steel	620	1980	1800	1730	1600	1570
Hard Steel	720	2520	2200	2040	1850	1740
Tool Steel	670	1980	1800	1730	1700	1600
Tool Steel	770	2030	1800	1750	1700	1580
Chrome Manganese Steel	770	2300	2000	1880	1750	1660
Chrome Manganese Steel	630	2750	2300	2060	1800	1780
Chrome Molybdenum Steel	730	2540	2250	2140	2000	1800
Chrome Molybdenum Steel	600	2180	2000	1860	1800	1670
Nickel Chrome Molybdenum Steel	940	2000	1800	1680	1600	1500
Nickel Chrome Molybdenum Steel	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
Austenitic Stainless Steel	155HB	2030	1970	1900	1770	1710
Cast Iron	520	2800	2500	2320	2200	2040
Hard Cast Iron	46HRC	3000	2700	2500	2400	2200
Meehanite Cast Iron	360	2180	2000	1750	1600	1470

Figura 37 – Tabela de força de corte K_c específica, catálogo da Mitsubishi Carbide (Mitsubishi Carbide, 2016)

Assim, a potência requerida, de acordo com a expressão 3, é de:

$$P_c = \frac{2,31 \times 4,62 \times 1500 \times 3000}{60 \times 10^6 \times 0,8} = 1,0 \text{ kW}$$

De forma a corresponder a esta potência selecionou-se o modelo 1050 FME-P da Kress, apresentado na figura 38 (KRESS, 2017).



Figura 38 – Motor Kress 1050FME-P de 1,05 kW (KRESS, 2017)

3.4.4 Guias dos eixos XX' e YY'

A função “guiamento” garante que o movimento ao longo do eixo seja realizado de forma precisa, absorvendo cargas e momentos decorrentes da operação de suporte da ferramenta e de arranque de apara.

No seguimento do pressuposto inicial de utilizar produtos existentes na empresa, estão disponíveis para utilização as seguintes alternativas de guiamentos baseados em tecnologia de deslizamento com atrito ou rolamento sem escorregamento.

Deslizamento Com Atrito

Realiza-se através de contacto com fricção entre duas superfícies, eventualmente separadas por uma película de lubrificante. Este tipo de movimento é normalmente realizado recorrendo-se a patins, casquilhos de bronze ou polímeros técnicos (PA, PTFE ou outros) que deslizam sobre um guiamento de aço ou alumínio.

Neste caso está disponível na REIMAN uma solução da ACCURIDE, a referência DFG 115 (figura 39).



Figura 39 - DFG 115, Guia de deslizamento com escorregamento fabricada pela ACCURIDE (Accuride, 2017)

Entre as características principais desta solução destacam-se (Accuride, 2017):

- Dimensões em concordância com a norma ISO 12090 (ISO, 2018);
- Compatibilidade RoHS;
- Reduzido peso dos componentes;
- Utilização de alumínio série 6000;
- Elevada resistência à corrosão e detritos;
- Capacidade de carga até 500 N por cursor;

- Média precisão mediante ajuste de pré-carga;
- Elevada tolerância de montagem;
- Possibilidade de curso indefinido;
- Gama de temperaturas de -40 °C a 90 °C;
- Velocidade máxima recomendada 2 m/s;
- Não requer lubrificação.

Rolamento Sem Escorregamento

Considera-se rolamento sem escorregamento quando os elementos rolantes estão sujeitos a uma força de atrito estático que atua entre estes e os pontos de contacto com a guia e patim, impedindo o seu escorregamento. Este tipo de movimento caracteriza-se pela eliminação de fenómenos de *stick-slip*, promovendo um movimento suave e eficiente dado que a resistência ao mesmo é aproximadamente 20 a 40 vezes inferior aos sistemas de guiamento com atrito. A potência de acionamento e o aquecimento decorrente de funcionamento intenso e a alta velocidade é também reduzida (PMI - AMT, 2018).

A REIMAN disponibiliza várias soluções para este tipo de movimento, como se descreve de seguida:

ACCURIDE 0115 RC – Cursor de recirculação de esferas (figura 40) (Accuride, 2017)



Figura 40 – Guiamento linear ACCURIDE 0115 (Accuride, 2017)

Solução para guiamento de baixo custo e precisão, adequada principalmente para portas e blindagens (figura 40), as suas principais características são (Accuride, 2017):

- Atravancamento muito reduzido (1 modelo);
- Capacidade de carga até 500 N por cursor;
- Guia em Alumínio e cursor em Aço Inox e PA;
- Resistência à corrosão;

- Baixa precisão;
- Elevada tolerância de montagem;
- Possibilidade de curso indefinido;
- Não requer lubrificação.

ROLLON X-Rail (guia em chapa perfilada) – Cursor de roletes excêntricos (figura 41) (ROLLON, 2017)



Figura 41 – Rollon X - Rail Sistema de guiamento por roletes com ajuste de pré-carga (ROLLON, 2017)

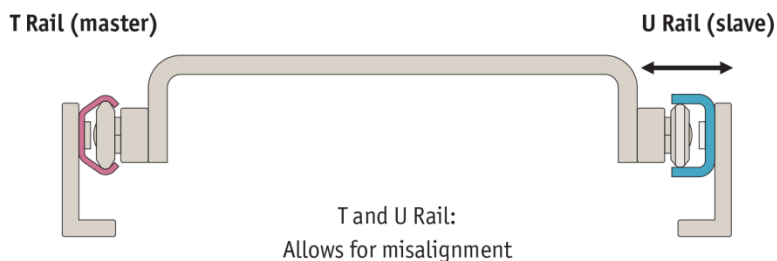


Figura 42 – Rollon X - Rail montagem típica para compensação de desalinhamento da estrutura (ROLLON, 2017)

Solução de guiamento de baixo custo com guias em chapa perfilada e adequada principalmente para utilização em ambiente com detritos, uma vez que os roletes são blindados e previnem a entrada de resíduos para o seu interior (figura 41). As suas principais características são (ROLLON, 2017):

- Atravancamento reduzido (3 modelos);
- Capacidade de carga de 300 N até 1740 N por cursor;
- Guia e cursores disponíveis em aço zincado ou inox;
- Elevada resistência à corrosão e detritos;
- Média precisão;
- Compensação de desvios de paralelismo (guias T+U, figura 42);

- Elevada tolerância de montagem;
- Pré-carga ajustável através da utilização de roletes excêntricos;
- Possibilidade de curso indefinido;
- Roletes lubrificados para a vida;
- Gama de temperaturas de -30°C a 120°C .

ROLLON Compact Rail (guia retificada em aço) – Cursor de roletes excêntricos (figura 43)
(ROLLON, 2017)



Figura 43 – Rollon Compact Rail, patim e guia tipo “T” (ROLLON, 2017)

Guiamento de elevada precisão com guias em perfil de aço com pistas retificadas e patins de várias configurações de roletes para uma elevada capacidade de carga. São adequados para utilização em ambiente com detritos uma vez que os roletes são blindados (figura 43), destacando-se ainda as seguintes características (ROLLON, 2017):

- Atravancamento reduzido (5 modelos);
- Capacidade de carga de 820 N até 13745 N por cursor;
- Velocidades até 9 m/s;
- Aceleração máxima de 20 m/s^2 ;
- Guia e patins em aço;
- Elevada resistência à corrosão e detritos;
- Precisão elevada;
- Compensação de desvios de paralelismo (guias T+U, montagem igual à figura 42);
- Elevada tolerância de montagem;
- Pré-carga ajustável por roletes excêntricos;
- Possibilidade de curso indefinido;
- Roletes lubrificados para a vida;
- Gama de temperaturas de -30°C a 120°C .

ROLLON Easyslide – Guiamento de gaiola de esferas (figura 44) (ROLLON, 2017)



Figura 44 - Rollon Easyslide guiamento de gaiola de esferas (ROLLON, 2017)

Esta solução de guiamento utiliza uma gaiola exterior de esferas numa guia de aço com pistas retificadas que permite uma elevada capacidade de carga com cursores de grandes dimensões (figura 44), destacando-se ainda as seguintes propriedades:

- Atravancamento reduzido (5 modelos);
- Capacidade de carga de 1320 N até 26000 N por cursor;
- Velocidades até 1,5 m/s;
- Guia e cursores em aço de rolamentos;
- Precisão de 0,1 mm/curso;
- 2 graus de pré-carga disponíveis;
- Proteção anticorrosiva por eletrozincagem;
- Gama de temperaturas de -30° C a 170° C;
- Requer lubrificação periódica;
- Média tolerância a detritos (esferas de grande dimensão);
- Execução especial SNK no tamanho 43 com patim de recirculação de esferas.

Veio Retificado e Rolamento Linear (figura 45) (NIPON KODDO, 2017)

(Para obter guiamento retilíneo obriga a 2 guias por eixo)



Figura 45 - Guiamento de veio retificado e rolamento linear (NIPON KODDO, 2017)

Nos guiamentos de veio retificado, para obter um guiamento linear, é necessário recorrer a 2 sistemas paralelos dado que os rolamentos podem deslizar radialmente. A sua elevada gama de acessórios permite várias configurações de montagem nomeadamente através de bases de suporte nos extremos ou longitudinalmente, existindo ainda a possibilidade de utilizar veios de aço cromado ou inoxidável (figura 45). As suas principais características são:

- Ampla gama de produtos (12 tamanhos);

- Diversas configurações de montagem;
- Capacidade de carga de 265 N até 9800 N por rolamento;
- Elevada rigidez;
- Montagem precisa;
- Guia e cursores em aço de rolamentos;
- Gama de temperaturas de -20° C a 120° C;
- Requer lubrificação periódica;
- Reduzida tolerância a detritos;
- Reduzida tolerância a ambientes agressivos.

Guiamento por guia e patim de recirculação de esferas (figura 46) (PMI - AMT, 2018)



Figura 46 – Guiamento linear de patim de recirculação de esferas (PMI - AMT, 2018)

Esta solução de guiamento, pelas suas características de elevada precisão e facilidade de cálculo tem ganho a preferência dos construtores de equipamentos industriais em detrimento dos convencionais guiamentos por deslizamento (figura 46), destacando-se ainda as seguintes características:

- Ampla gama de produtos (12 tamanhos);
- Capacidade de carga de 940 N até 375 900 N por cursor;
- Guia e cursores em aço e aço inox (miniatura);
- Elevada rigidez, precisão e repetibilidade;
- Velocidades até 5 m/s;
- Acelerações até 20 m/s²;
- 5 classes de precisão;
- Precisão até 0,002 mm/m;
- 3 graus de pré-carga disponíveis;
- Gama normal de temperaturas até 100 °C;
- Requer lubrificação periódica;
- Reduzida tolerância a ambientes agressivos (passível de tratamento anticorrosivo);
- Reduzida tolerância de montagem;
- Auto alinhamento;
- Série silenciosa e miniatura.

Guiamento por guia e patim de recirculação de rolos (figura 47) (PMI - AMT, 2018)



Figura 47 – Guiamento linear de patim de recirculação de rolos (PMI - AMT, 2018)

Esta série complementa a solução anterior, sendo que a utilização de rolos permitem-lhe disponibilizar maior capacidade de carga e rigidez (figura 47), de notar que as dimensões são normalizadas e compatíveis com a série de esferas, sendo ainda definidas pelas características seguintes:

- Ampla gama de produtos (6 tamanhos);
- Capacidade de carga de 63 800 N até 624 000 N por cursor;
- Guia e cursores em aço;
- Superior rigidez, precisão e repetibilidade
- Velocidades até 3 m/s;
- Acelerações até 30 m/s²;
- 5 classes de precisão;
- Precisão até 0,002 mm/m;
- 3 pré-cargas disponíveis;
- Gama normal de temperaturas até 100 °C;
- Requer lubrificação periódica;
- Reduzida tolerância a ambientes agressivos;
- Reduzida tolerância de montagem;
- Auto alinhamento;
- Série silenciosa.

3.4.5 Critérios de seleção para o guiamento

Considera-se que a aplicação em causa requer uma solução que corresponda aos seguintes requisitos:

- Precisão mínima de 0,1 mm num deslocamento de 200 mm;
- Velocidade linear máxima de 1,5 m/minuto (0,025 m/s);
- Elevada rigidez e capacidade de carga, de forma a absorver as cargas da operação de arranque de apara;
- Resistência a um ambiente com projeção de limalhas;
- Temperatura ambiente normal de aproximadamente 23 °C;
- Ambiente industrial, sem poeiras, líquidos ou químicos agressivos e com possibilidade de utilizar lubrificação.

Foi realizado o seguinte quadro de seleção baseado na informação técnica dos catálogos respectivos (tabela 8):

Tabela 8 – Comparativo de soluções de guiamento

Gama	Precisão linear	Velocidade	Temperatura	Pré-carga	Ambiente
DFG 115	± 0,75 mm (folgas)	2 m/s	-10 a 90 °C	Ajustável	+++++
0115 RC	-- (n.d.)	-- (n.d.)	-17 a 70 °C	Não (folga)	++
X-Rail	-- (n.d.)	1,5 m/s	-30 a 120 °C	Ajustável	++++
Compact Rail	90 µm/m	9 m/s	-30 a 120 °C	Ajustável	++++
Easyslide	110 µm/m	0,8 m/s	-30 a 170 °C	Sim	++
Veio e Rolamento linear	Até 6 µm/m	1 m/s	-20 a 120 °C	Sim (ajustável)	+++
Patim de recirculação de esferas	20 µm/m (N) 2 µm/m(UP)	4 m/s	-20 a 80 °C (120 °C c/ topos metálicos)	Sim (Ligeira, Media, Elevada)	++++
Patim de recirculação de rolos	20 µm/m (N) 2 µm/m(UP)	3 m/s	-20 a 80 °C (120 °C c/ topos metálicos)	Sim (Ligeira, Media, Elevada)	++++

Considerando estes critérios, selecionaram-se guiamentos lineares de esferas tipo MSA da PMI. Esta solução disponibiliza elevada capacidade de carga, mesmo nos tamanhos mais compactos, com elevada precisão, permitindo ainda selecionar os vedantes mais adequados às condições ambientais enunciadas.

3.4.6 Acionamento dos eixos XX e YY

A função “acionamento” pode ser dividida em:

- Motorização;
- Transmissão de potência.

Nesta fase a análise será direcionada para a transmissão de potência dado que a seleção da motorização está diretamente relacionada com a eficiência global do guiamento e da solução de transmissão de potência selecionadas.

As soluções de transmissão de potência disponíveis na REIMAN incluem:

Transmissão por polias e correia dentada (figura 48) (Chiaravalli, 2017)

A transmissão por polias e correia dentada poderá ser vista na Figura 48.



Figura 48 – Chiaravalli, Catálogo de correias Gates (Chiaravalli, 2017)

- Utilizada principalmente em impressoras, sistemas de transporte e manuseamento;
- As correias dentadas não estão sujeitas a fenômenos de escorregamento;
- As correias de reforços metálicos permitem maior rigidez, estando no entanto sujeitas a fenômenos de fadiga;
- São utilizadas como uma solução de reduzido custo, reduzida rigidez e baixa capacidade de carga;
- Não são adequadas para movimentos lineares de precisão (Bamberg, 2017).

Transmissão por cremalheira (figura 49) (Gambini Meccanica, 2017)

A transmissão por cremalheira poderá ser vista na Figura 49.



Figura 49 – Montagem de sistema pinhão-cremalheira e redutor (Wittenstein, 2017)

- Uma das soluções mais económicas de transformar movimento de rotação em linear;
- Possibilidade de montagem em comprimento “infinito” desde que as cremalheiras sejam fixas a uma base rígida;
- Dificuldade em obter uma relação de transmissão ótima, recorrendo-se frequentemente a caixas redutoras (de *backlash* reduzido);

- Existe uma folga de funcionamento entre o pinhão e a cremalheira, que obriga a montagem de mecanismos de compensação (caixa redutora de elevada precisão com pinhão duplo ou utilização de um pinhão bi-partido, *anti-backlash*);
- A utilização de cremalheira helicoidal, apesar de mais silenciosa e de permitir maior transmissão de potência, origina forças axiais que têm de ser absorvidas pelo redutor ou suportes adicionais (Bamberg, 2017).

Transmissão por fuso trapezoidal (figura 50) (CONTIGROUP, 2017)

A transmissão por fuso trapezoidal poderá ser vista na Figura 50.

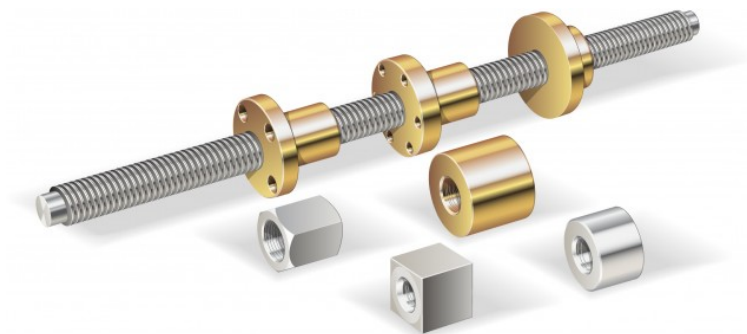


Figura 50 – Fuso trapezoidal e fêmeas em bronze e aço (ABBSSAC, 2017)

- A utilização de parafusos como forma de transformar rotação em movimento linear é das mais antigas (Bamberg, 2017);
- Possibilidade de várias classes de precisão e materiais (CONTIGROUP, 2017);
- Sistemas irreversíveis em função do ângulo da hélice (Budynas, et al., 2009);
- O atrito de funcionamento exige lubrificação permanente (Bamberg, 2017);
- Não é recomendado para movimentos frequentes dado o aquecimento provocado pelo atrito;
- Um fator de serviço de 100% pode obrigar a sobredimensionar o sistema numa razão de 5 (UNIMEC, 2017).

Transmissão por fuso de esferas (figura 51) (PMI - AMT, 2018)

A transmissão por fuso de esferas poderá ser vista na Figura 51.



Figura 51 – Fuso e fêmea de esferas (PMI - AMT, 2018)

- É o sistema mais utilizado em equipamentos de precisão;
- Facilmente atingem repetibilidade na ordem de 1 micrão;
- Fabricos especiais podem atingir resolução submicrométrica;
- São soluções de elevada eficiência (reversíveis) em que se utilizam recirculações de esferas para transferir a carga entre fuso e fêmea;
- A utilização de espaçadores entre as esferas (série silenciosa) reduz a capacidade de carga mas aumenta a suavidade de funcionamento e a resolução;
- Várias classes de precisão disponíveis (DIN 69051);
- Possibilidade de utilizar fêmeas com pré-carga (esferas sobredimensionadas ou fêmeas duplas) para eliminar o backlash (Bamberg, 2017) (PMI - AMT, 2018).

3.4.7 Critérios de seleção para o acionamento

Os critérios a considerar para o acionamento são os seguintes:

- Precisão mínima de 0,1 mm num deslocamento de 200 mm;
- Elevado número de ciclos de trabalho (estimado 60/hora, 8 horas/dia);
- Resistência a um ambiente com projeção de limalhas;
- Temperatura ambiente normal de aproximadamente 23 °C;
- Ambiente industrial, sem poeiras, líquidos ou químicos agressivos e com possibilidade de utilizar lubrificação;
- Solução compacta.

Baseado nestes requisitos, foi construída a tabela 9, nesta tabela comparativa não se considera a velocidade, dado que a velocidade desejada pode ser obtida em qualquer das soluções através da variação de:

- Diâmetro das polias;
- Módulo da cremalheira;
- Passo dos fusos.

De acordo com as características enunciadas, a solução escolhida é a de fuso e fêmea de esferas. A utilização de um fuso e fêmea de classe 7, de desvio máximo de 0,05 mm em cada secção aleatória de 300 mm e com folga axial máxima de 0,04 mm, vai permitir um erro de transmissão máximo de $0,05 + 0,04 \text{ mm} = 0,09 \text{ mm}$ (por eixo) em qualquer fase do processo, inclusivamente na inversão do movimento. Adicionalmente, a sua integração no equipamento é das mais simples, sendo o motor acoplado diretamente ao fuso e a resolução do sistema aumentada utilizando-se um fuso de um passo pequeno (5 mm).

Tabela 9 – Comparativo de soluções de acionamento

Acionamento	Precisão linear	Elevado		Folga	Ambiente
		nº ciclos	Temperatura		
Polias e Correia	Baixa (Bamberg, 2017)	Sim	-35 a 60 °C (Gates, 2017)	Ajustável	++
Cremalheira helicoidal	$\pm 0,035/500$ mm (M2,5 mm L=500 mm)	Sim	Não Aplicável	Ajustável	++
Fuso Trapezoidal	0,2/300 mm (classe 200)	Não (requer lubr. especial)	Até 150 °C (lub. especial)	Ajustável (fêmea dupla)	++++
Fuso Esferas (ISO 3408-3 C7)	0,050/300 mm	Sim	Até 80 °C (limitação dos vedantes)	Ajustável (pré-carga ou fêmea dupla)	++++

3.5 Forças envolvidas na operação de chanfro

Nesta secção serão avaliadas as forças e momentos criados pela operação de chanfro.

Para realizar este cálculo, considera-se:

- Velocidade máxima: definida anteriormente como 1,5 m/minuto (0,025 m/s);
- Aceleração máxima: é razoável que o sistema demore 1 s a atingir a velocidade nominal, resultante numa aceleração de 0,025 m/s²;
- Curso: considera-se 150 mm de curso máximo por eixo;
- Repetibilidade: dado que a operação é apenas de chanfro, é aceitável que a repetibilidade seja de 0,1 mm;
- Precisão: $\pm 0,09$ mm;
- Instalação: frontal (*Wall*);
- Tempo de ciclo: 30 segundos;
- Tempo de vida previsto: 20 000 h (10 anos, 240 dias/ano a 8 horas/dia);
- Ambiente: com limalhas, lubrificação normal, patins com vedantes SS;
- 2 patins: MSA 20 LS SS FC N;
- 1 fuso de esferas: R16 05K4 FSCDIN (dimensionalmente coerente).

Para calcular as forças e momentos no eixo XX' utiliza-se a definição de força de avanço, presente em Giek (Giek, 1996) que recorre à fórmula de cálculo da força de corte existente na fresa, expressão igualmente referida de forma simplificada por Klocke (Klocke, 2016). A figura

52 apresenta um esquema do ângulo de incidência da fresa para um chanfro de 4 mm com uma fresa de diâmetro 4,62 mm.

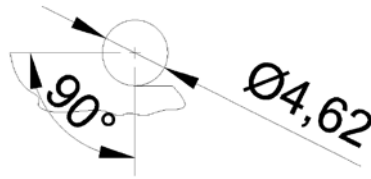


Figura 52 – Exemplo do ângulo de incidência da fresa no caso crítico de largura de chanfro de 4 mm (elaboração própria)

$$F_v = 0,2 \times F_c \quad (5)$$

$$F_c = K_c \times b \times h^{1-mc} \quad (6)$$

$$h = \frac{2 \times ap}{D \times \varphi_s} Z_e \quad (7)$$

$$Z_e = \frac{\varphi_s \times Z_s}{360^\circ} \quad (8)$$

Em que:

$F_v = 302,02$ N = Força de avanço

$F_c = 1510,08$ N = Força de corte

$K_c = 3000$ = força específica de corte retirada da tabela da figura 37 e utilizada no cálculo da potência do motor da fresa

$b = 4,62$ mm largura da avara, estimada pela largura da ferramenta

$h = 0,05$ mm = espessura da avara

$ap = 2,31$ mm = altura da seção maquinada (utilizado anteriormente)

$D = 4,62$ mm = diâmetro da fresa

$\varphi_s = 90^\circ$ = ângulo de incidência da fresa no material (para desbaste de 2,31 mm na secção da fresa de 4,62 mm)

$Z_e = 5$ = número de arestas em contacto com a peça

$Z_s = 20$ = número de arestas da fresa

$1-mc = 0,74$ = Valor considerado por analogia de material sendo que o valor mais similar de $(1-mc)$ é obtido através da tabela técnica Z17 (Giek, 1996), apresentada na figura 53, para o $K_{c1.1}$ mais elevado de 2500.

(Nota: Considera-se $K_{c1.1}$ na figura 53, valor análogo a K_c da figura 37)

Valores característicos para usinagem (para torneamento longitudinal externo)				
Material	Resistência ou dureza N/mm ²	mc	$1 - mc$	$k_{c 1,1}$ N/mm ²
St 50	520	0,26	0,74	1990
St 70	720	0,30	0,70	2260
Ck 45	670	0,14	0,86	2220
Ck 60	770	0,18	0,82	2130
16 Mn Cr 5	770	0,26	0,74	2100
18 Cr Ni 6	630	0,30	0,70	2260
34 Cr Mo 4	600	0,21	0,79	2240
42 Cr Mo 4	730	0,26	0,74	2500
50 Cr V 4	600	0,26	0,74	2220
55 Ni Cr Mo V 6 recozido	940	0,24	0,76	1740
55 Ni Cr Mo V 6 melhorado	HB 352	0,24	0,76	1920
Mehanite A	360	0,26	0,74	1270
Fundição dura	HRC 46	0,19	0,81	2060
GG 26	HB 200	0,26	0,74	1160

Os valores especificados valem para torneamento com metal duro
 Velocidade de corte $v = 90 \dots 125$ m/min
 Espessura de corte h : $0,05 \text{ mm} \leq h \leq 2,5 \text{ mm}$; grau de esbeltez $\epsilon_s = 4$
 Ângulo de ataque $\gamma = 6^\circ$ para o aço e $\gamma = 2^\circ$ para o ferro fundido.

Figura 53 – Excerto da tabela Z17 relativa às constantes utilizadas no cálculo da Força de Corte (Giek, 1996)

A força de avanço F_v , tem influência na força a vencer pela motorização dos eixos e pela carga transmitida aos guiamentos, elementos representados na figura 54.

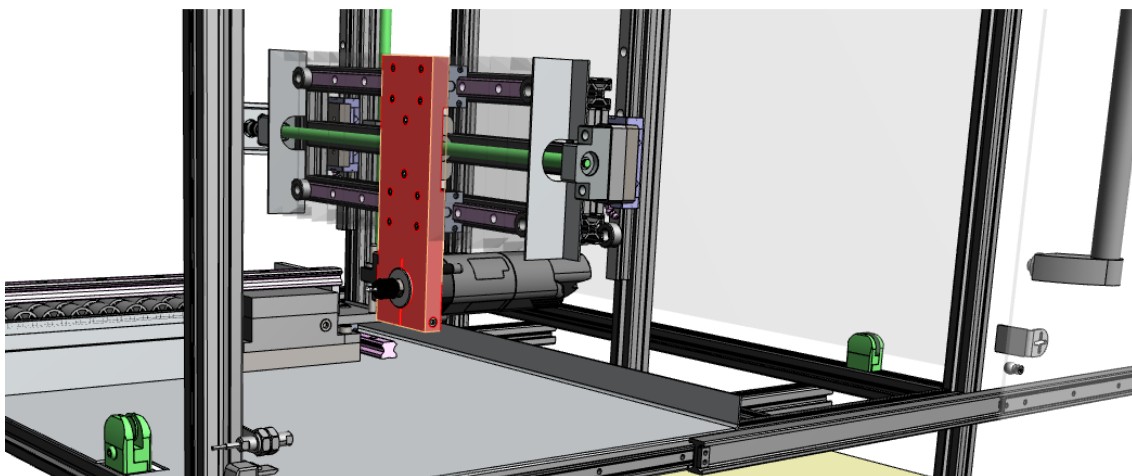
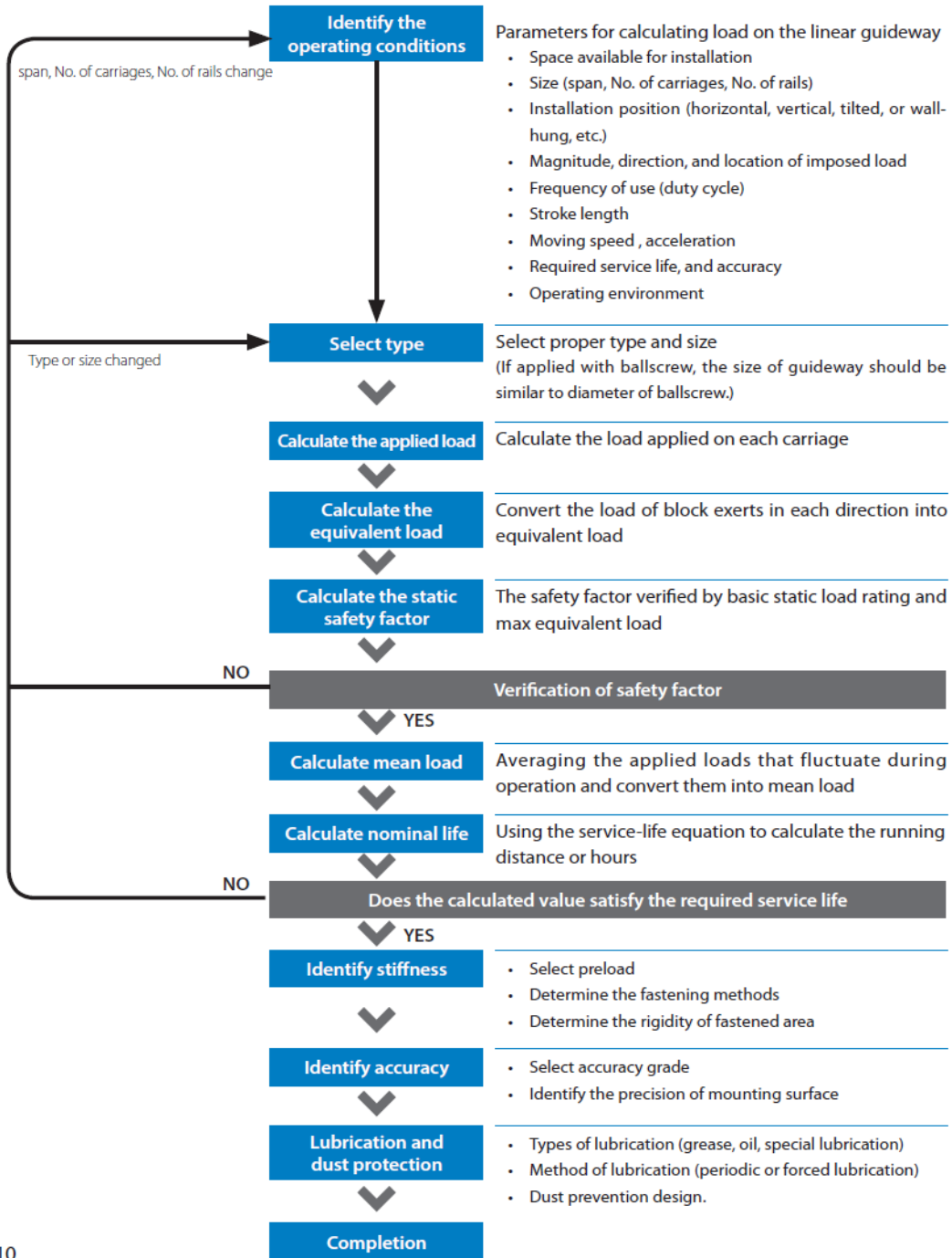


Figura 54 – Pormenor do eixo XX do equipamento em estudo (elaboração própria)

3.6 Eixo XX – Cálculo das guias lineares

O procedimento de cálculo das guias lineares está descrito no catálogo técnico da PMI (PMI - AMT, 2018) e encontra-se resumido na figura seguinte.



B10

Figura 55 – Procedimento de cálculo de guias lineares (PMI - AMT, 2018)

O projeto do eixo em validação encontra-se representado na figura 56.

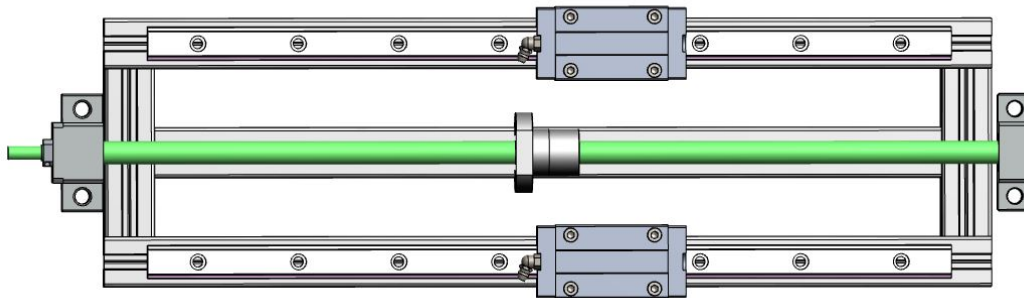


Figura 56 - Estudo do eixo XX

3.6.1 Identificação das condições operativas

As condições operativas foram já definidas em 3.5, apresentando-se seguidamente de forma resumida:

- Velocidade máxima: 1,5 m/minuto (0,025 m/s);
- Aceleração máxima: 0,025 m/s²;
- Curso: 150 mm;
- Repetibilidade: 0,1 mm;
- Precisão: 0,09 mm;
- Instalação: frontal (*wall*);
- Tempo de ciclo: 30 segundos;
- Tempo de vida previsto: 20 000 h (10 anos, 240 dias/ano a 8 horas/dia);
- Ambiente: com limalhas, lubrificação normal, patins com vedantes SS (*standard seal*).

3.6.2 Seleção do tipo / referência das guias e patins

Dado o tipo de equipamento e a sua utilização foram selecionados guias e patins da série MSA com o tamanho 20 LS (patim de bloco, longo).

3.6.3 Cálculo da carga aplicada

Seguidamente realiza-se o estudo das cargas aplicadas em cada patim no movimento vertical ascendente (caso crítico) utilizando as equações definidas no catálogo técnico da PMI (PMI - AMT, 2018) e apresentadas na figura 57.

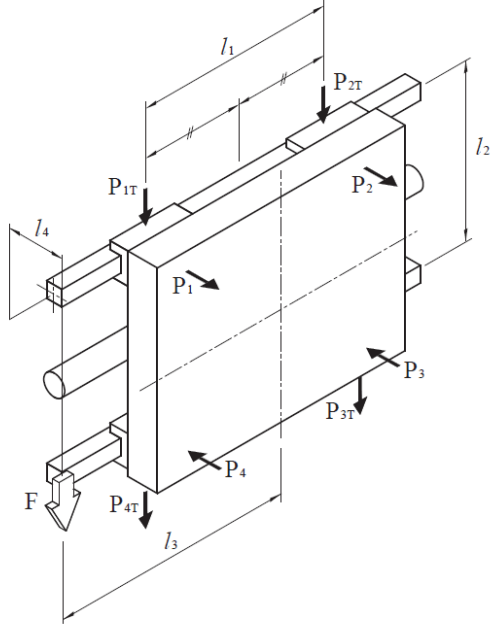
<p>Type</p>	<p>Wall installation application: Uniform motion or at rest</p>
<p>Operation Conditions</p>	
<p>Equations</p>	$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{F \cdot l_4}{2 \cdot l_2}$ $P_{1r} = P_{4r} = \frac{F}{4} + \frac{F \cdot l_3}{2 \cdot l_1}$ $P_{2r} = P_{3r} = \frac{F}{4} - \frac{F \cdot l_3}{2 \cdot l_1}$

Figura 57 – Cálculo da carga aplicada para montagem transversa (Wall) (PMI - AMT, 2018)

Considerando:

$$F = Fv + m \times g \quad (9)$$

m – massa da placa de suporte do motor + peso do kress + peso dos patins

$$m = 1,5 + 1,7 + (2 \times 0,52) \text{ kg}$$

$$Fv = 302,02 \text{ N}$$

$$F = 343,61 \text{ N}$$

$$l_4 = 75 \text{ mm}$$

$$l_2 = 130 \text{ mm}$$

Dado que a plataforma é apenas suportada por 2 patins

$$P_1 = P_4 = F \times \frac{l_4}{l_2} \quad (10)$$

$$P_1 = P_4 = 198,24 \text{ N}$$

$$P_{1t} = P_{4t} = \frac{F}{2} \quad (11)$$

$$P_{1t} = P_{4t} = 171,81 \text{ N}$$

3.6.4 Cálculo da carga equivalente

Dada a configuração com 2 patins (montagem tipo *monorail* – 1 patim por guia, figura 59), o cálculo da carga equivalente deve considerar o efeito dos momentos nos patins (PMI - AMT, 2018), nos casos em que existe movimento horizontal e a força de avanço é transmitida para os patins (figura 58).

$$P_E = |P_R| + |P_T| + C_0 \cdot \frac{|M|}{M_R}$$

P_E Equivalent load (N)

P_R Radial or reverse-radial load (N)

P_T Lateral load (N)

C_0 Basic static load rating (N)

M Calculated moment (N · m)

M_R Permissible static moment (N · m)

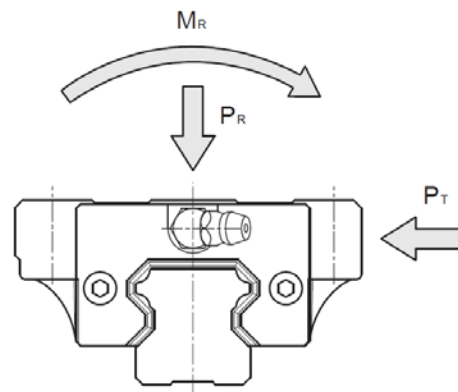


Figura 58 – Fórmula de cálculo da carga equivalente P_E de acordo com o catálogo PMI-AMT (PMI - AMT, 2018)

O momento pode ser calculado de acordo com a seguinte expressão.

$$M = l_4 \times \frac{Fv}{2} \quad (12)$$

$$M = 0,075 \text{ m} \times 151,01 \text{ N} = 11,33 \text{ Nm}$$

Obtendo-se em cada patim:

$$P_R = P_1 = P_4 = 198,24 \text{ N}$$

$$P_T = P_{1t} = P_{4t} = 171,81 \text{ N}$$

$$C_0 = 39\,300,00 \text{ N}$$

$$M = 11,33 \text{ Nm}$$

$$M_r = 380,00 \text{ Nm}$$

Em que a carga equivalente por patim é:

$$P_E = 1\,541,81 \text{ N}$$

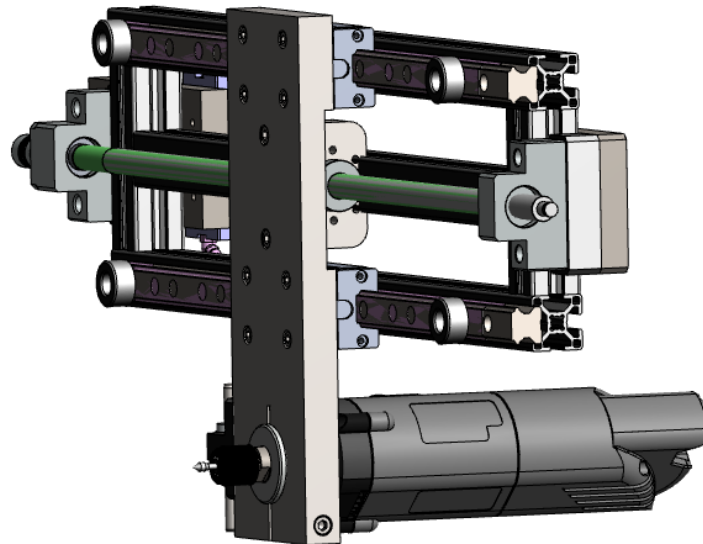


Figura 59 – Esquema de montagem do eixo XX

3.6.5 Cálculo do fator de segurança estático

Dada a possibilidade de impactos e vibrações ou ainda pela inércia de arranque e paragem, as guias lineares podem estar sujeitas a cargas excepcionais que devem ser salvaguardadas pelo coeficiente de segurança estático. O coeficiente de segurança estático refere-se à relação entre a carga estática nominal e a carga calculada e deve respeitar, para cada aplicação, o valor mínimo indicado na figura 60 e calculado pela expressão 13.

Machine Type	Load Condition	f_s (Lower limit)
Regular industrial machine	Normal loading condition	1.0 ~ 1.3
	With impact and vibration	2.0 ~ 3.0
Machine tool	Normal loading condition	1.0 ~ 1.5
	With impact and vibration	2.5 ~ 7.0

Standard value of static safety factor

Figura 60 – Valores recomendados para f_s de acordo com a aplicação (PMI - AMT, 2018)

O coeficiente de segurança estático, por patim, para esta aplicação é o seguinte:

$$f_s = \frac{C_0}{P} \quad \text{ou} \quad f_s = \frac{M_0}{M} \quad (13)$$

C_0 = carga estática nominal = 39 300,00 N

P = carga em serviço calculada = $P_r + P_t = 198,24 + 171,81 = 370,05$ N

F_s = fator de segurança estático = 106,20 (considerando forças aplicadas)

$M_0 = M_r = 380,00$ Nm = momento estático permitido

M = momento estático calculado = 11,33 Nm

$F_s = 33,54$ (considerando momentos aplicados)

Considerando o cálculo referente aos momentos aplicados, o coeficiente de segurança calculado é de 33,54, muito superior ao pior cenário tabelado, para uma máquina ferramenta com vibrações, em que o fator a considerar seria 7, como definido na figura 60.

Com a verificação do coeficiente de segurança estático, deverá ser agora calculada a carga média, tendo em vista o cálculo do tempo nominal de vida em serviço.

3.6.6 Cálculo da carga média

A carga média é o valor a considerar para cálculo da vida em serviço, em sistemas de carga variável, e calcula-se pela expressão 14.

$$P_m = \sqrt[e]{\frac{1}{L} (P_1^e \times L_1 + P_2^e \times L_2 + \dots + P_n^e \times L_n)} \quad (14)$$

Em que:

P_m - carga média (N)

P_n - cargas variáveis ($n = 1, 2, 3 \dots n$) (N)

L - distância total percorrida (mm)

L_n - distância percorrida sob ação da carga variável correspondente ($n=1, 2, 3 \dots n$) (mm)

e - índice mediante tipo de elemento rolante (esferas = 3, rolos = 10/3)

No caso do eixo XX', considerando que o ponto de ataque é realizado no ponto inferior de uma guia de tamanho 65 (caso crítico) o diagrama de cargas/movimento simplificado será o seguinte (figura 61):

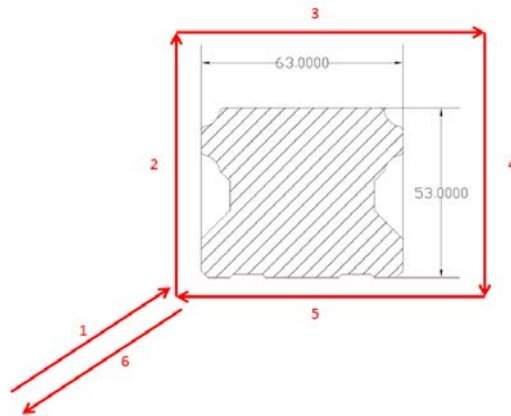


Figura 61 – Esquema simplificado de carga / movimento da fresa (elaboração própria)

- 1- Avanço até à posição de trabalho – carga a considerar $P = 370,05 \text{ N} :: 100 \text{ mm}$;
- 2- Deslocamento vertical – carga a considerar $P_E = 1\,541,81 \text{ N} :: 53 \text{ mm}$;
- 3- Deslocamento horizontal – carga a considerar $P = 370,05 \text{ N} :: 65 \text{ mm}$;
- 4- Deslocamento vertical – carga a considerar $P_E = 1\,541,81 \text{ N} :: 53 \text{ mm}$;
- 5- Deslocamento horizontal – carga a considerar $P = 370,05 \text{ N} :: 65 \text{ mm}$;
- 6- Recuo até à posição de parque – carga a considerar $P = 370,05 \text{ N} :: 100 \text{ mm}$.

Assim, a carga média P_m durante este percurso é definida pela expressão 14, considerando-se:

$e = 3$ (guias de esferas)

$L = 430 \text{ mm}$

$P_1 = 370,05 \text{ N}$

$L_1 = 100 \text{ mm}$

$P_2 = 1\,541,81 \text{ N}$

$L_2 = 53 \text{ mm}$

$P_3 = 370,05 \text{ N}$

$L_3 = 65 \text{ mm}$

$P_4 = 1\,541,81 \text{ N}$

$L_4 = 53 \text{ mm}$

$P_5 = 370,05 \text{ N}$

$L_5 = 65 \text{ mm}$

$P_6 = 370,05 \text{ N}$

$L_6 = 100 \text{ mm}$

Obtém-se o valor de carga média de:

$P_m = 980,42 \text{ N}$

3.6.7 Cálculo da vida nominal em serviço

A vida nominal de um sistema linear é calculada tendo em conta a carga real nos patins e os fatores ambientais tais como a dureza das guias, temperatura ambiente e condições relacionadas com o movimento em si.

A vida nominal prevista em km é definida pela expressão apresentada na figura 62.

Ball	$L = \left(\frac{f_H \times f_T}{f_W} \times \frac{C}{P} \right)^3 \times 50$	L Nominal life (km)
Roller	$L = \left(\frac{f_H \times f_T}{f_W} \times \frac{C}{P} \right)^{\frac{10}{3}} \times 100$	C Basic dynamic load rating (N)
		P Working load (N)
		f_H Hardness factor
		f_T Temperature factor
		f_W Load factor

Figura 62 – Expressões de cálculo de vida nominal (PMI - AMT, 2018)

O fator dureza f_h está relacionado com a dureza das guias lineares onde contactam os elementos rolantes, como se pode verificar na figura 63. No caso das guias selecionadas este fator é 1 dado que a dureza das guias é controlada no processo de fabrico e nunca é inferior a 58 HRC (PMI - AMT, 2018).

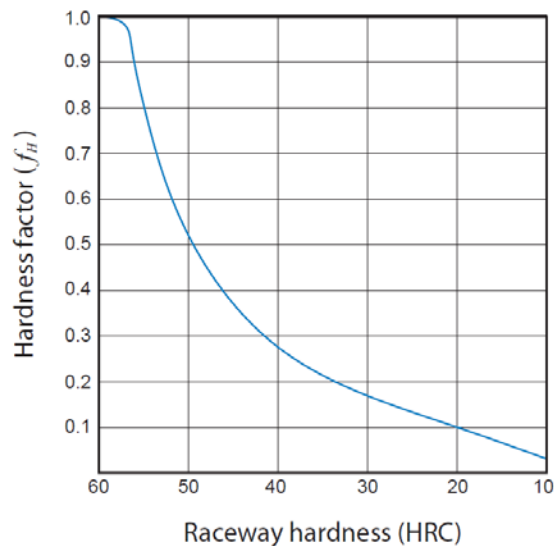


Figura 63 – Influência da dureza no cálculo da vida em serviço (PMI - AMT, 2018)

Outro fator a considerar no tempo de vida dos guiamentos lineares é a temperatura. A uma temperatura ambiente superior a 100 °C é necessário realizar correções ao tempo de vida do sistema (figura 64). Os sistemas de guiamento linear selecionados possuem componentes em plástico e vedantes em borracha. Como tal não é aconselhada a sua utilização em temperaturas superiores a 100 °C sem validação e eventual alteração de alguns componentes pelo fabricante.

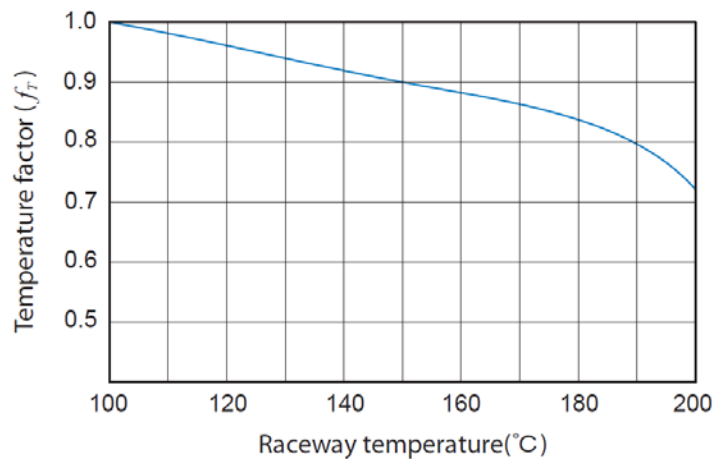


Figura 64 - Influência da temperatura ambiente na vida em serviço (PMI - AMT, 2018)

Adicionalmente o fator de carga calculado nem sempre corresponde à realidade devido às vibrações, impactos, influência de operações a elevada velocidade e inércias de aceleração e travagem, pelo que o valor de carga dinâmico deve ser corrigido, de acordo com o tipo de equipamento, pelos fatores empíricos apresentados na figura 65.

Motion Condition	Operating Speed	f_w
No impact & vibration	$V \leq 15 \text{ m/min}$	1.0~1.2
Slight impact & vibration	$15 < V \leq 60 \text{ m/min}$	1.2~1.5
Moderate impact & vibration	$60 < V \leq 120 \text{ m/min}$	1.5~2.0
Strong impact & vibration	$V \geq 120 \text{ m/min}$	2.0~3.5

Figura 65 – Tabela de correção do fator de carga (PMI - AMT, 2018)

Assim, para esta aplicação em particular tem-se um tempo de vida estimado de:

$$L = \left(\frac{f_H \times f_r}{f_w} \times \frac{C}{P} \right)^3 \times 50 \quad (15)$$

Em que:

$$f_H = 1;$$

$$f_r = 1 \text{ (tamb= 23 °C);}$$

$$f_w = 1,5 \text{ (ligeiras vibrações);}$$

$$C = 23\,300 \text{ N;}$$

$$P = P_m = 980,42 \text{ N;}$$

Obtendo-se:

$$L = 198\,850 \text{ km.}$$

O tempo de vida em horas pode agora ser obtido pela expressão 16, presente no catálogo PMI (PMI - AMT, 2018):

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60} \quad (16)$$

Em que:

L = vida nominal em serviço = 198 960 km;

l_s = curso = 0,430 m;

n_1 = número de ciclos por minuto = 2 (máximo: 2 ciclos minuto);

Obtendo-se:

L_h = vida em serviço em horas = 1 926 849 horas.

3.6.8 Definição da rigidez do sistema de guiamento

Nesta fase importa definir a rigidez/pré-carga. Esta é definida através da análise da tabela de recomendação presente no catálogo técnico. Através da análise da figura 66, pode-se considerar que a pré-carga mais indicada para este tipo de equipamento é a FC (eixos XY de equipamentos industriais simples).

Preload grade	Fitted condition	Application examples
Clearance (FZ)	<ul style="list-style-type: none"> The loading direction is fixed, vibration and impact are light, and two axes are applied in parallel. High precision is not required, and the low frictional resistance is need. 	Semiconductor facilities, medical equipment, stage systems, press machine, welding machine, industrial robot, and other small sliding systems.
Light preload (FC)	<ul style="list-style-type: none"> The loading direction is fixed, vibration and impact are light, and two axes are applied in parallel. High precision is not required, and the low frictional resistance is needed. 	Welding machine, binding machine, auto packing machine, XY axis of ordinary industrial machine, material handling equipments.
Medium preload (F0)	<ul style="list-style-type: none"> Overhang application with a moment load. Applied in one-axis configuration The need of light preload and high precision. 	Z axis of industrial machines, EDM, precision XY table, PC board drilling machine, industrial robot, NC lathe, measuring equipment, grinding machine, auto painting machine.
Heavy preload (F1)	<ul style="list-style-type: none"> Machine is subjected to vibration and impact, and high rigidity required. Application of heavy load or heavy cutting. 	Machine center, NC lathe, grinding machine, milling machine, Z axis of boring machine and machine tools.
Ultra heavy preload (F2)	<ul style="list-style-type: none"> Machine is subjected to vibration and impact, and high rigidity required. Application of heavy load or heavy cutting. 	Machine center, NC lathe, grinding machine, milling machine, Z axis of boring machine and machine tools.

Figura 66 – Condições de seleção de pré-carga (PMI - AMT, 2018)

3.6.9 Definição da precisão

Foi definido anteriormente que a precisão “N” seria suficiente para a aplicação. No entanto, esta seleção pode também ser validada na figura 67, considerando-se esta aplicação como um robô de coordenadas cartesianas.

Sort	Application	Accuracy Grade					Sort	Application	Accuracy Grade				
		N	H	P	SP	UP			N	H	P	SP	UP
Machine Tool	Machining center			•	•		Industrial Robot	Cartesian coordinate robot	•	•	•		
	Lathe			•	•			Cylindrical coordinate robot	•	•			
	Milling machine			•	•		Semiconductor Manufacturing	Wire bonder			•	•	
	Boring machine			•	•			Prober				•	•
	Jig borer				•	•		Electronic-component inserter		•	•		
	Grinding machine				•	•		Printed-circuit-board drilling machine		•	•	•	
	Electric discharge machine			•	•	•	Others	Injection-molding machine	•	•			
	Punching press		•	•				3D measuring instrument				•	•
	Laser-beam machine		•	•	•			Office equipment	•	•			
	Woodworking machine	•	•	•				Transfer equipment	•	•			
	NC drilling machine		•	•				XY table		•	•	•	
	Tapping center		•	•				Painting machine	•	•			
	Pallet changer	•						Welding machine	•	•			
	ATC	•						Medical equipment	•	•			
	Wire cutter			•	•			Digitizer		•	•	•	
	Dresser				•	•		Inspection equipment			•	•	•

Figura 67 – Graus de precisão de guias para várias tipologias de equipamento (PMI - AMT, 2018)

3.6.10 Proteção contra entrada de resíduos e lubrificação

Dada a aplicação, a inexistência de poeiras finas ou limalhas a altas temperaturas e ainda a existência de foles de proteção, os vedantes a aplicar são os SS, fornecidos de série, que compreendem os vedantes de topo e o vedante inferior. A figura 68 representa as várias possibilidades de vedantes passíveis de serem utilizados nos patins da série MAS e a figura 69 a opção selecionada.

Uma lubrificação adequada é imprescindível para a garantia de correto funcionamento do sistema ao longo do tempo. No caso de uma lubrificação insuficiente, a fricção nas zonas de contacto dos elementos rolantes aumenta e, conseqüentemente, a vida em serviço será diminuída devido ao desgaste prematuro dos elementos. A lubrificação pode ser realizada por massa ou óleo lubrificante e pode ainda ser manual ou automática, sendo que a seleção do tipo e método de lubrificação está sempre dependente da aplicação, nomeadamente no que concerne ao ambiente da instalação e velocidade do sistema. Em condições normais de ambiente e velocidade, quando se recorre a lubrificação por massa, o intervalo de lubrificação

é de 100 km com massa lubrificante de lítio para utilização geral de classificação NLGI 2 (Penriteoil, 2018). A quantidade de massa a utilizar para patins MSA20L é de 1 cm³ (PMI - AMT, 2018). Na lubrificação por óleo, esta deve cumprir um caudal de alimentação de 0,2 cm³/hora com óleo lubrificante de viscosidade 30 a 150 cSt (PMI - AMT, 2018).

Code	Contamination Protection
no symbol	Scraper(both ends)
UU	Bidirectional end seal(both ends)
SS	Bidirectional end seal+Bottom seal
ZZ	SS+Scraper
DD	Double bidirectional end seal+Bottom seal
KK	DD+Scraper
LL	Low frictional end seal
RR	LL+Bottom seal
HD	high dust end seal +high dust inner and bottom seal (supply MSA15~35 , MSB15~20)

Figura 68 – Opções de vedantes disponíveis na série MSA e MSB da PMI (PMI - AMT, 2018)

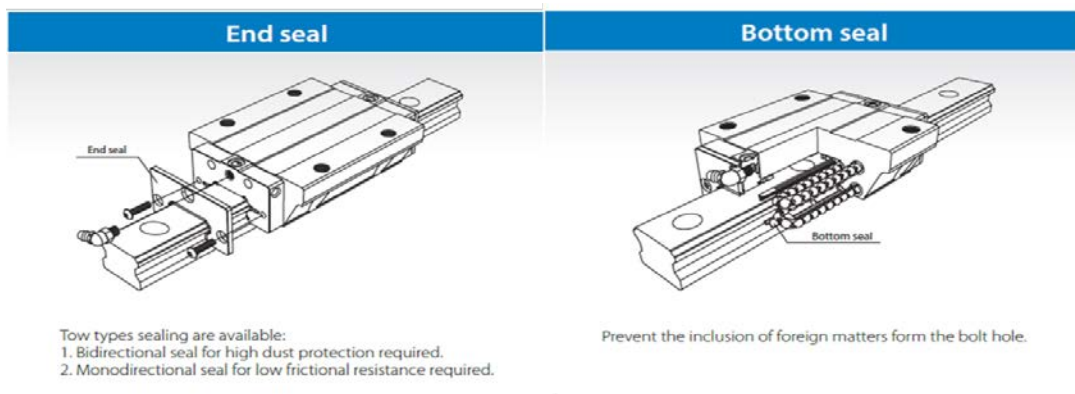


Figura 69 - Vedantes utilizados na configuração SS selecionada. (PMI - AMT, 2018)

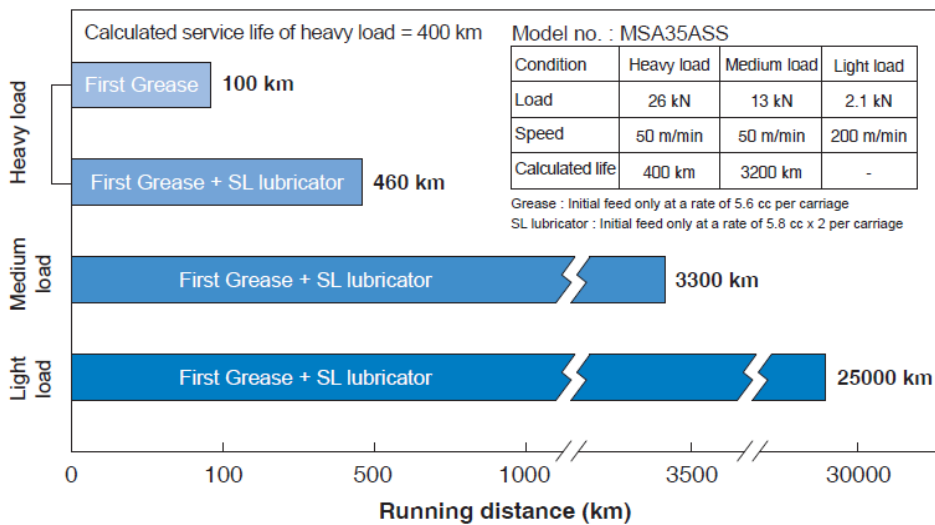


Figura 70 - Exemplo da distância percorrida ao utilizar o reservatório de lubrificante SL (PMI - AMT, 2018)

Existem acessórios de lubrificação para aplicações onde a instalação de um sistema de lubrificação pode ser mais complexa, como é o caso do reservatório SL da PMI, que garante uma lubrificação adequada durante um longo período de tempo, por vezes equivalente ao tempo de vida do equipamento, como se pode verificar na figura 70.

Na figura 71 apresenta-se uma imagem de um patim que não foi corretamente lubrificado e que teve uma falha em serviço, neste caso a destruição de um dos circuitos de recirculação.



Figura 71 – Exemplo de patim destruído pela ausência de lubrificação adequada (REIMAN, 2017)

No caso do equipamento em estudo, dadas as condições operativas, seria possível obter uma lubrificação adequada utilizando massa lubrificante em intervalos de 100 km, que correspondem sensivelmente a uma manutenção anual (0,42 m/ciclo; 2 ciclos/minuto; 8 horas/dia, sensivelmente 240 dias para realizar 100 km).

3.6.11 Conclusão

No final desta secção apresenta-se a validação de que a solução de guiamento selecionada está corretamente dimensionada para esta utilização:

MSA 20 LS SS FC N :: Patins;

MSA 20 R 480 30 30 N :: Guias.

3.7 Eixo XX – Cálculo do fuso de esferas

De forma análoga aos guiamentos lineares, também os fusos de esferas têm um procedimento de seleção devidamente documentado na literatura técnica (figura 72).

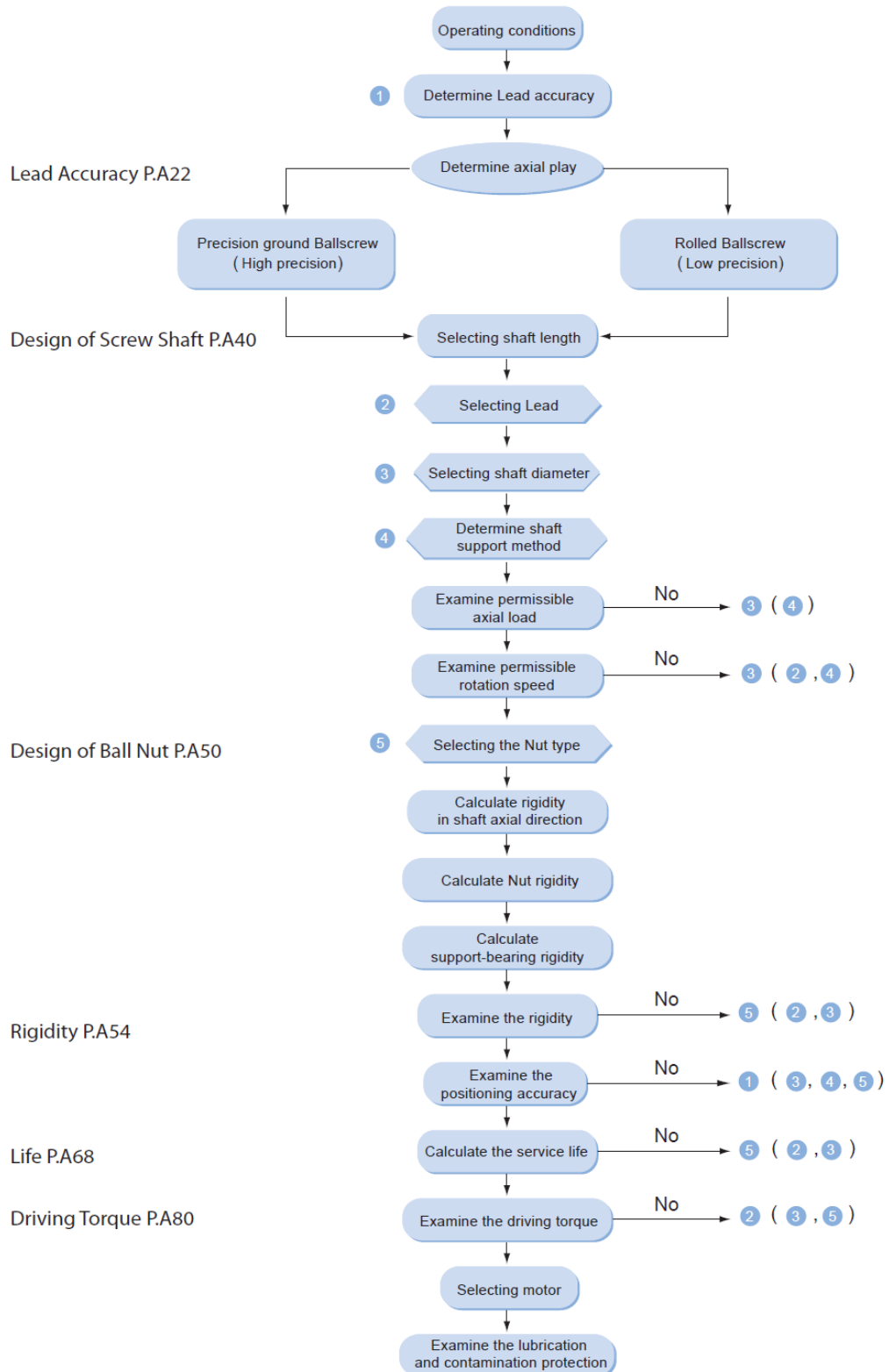


Figura 72 - Metodologia de seleção de fuso de esferas (PMI - AMT, 2018)

3.7.1 Definição da precisão e folga axial

Relativamente à precisão e folga axial, foi já previamente definido que um fuso de classe 7 (laminado) teria a precisão suficiente para o correto acionamento dos eixos.

A figura 73 apresenta uma correspondência entre algumas aplicações e as classes de precisão associadas.

Na aplicação em causa, utilizando a analogia funcional a um robot cartesiano de utilização genérica, confirma-se a classe de precisão C7.

Application	Name of axis	Accuracy grade										Application	Name of axis	Accuracy grade																																													
		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C10	C0			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C10																																						
NC Machine tools	Lathe	X	•	•	•	•	•	•													Industrial robots	Cartesian type	Assembly			•	•	•	•	•	•	•									other purposes							•	•	•	•								
		Z				•	•	•																Articulate type	Assembly				•	•	•	•	•	•										other purposes							•	•	•	•					
	Machining center	X,Y		•	•	•	•	•															SCARA type						•	•	•	•	•																										
		Z			•	•	•	•																Semiconductor/ associated industrial	Lithographic machine	•	•																																
	Drilling machine	X,Y				•	•	•															Chemical processing equipment					•	•	•	•	•	•	•	•																								
		Z							•	•	•												Wire bonder				•	•																															
	Milling machine Boring machine	X,Y		•	•																		Prober		•	•	•																																
		Z								•	•	•											Printed circuit board drilling machine				•	•	•	•	•	•																											
	Jig boring machine	X,Y	•	•																			Electric component mounted device					•	•	•	•																												
		Z	•	•																			Three-dimensional coordinate measuring machine		•	•	•																																
	Grinder	X,Y	•	•	•																	Office machine									•	•	•	•																									
		Z		•	•	•																Image processing machine	•		•																																		
	Electric discharge machine	X,Y		•	•	•																Plastic injection molding machine													•	•																							
		Z			•	•	•	•														Steel mills equipment												•	•																								
	Wire cutting Electric discharge machine	X,Y		•	•	•																Nuclear power	Fuel rod control					•	•	•	•	•																											
		Z		•	•	•	•														Mechanical snubber														•	•																							
	Punch press	X,Y				•	•	•														General industrial machines Machines for specific use					•	•	•	•	•																												
		Z																																																									
	Laser cutting machine	X,Y				•	•	•																																																			
		Z																																																									
Woodworking machine																																																											

Figura 73 – Correspondência de aplicações típicas com classes de precisão de fusos (PMI - AMT, 2018)

3.7.2 Definição do comprimento, diâmetro e passo

O fuso do eixo XX' foi definido, por coerência dimensional e conveniência de projeto com as guias lineares, como sendo um fuso de diâmetro 16 mm, passo 5 mm e comprimento total de 608 mm.

Este passo permite uma maior resolução dado que o motor de passo, com 200 passos por volta (1,8 graus/passos) vai permitir um avanço de 5 mm/200 passos, o que equivale a 0,025 mm por passo do motor.

3.7.3 Seleção do tipo de montagem do fuso e suportes

Relativamente à montagem do fuso de esferas, existem 3 configurações típicas a avaliar e que têm influência direta na carga axial e velocidade de rotação (rpm) máximas permitidas:

- **Fixo – Fixo:** Esta montagem é realizada com 2 suportes fixos com rolamentos axiais. Esta montagem, apesar de ser muito rígida e de permitir elevada precisão, tem como principal desvantagem o fenómeno de encurvadura associado à dilatação do fuso devido ao aquecimento decorrente do seu funcionamento.
- **Fixo – Apoiado:** Esta montagem é das mais habituais dado que um dos apoios é realizado com um rolamento axial para suporte destas cargas e um rolamento de esferas radial, montado num suporte de furo passante, que permite apoiar o fuso em rotação, evita fenómenos de vibração a velocidades elevadas e salvaguarda a dilatação do fuso, permitindo que este deslize axialmente na caixa do rolamento.
- **Fixo – Livre:** Apesar de utilizado em montagens que necessitem de utilizar o fuso na sua totalidade, esta montagem tem mais limitações no que concerne a velocidade e carga axial suportada.
- **Apoiado – Apoiado:** Esta montagem permite um maior apoio radial do fuso na área de movimento da fêmea pelo que as cargas axiais são absorvidas diretamente no motor, redutor ou num outro suporte axial adicional.

O esquema de montagem das configurações mais utilizadas está exemplificado na figura 74.

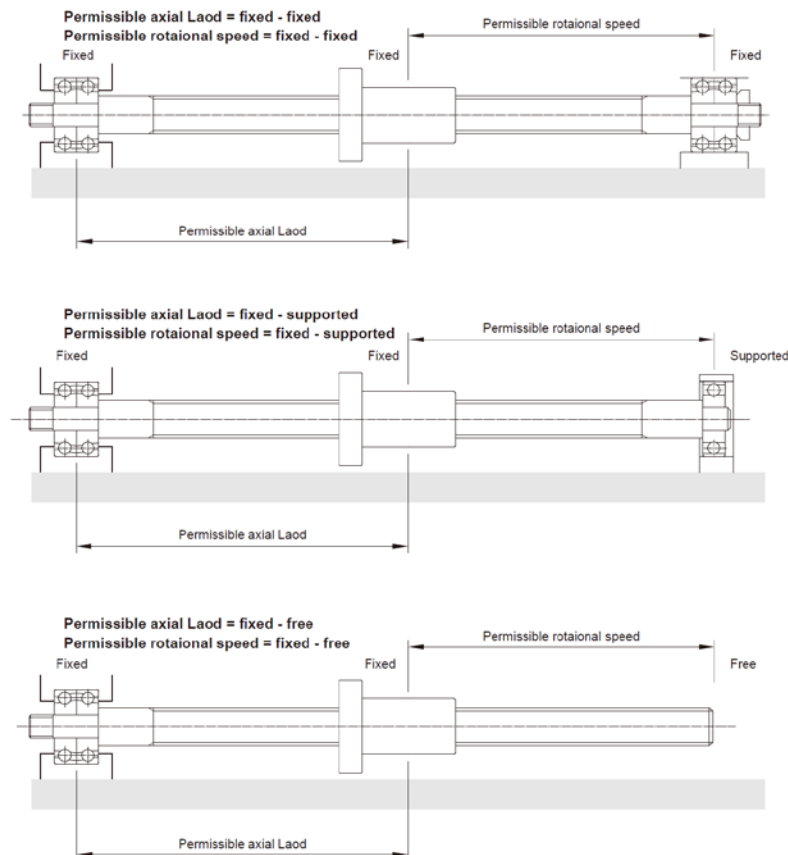


Figura 74 – Esquemas de montagem típica de fusos de esferas (PMI - AMT, 2018)

Dada a aplicação, foi seleccionada a montagem fixo-apoiado, validando-se de seguida a solução.

3.7.4 Análise da carga axial máxima

Relativamente à carga axial máxima, esta pode ser determinada através da figura 75.

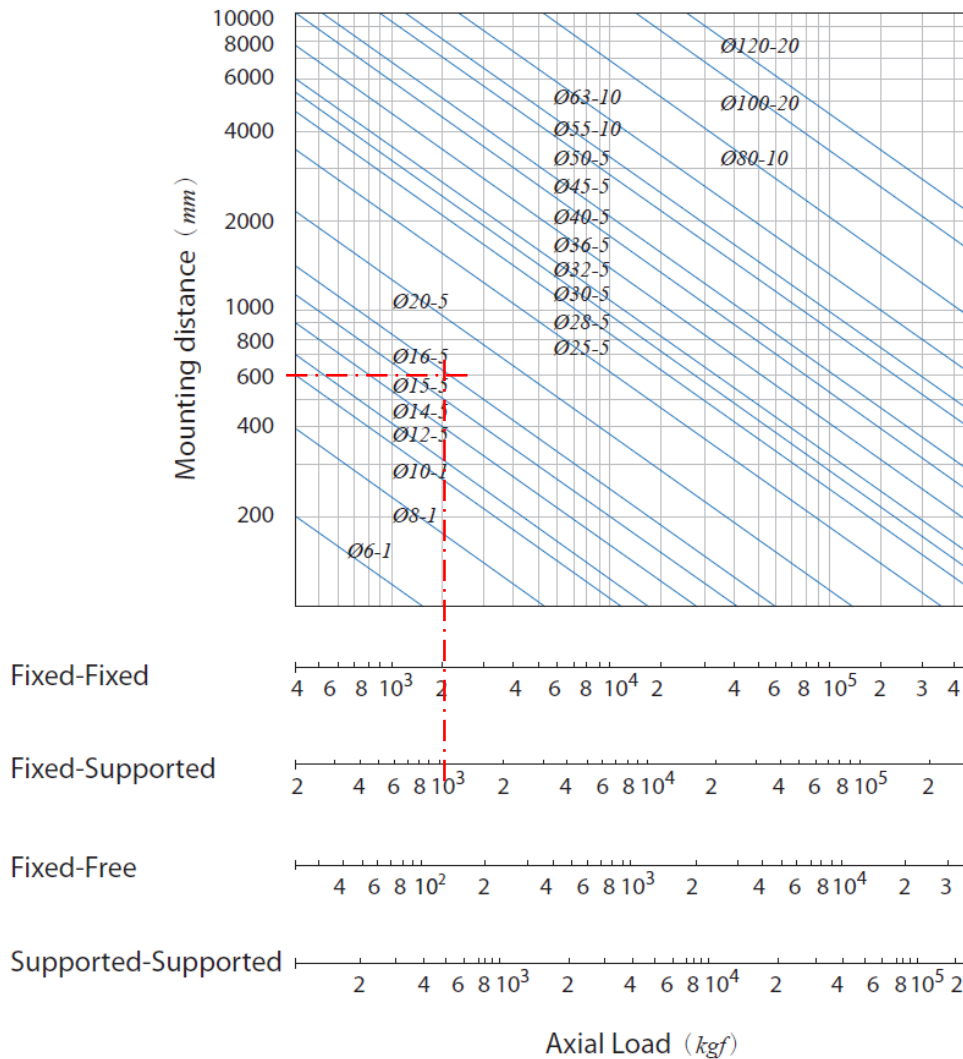


Figura 75 – Carga axial máxima em kgf em função do diâmetro exterior do fuso, tipo fixação e distância entre apoios (PMI - AMT, 2018)

Este ábaco aglomera informação relativa à carga limite de encurvadura:

$$P = \alpha \frac{\pi^2 \times N \times E \times I}{L^2} = m \frac{dr^4}{L^2} \times 10^3 \text{ (kgf)} \tag{17}$$

Em que:

A - Coeficiente de segurança ($\alpha = 0,5$);

$E = 2,1 \times 10^4$ kgf/mm² (módulo de Young);

I - Momento de inércia do veio ($I = \pi dr^4 / 64$; mm⁴);

dr - diâmetro da menor secção do veio (mm);

L - distância entre apoios (mm);

m, N - coeficiente do tipo de montagem;

Fixo – fixo : $m = 20,3$:: $N = 4$;

Fixo – apoiado: $m = 10,2$:: $N = 2$;

Fixo – livre : $m = 1,3$:: $N = 0,25$;

Apoiado – apoiado: considera-se equivalente ao fixo-apoiado

P - carga axial máxima de encurvadura (kgf).

Carga tensão-compressão permitida:

$$P = \sigma \times A = \sigma \times \pi \times \frac{dr^2}{4} \text{ (kgf)} \quad (18)$$

Em que:

σ - força de tensão-compressão permitida (kgf/mm²);

A - área do diâmetro de raiz do fuso (mm²);

dr - diâmetro da menor secção do veio (mm);

P - carga máxima de cedência (kgf).

Adicionalmente, a carga axial máxima da aplicação terá de ser inferior à carga nominal estática do fuso. Recorde-se que a carga estática máxima define a carga pontual exercida pelas esferas, tal que possa ocorrer deformação plástica do fuso.

Após análise do gráfico verifica-se que a carga axial limite é de, aproximadamente, 1000 kgf (considere-se 10 000 N).

3.7.5 Análise da velocidade de rotação máxima

No dimensionamento do fuso de esferas é de extrema importância a validação da velocidade angular máxima, normalmente associada à velocidade de aproximação e retorno à posição de parque da ferramenta.

Quando a velocidade angular da motorização coincide com a frequência natural do acionamento, principalmente do fuso de esferas, este entra em frequência de ressonância.

A velocidade de rotação (rpm) à qual ocorre este fenómeno é a velocidade crítica de rotação, que é responsável pela produção de superfícies irregulares (quando coincide com a velocidade de trabalho), por danos gerais no equipamento e pela redução do tempo de vida do conjunto fuso e fêmea.

Dada a importância da prevenção da frequência de ressonância, as fórmulas e ábacos de dimensionamento normalmente referem 80% da velocidade crítica como a máxima admissível. No caso de a aplicação exigir uma velocidade superior à permitida pelas expressões de cálculo, esta pode ser atingida utilizando um de dois mecanismos:

- Utilização de suportes adicionais (móveis ou fixos) que aumentem a frequência natural do fuso e conseqüentemente a velocidade de rotação associada;
- Utilização de uma solução construtiva de fuso fixo e fêmea rotativa (figuras 76 e 77), em que a motorização é colocada numa estrutura que se movimenta com a fêmea e na qual não existe rotação no fuso.



Figura 76 – Exemplo de montagem de uma fêmea rotativa (HIWIN, 2017)

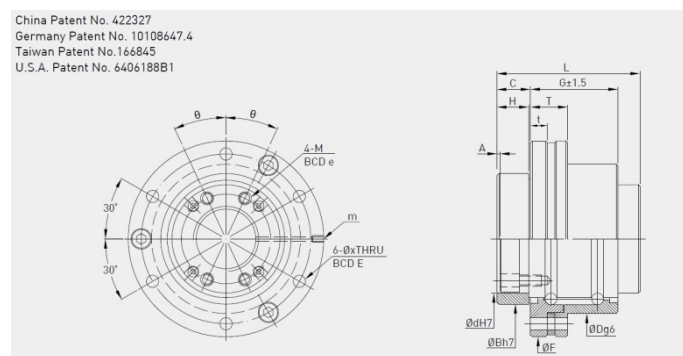


Figura 77 – Desenho de funcionamento de uma fêmea rotativa (HIWIN, 2017)

A velocidade de rotação máxima aconselhada é calculada pela seguinte expressão:

$$n = \alpha \times \frac{60 \times \lambda^2}{2 \times \pi \times L^2} \times \sqrt{\frac{E \times I \times g}{\gamma \times A}} = f \frac{dr}{L^2} \times 10^7 \text{ (rpm)} \quad (19)$$

Onde:

n - rotação máxima (rpm);

α - Coeficiente de segurança ($\alpha = 0,8$);

$E = 2,1 \times 10^4$ kgf/mm² (módulo de Young);

I - Momento de inércia do veio ($I = \pi dr^4 / 64$; mm⁴);

dr - diâmetro da menor secção do veio (mm);

A - área do diâmetro de raiz do fuso (mm²);

L - distância entre apoios (mm);

g = aceleração da gravidade ($g = 9,8 \times 10^3$ mm/s²);

f, λ - coeficientes do tipo de montagem;

Fixo – fixo : $f = 21,9$:: $\lambda = 4.730$;

Fixo – apoiado: $f = 15,1$:: $\lambda = 3,927$;

Fixo – livre : $f = 3,4$:: $\lambda = 1,875$;

Apoiado – apoiado: considera-se equivalente ao fixo-apoiado.

A velocidade angular máxima é também influenciada pelo diâmetro das esferas em recirculação. Assim, a relação $dm \times n$ (diâmetro das esferas da fêmea x rpm) tem influência direta no ruído, vida em serviço e aumento de temperatura das esferas em circulação.

De uma forma geral, o valor $dm \times n$ deve estar limitado a 50 000 para fusos laminados e 70 000 para fusos retificados. No entanto, estes valores devem ser considerados indicativos devido à influência do tipo de suportes, afastamento entre estes e o facto da tecnologia atual de fabrico permitir valores bastante superiores. De forma a facilitar a validação da velocidade de rotação crítica, os fabricantes disponibilizam gráficos de seleção como o apresentado na figura 78.

Analisando esta figura, facilmente se verifica que a velocidade máxima de rotação para o fuso selecionado é de aproximadamente 5000 rpm.

Considerando que a velocidade pretendida de 1,5 m/minuto e que, num fuso de passo 5 mm, esta corresponde apenas a 300 rpm, não existe risco de atingir a velocidade crítica.

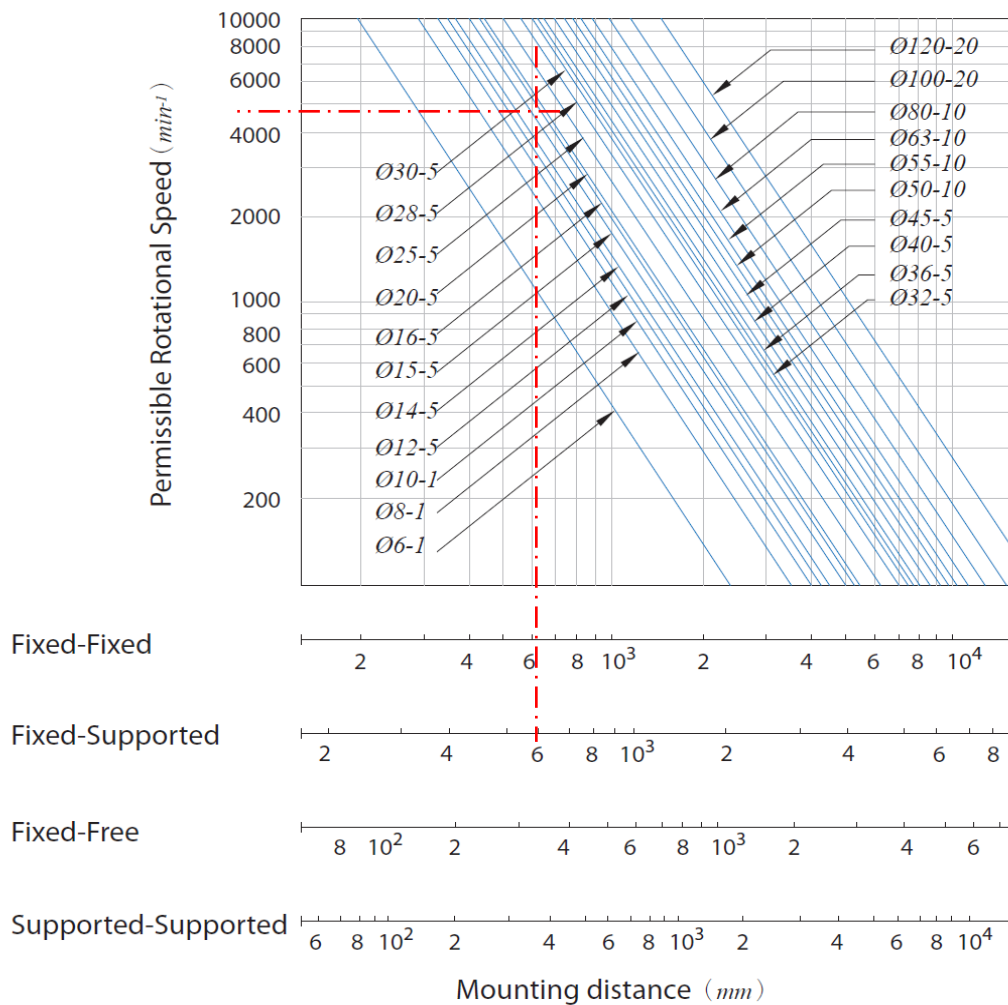


Figura 78 – rpm permitidas em função do diâmetro exterior do fuso, tipo fixação e distância entre apoios (PMI - AMT, 2018)

3.7.6 Seleção da fêmea de esferas

A seleção da fêmea de esferas obedece a vários critérios, como:

- Tipo de fêmea: precisão, dimensões, pré-carga e disponibilidade;
- Tipo de circulação de esferas:
 - Externa, menor ruído de funcionamento, funcionamento suave, melhor solução para grandes diâmetros ou passos;
 - Interna, mais adequada para espaços pequenos, construção adequada para pequenos ou médios diâmetros e passo de fuso.
- Recirculações efetivas: relaciona-se com o tempo de vida e a rigidez;
- Flange de fixação, sendo possível utilizar fêmeas sem flange (com rosca externa de aperto ou fixação por chaveta) e flange tipo A, B ou C (figura 79);

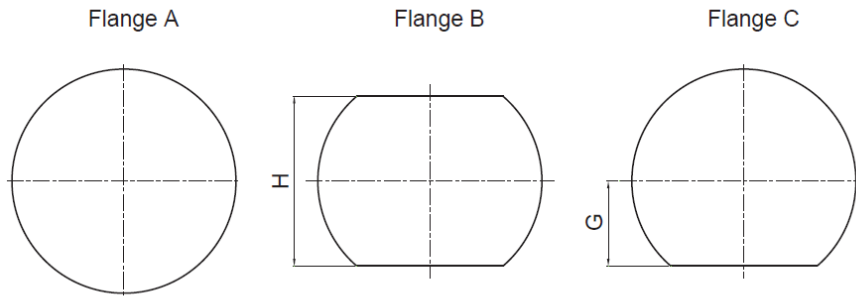
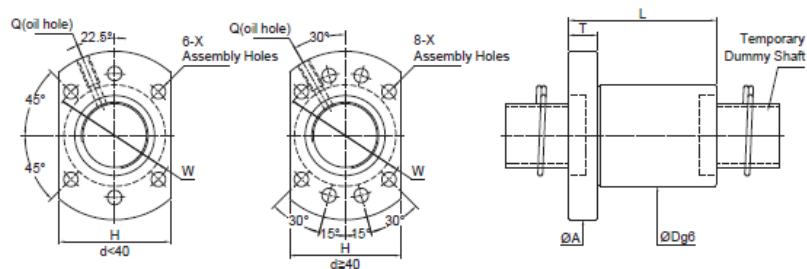


Figura 79 - Tipologia de flanges habituais em fusos de esferas (PMI - AMT, 2018)

- Orifício de lubrificação: deve ser selecionado de acordo com a montagem mais vantajosa.

Considerando os critérios enunciados, a fêmea selecionada é uma fêmea de circulação interna com a referência FSIN, de diâmetro 16 mm, passo 5 mm, configuração B e que possui as características descritas na figura 80.

FSIN



Unit: mm

SCREW SIZE		BALL DIA.	EFFECTIVE TURNS	BASIC RATE LOAD(kgf)		BALLNUT DIMENSION										
O.D.	LEAD			Dynamic (1x10 ⁶ REV.) Cam	Static Coam	O.D. D	Length L	Flange					Oil Hole Q	Assembly Hole X	STIFFNESS kgf/μm	Nut Model NO.
16	5	3.175	3	1050	2200	28	42	48	10	38	20	40	M6x1P	5.5	17	FSIN1605B-3.0P

Figura 80 – Características dimensionais e de carga da fêmea FSIN1605B (PMI - AMT, 2018)

3.7.7 Avaliação da rigidez axial do sistema

O cálculo da carga axial na fêmea, no caso de movimento horizontal, é realizado utilizando as seguintes expressões:

$$Fa_1 = \mu \times m \times g + f + m \times a : \text{aceleração esquerda} \tag{20}$$

$$Fa_2 = \mu \times m \times g + f : \text{velocidade constante esquerda} \tag{21}$$

$$Fa_3 = \mu \times m \times g + f - m \times a : \text{desaceleração esquerda} \quad (22)$$

$$Fa_4 = -\mu \times m \times g - f - m \times a : \text{aceleração direita} \quad (23)$$

$$Fa_5 = -\mu \times m \times g - f : \text{velocidade constante direita} \quad (24)$$

$$Fa_6 = -\mu \times m \times g - f + m \times a : \text{desaceleração direita} \quad (25)$$

Onde:

$a - (V_{\max} - V_0)/(t - t_0)$ aceleração;

m - massa total da mesa e equipamentos a deslocar;

g - aceleração da gravidade;

μ - coeficiente de atrito nas guias (nas guias lineares considera-se cerca de 0,002);

f - força resistente adicional, caso exista (note-se, por exemplo, que a força de atrito dos vedantes simples, toma o valor de 1,2 N a 5,8 N mediante a série, sendo necessário multiplicar pelo número de vedantes no caso de utilização de vedantes múltiplos (HIWIN, 2017).

Nota: na figura 81 “ $W_1 = m_1 \times g$ ” e “ $W_2 = m_2 \times g$ ”.

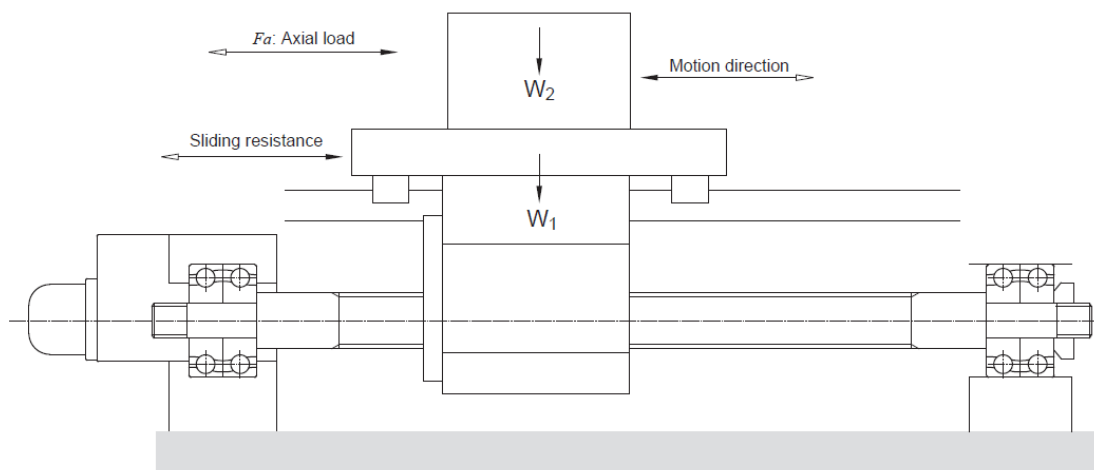


Figura 81 – Exemplo de montagem para movimento horizontal (PMI - AMT, 2018)

Considera-se que existe posicionamento/movimento indesejável quando a rigidez do fuso, fêmea e elementos de ligação não é suficiente para garantir uma correta precisão de posicionamento (figura 82).

Axial Rigidity

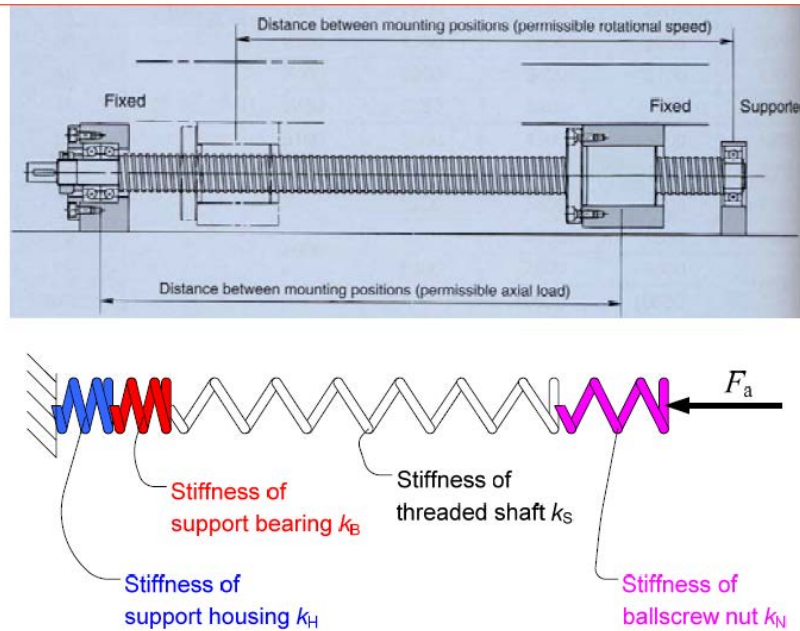


Figura 82 – Esquema dos vários fatores que influenciam a rigidez axial (Bamberg, 2017)

Assim, a deformação elástica “ δ ” de um sistema com rigidez total “ K ” pode ser obtido por:

$$\delta = \frac{F_a}{K_t} \quad (26)$$

Onde a rigidez total é obtida por:

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H} \quad (27)$$

E as restantes variáveis são:

- δ - deformação elástica axial (μm);
- F_a - carga axial (kgf);
- K_t - rigidez axial total do sistema de transporte (kgf/ μm);
- K_S - rigidez axial do fuso (kgf/ μm);
- K_N - rigidez axial da fêmea (kgf/ μm);
- K_B - rigidez axial do rolamento de suporte (kgf/ μm);
- K_H - rigidez axial dos suportes de rolamento e da fêmea (kgf/ μm).

A rigidez do fuso K_S depende do tipo de montagem. Assim, na montagem Fixo – Livre (axialmente) tem-se:

$$K_s = \frac{A \times E}{x} \times 10^{-3} \quad (28)$$

E na montagem Fixo – Fixo:

$$K_s = \frac{A \times E \times L}{x \times (L - x)} \times 10^{-3} \quad (29)$$

Nota:

Neste esquema de montagem, a rigidez toma o valor mínimo para $x = L/2$, ponto onde a deformação elástica toma o valor máximo.

Onde:

K_s - rigidez axial do fuso (kgf/ μm);

$A = \pi \times dr^2/4$ = área do diâmetro de raiz do fuso (mm^2);

dr - diâmetro da menor secção do veio (mm);

$E = 2,1 \times 10^4$ kgf/ mm^2 (módulo de Young);

I - momento de inércia do veio ($I = \pi dr^4/64$; mm^4);

x - distância entre apoio fixo e suporte fêmea (mm);

L - distância total entre apoios (mm).

O cálculo da rigidez do fuso está também resumido de forma gráfica, obtendo-se através da consulta da figura 83 (neste caso consulta-se a montagem fixo-livre).

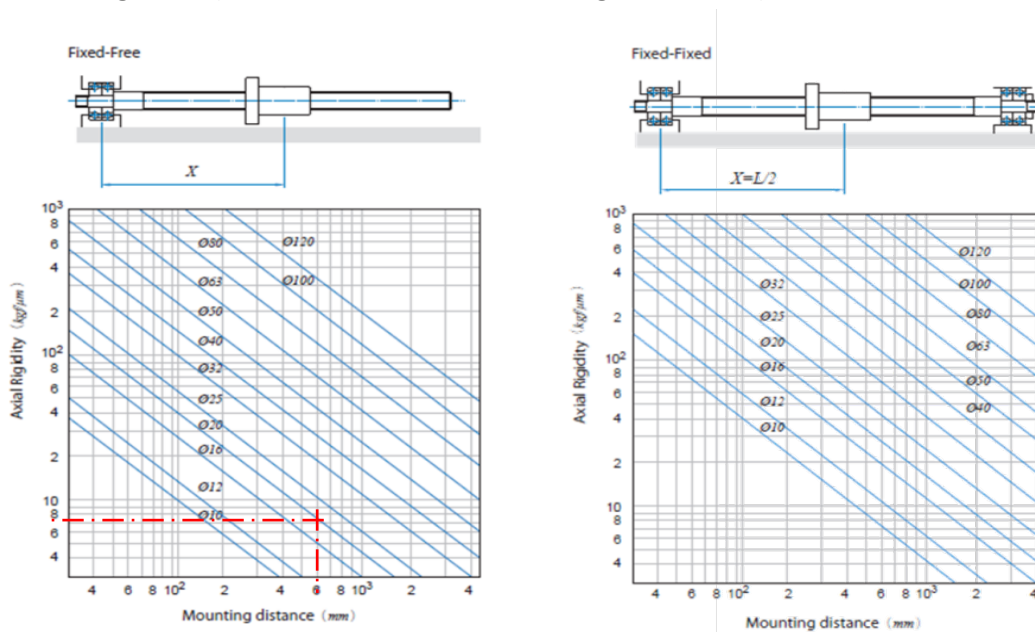


Figura 83 – Tratamento gráfico para obtenção da rigidez (PMI - AMT, 2018)

Neste caso, a rigidez axial de um fuso de diâmetro 16 mm e comprimento de 600 mm é de 7 kgf/ μ m. Para o cálculo da rigidez axial da fêmea de esferas K_n utiliza-se a seguinte expressão:

$$\delta_a = \frac{C}{\sin \alpha} \times \left(\frac{Q^2}{D_w} \right)^{1/3} \times \zeta \quad (\mu\text{m}) \quad (30)$$

Onde:

δ_a - deformação elástica (μ m);

C - constante com valor de referência 2,4 (PMI - AMT, 2018);

α - ângulo de contacto entre esferas e canal de circulação;

D_w - diâmetro da esfera (mm);

$Q = (F_a/Z) \times \sin \alpha$ - carga em cada esfera (kgf);

Z - número de esferas;

ζ - coeficiente de precisão.

As fêmeas de esferas sem pré-carga possuem tabelas com os valores teóricos de rigidez, quando sujeitas a uma carga axial de 30% da capacidade de carga dinâmica da fêmea. Estes valores não consideram a rigidez do suporte da fêmea, pelo que é usual considerar 80% do valor tabelado para compensar este fator. Quando a carga axial é superior a 30% da carga dinâmica, o valor da rigidez é calculado da seguinte forma:

$$K_N = 0.8 \times K \times \left(\frac{F_a}{0.3 \times C_a} \right)^{1/3} \quad (31)$$

Onde:

K - valor de rigidez tabelado nas fichas técnicas (kgf/ μ m);

F_a - carga axial (kgf);

C_a - carga axial dinâmica tabelada (kgf).

Para fêmeas de esferas com pré-carga, as tabelas disponíveis nas fichas de características apresentam o valor de rigidez para uma carga axial aplicada de magnitude igual a 10% da carga dinâmica. Da mesma forma que nas fêmeas sem pré-carga, é recomendado compensar a rigidez do suporte da fêmea considerando um valor de rigidez de 80% do tabelado.

Quando a carga axial é superior a 10% da carga dinâmica, o valor da rigidez é calculado pela seguinte expressão:

$$K_{N(\text{pre-carga})} = 0.8 \times K \times \left(\frac{F_{a0}}{\varepsilon \times C_a} \right)^{1/3} \quad (32)$$

Onde:

K - valor de rigidez tabelado nas fichas técnicas (kgf/ μ m);

F_{a0} - valor de pré-carga (kgf);

ε - coeficiente de rigidez ($\varepsilon=0,10$ para pré-carga por fêmea dupla; $\varepsilon=0,05$ para pré-carga por utilização de esferas de maior dimensão).

A rigidez do rolamento K_B varia mediante o tipo de rolamento. No entanto o cálculo típico para rolamentos angulares de esferas considera a seguinte expressão:

$$K_B = \frac{3 \times F_{a0}}{\delta_{a0}} \quad (33)$$

Onde:

$$\delta_{a0} = \frac{2}{\sin \alpha} \times \left(\frac{Q^2}{D_w} \right)^{1/3} \quad (34)$$

$$Q = \frac{F_{a0}}{Z \times \sin \alpha} \quad (35)$$

δ_{a0} - deformação na direção axial (mm);

α - ângulo de contacto inicial do rolamento (°);

D_w - diâmetro das esferas do rolamento (mm);

Q - carga em cada esfera (kgf);

Z - número de esferas.

A rigidez do suporte K_H é definida pelo tipo de suporte e, como tal, está dependente do projeto do mesmo.

A rigidez torsional do sistema de movimento por fuso de esferas (fuso, acoplamento e veio do motor) é também considerada no que concerne a precisão de posicionamento. No entanto, estas deformações apenas têm significado em equipamentos especiais de elevada velocidade, pelo que não são consideradas no cálculo em aplicações genéricas. A elevada precisão num sistema de fuso e fêmea de esferas passa por reduzir a folga axial ou aumentar a rigidez de forma a reduzir a deformação elástica na presença de cargas axiais. A pré-carga é a solução tecnológica utilizada para ambos os métodos.

Tecnologicamente, a introdução de pré-carga num sistema fuso e fêmea de esferas recorre à utilização de uma fêmea simples ou dupla. Quando se utilizam duas fêmeas, a pré-carga é obtida através de um espaçador que se coloca entre estas e que as afasta ou aproxima de forma a criar pré-carga extensiva ou compressiva (figura 84).

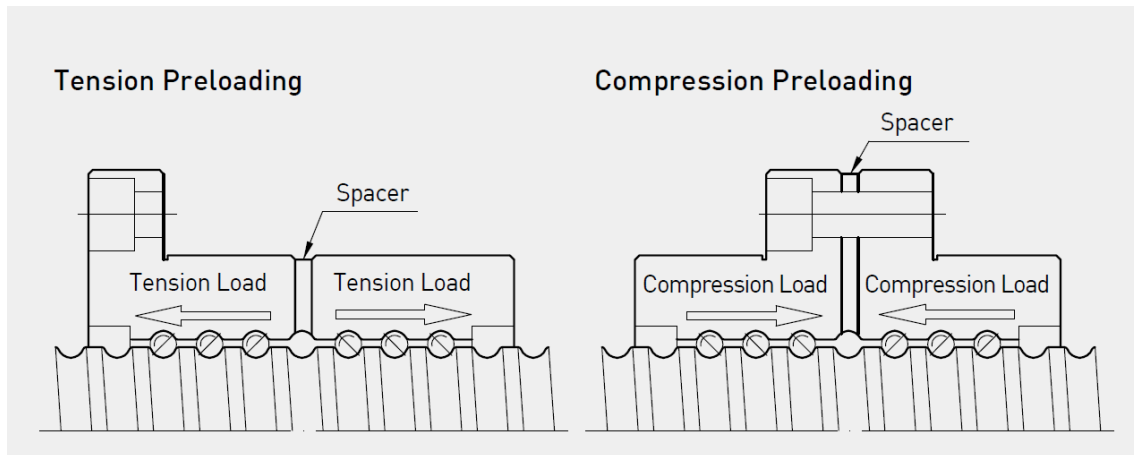


Figura 84 – Esquema da aplicação de pré-carga em fêmeas duplas (HIWIN, 2017)

Para introduzir pré-carga numa fêmea simples pode recorrer-se à utilização de esferas de elevado diâmetro (figura 85, direita), obrigando a que estas possuam 4 pontos de contacto, ou através do desfasamento interno das recirculações de esferas (figura 85, esquerda).

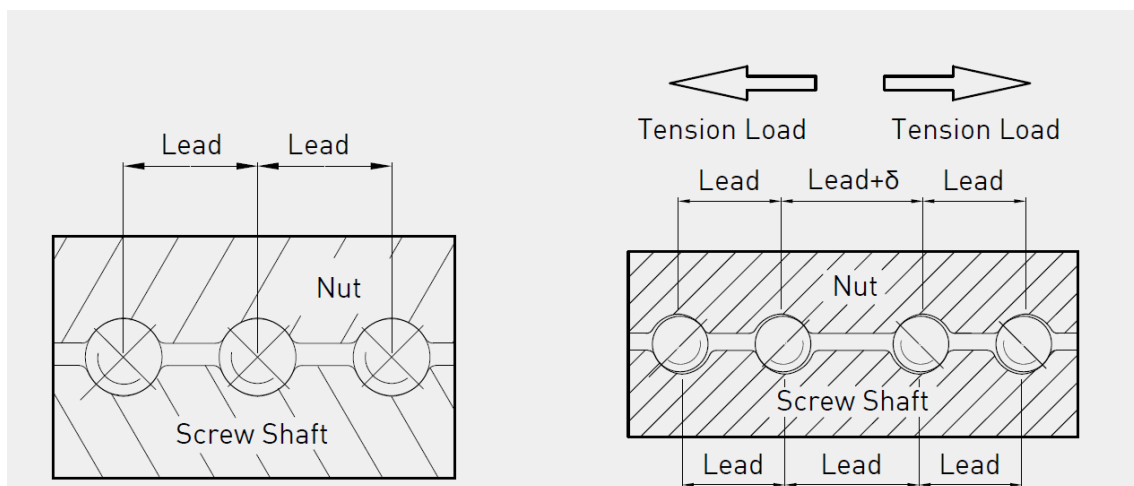


Figura 85 – Esquema de aplicação de pré-carga em fêmeas simples, esferas de maior dimensão e desfasamento (HIWIN, 2017)

A relação entre a pré-carga e a deformação elástica é obtida da seguinte forma:

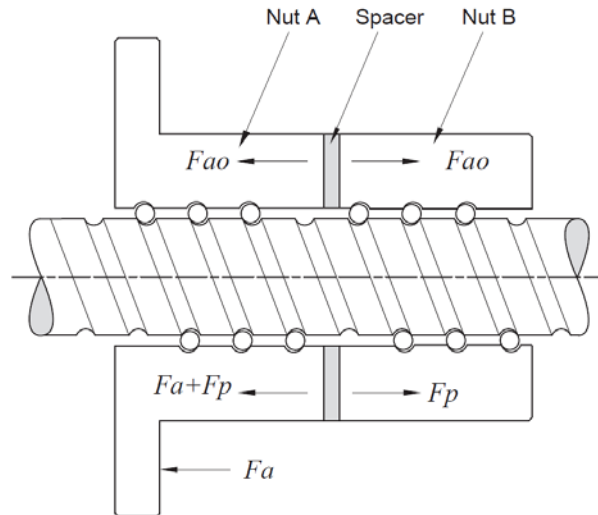


Figura 86 – Pré-carga em fêmeas duplas (PMI - AMT, 2018)

Sendo as fêmeas A e B montadas com um espaçador (figura 86), a força de pré-carga nas fêmeas A e B é F_{a0} , com direções inversas, e a deformação elástica nas fêmeas é δ_{a0} .

Na presença de uma força axial F_a , aplicada na fêmea A, a deformação associada é dada pelas seguintes expressões:

$$\delta_A = \delta_{a0} + \delta_{a1} \quad (36)$$

$$\delta_B = \delta_{a0} - \delta_{a1} \quad (37)$$

As forças na fêmea A e B são:

$$F_A = F_{a0} + F_a - F_{a'} = F_a + F_p \quad (38)$$

$$F_B = F_{a0} - F_{a'} = F_p \quad (39)$$

Desta forma, F_a está desfasada de um valor $F_{a'}$ à medida que a deformação na fêmea B decresce. Por conseguinte, a deformação elástica de A é também diminuída, e esta ação continua até que a deformação da fêmea B seja zero, ou seja, até que a deformação elástica δ_{a1} causada pela força axial externa iguale δ_{a0} e a força de pré-carga aplicada à fêmea B seja completamente anulada. As fórmulas que relacionam a força axial externa e a deformação elástica são as seguintes:

$$\delta_{a0} = K \times F_{a0}^{2/3} \quad (40)$$

$$2 \times \delta_{a0} = K \times F_1^{2/3} \quad (41)$$

$$\left(\frac{F_1}{F_{a0}}\right)^{2/3} = \left(\frac{2 \times \delta_{a0}}{\delta_{a0}}\right) = 2 \quad (42)$$

$$F_1 = 2.8 \times F_{a0} \approx 3 \times F_{a0} \quad (43)$$

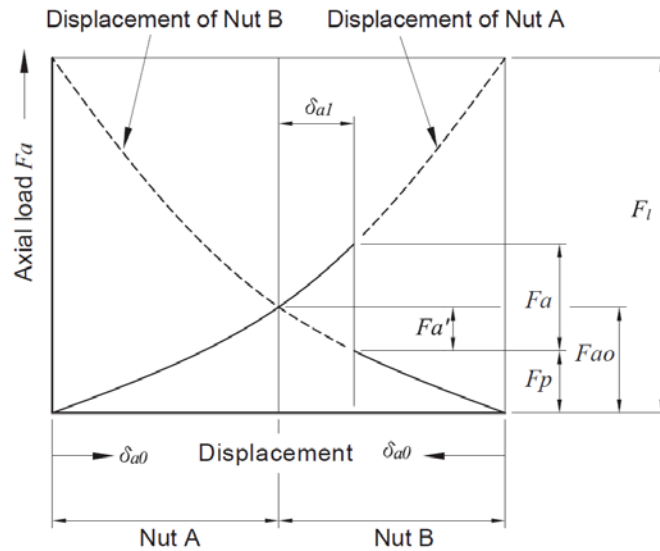


Figura 87 – Diagrama de desfasamento e pré-carga (PMI - AMT, 2018)

De acordo com a expressão 43, representada de forma gráfica na figura 87, a pré-carga F_{a0} recomendada para uma qualquer aplicação é de 1/3 da carga axial F_1 que a fêmea irá suportar durante o seu funcionamento. Esta pré-carga irá então anular a deformação elástica assimétrica δ_{a1} .

Note-se que a pré-carga é também responsável pelo aumento de temperatura de funcionamento e, conseqüentemente, reduz a vida útil do fuso e fêmea de esferas. Assim, tendo em conta a vida em serviço e eficiência, a pré-carga é normalmente estabelecida em 10% da carga dinâmica nominal da fêmea. Na figura 88 pode verificar-se que a deformação elástica de uma fêmea sem pré-carga é o dobro de uma fêmea com pré-carga, para uma carga axial 3 vezes superior ao valor da pré-carga.

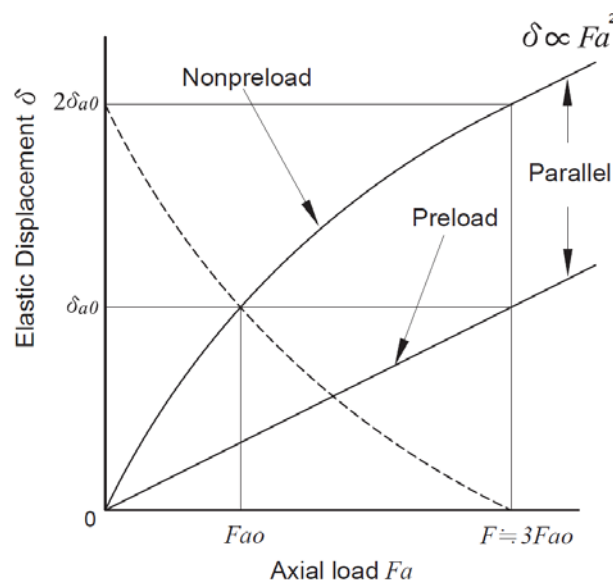


Figura 88 – Deformação elástica comparativa de uma fêmea com e sem pré-carga (PMI - AMT, 2018)

3.7.8 Análise da precisão de posicionamento

Ainda relativamente ao erro de posicionamento, apesar das causas mais comuns se relacionarem com a precisão do fuso e com a rigidez, é de notar que a deformação causada pela temperatura e pela montagem do sistema de acionamento são também fatores a considerar.

Idealmente, o deslocamento específico deveria coincidir com o nominal. No entanto, de forma a compensar a dilatação de funcionamento ou a compressão por cargas axiais, pode-se definir uma compensação positiva ou negativa relativamente ao deslocamento nominal.

Uma outra forma de compensar efeitos térmicos consiste em pré-tensionar o fuso, de tal forma que esta deformação seja equivalente a uma dilatação térmica de 2 a 3 °C.

Para melhor ilustrar a situação, apresenta-se a figura 89 que representa de forma esquemática o desvio de posicionamento numa rotação e acumulado em função do curso percorrido.

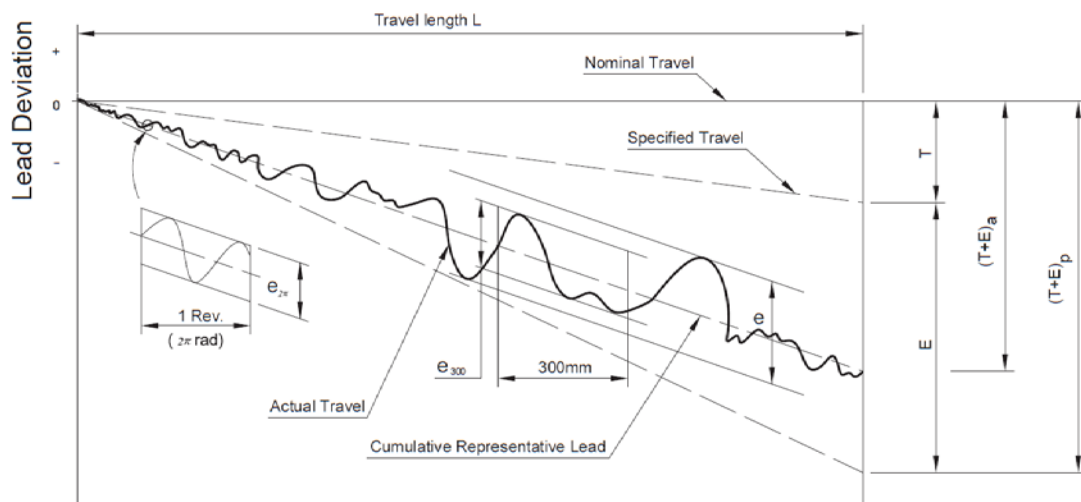


Figura 89 – Representação do erro numa rotação e acumulado em função do curso percorrido, associada às classes de precisão normalizadas que associam o maior erro medido num qualquer deslocamento de 300 mm (PMI - AMT, 2018)

A deformação por dilatação térmica ocorre durante o funcionamento do fuso e o fenómeno de dilatação e contração pode ser calculado pela expressão seguinte.

$$\Delta L_{\theta} = \rho \times \theta \times L \quad (44)$$

Onde:

ΔL_{θ} - desfasamento térmico (μm);

ρ - Coeficiente de expansão térmico ($12 \mu\text{m}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$);

θ - Variação de temperatura do fuso ($^\circ\text{C}$);

L - Comprimento do fuso (mm).

Numa abordagem simplista, o aumento da temperatura de 1 °C dilata o fuso em 12 μ m/m e pode obrigar a medidas de controlo de temperatura como:

- Correta seleção de pré-carga;
- Correta seleção de lubrificante;
- Selecionar um passo maior, reduzindo a velocidade de rotação;
- Utilização de sistemas de arrefecimento:
 - fusos com furação interna de arrefecimento;
 - arrefecimento por ventilação forçada ou utilização de líquido lubrificante;
 - utilização de sistemas de arrefecimento da fêmea por circulação interna de líquido refrigerante.
- Prever uma compensação negativa de passo para o fuso;
- Utilizar o equipamento apenas após estabilização térmica do mesmo;
- Pré-tensão do fuso;
- Utilização de sistemas de controlo em anel fechado (sistemas de controlo de posição independentes do passo do fuso).

Em sistemas e equipamentos de elevada precisão, todos estes parâmetros teriam de ser considerados. No entanto, foi estipulado inicialmente um grau de precisão do equipamento que possibilita a utilização de fusos e fêmeas de classe 7, com folga axial e onde os efeitos da rigidez, pré-carga e dilatação podem ser considerados desprezáveis.

3.7.9 Cálculo do tempo de vida em serviço

Note-se que, mesmo quando utilizados corretamente, os fusos de esferas têm um tempo de vida em serviço que pode ser avaliado sobre 2 parâmetros:

- Fadiga: tempo de vida em serviço até ao fenómeno de aparecimento de escamas nas esferas ou circuitos de circulação;
- Precisão: tempo de vida a partir do qual ocorre perda de precisão que coloca em causa o bom funcionamento do equipamento devido ao desgaste dos circuitos de circulação.

Relativamente ao cálculo do tempo de vida em serviço por fadiga, o valor tabelado de C_a refere-se à carga dinâmica que 90% dos elementos de ensaios num grupo de fusos e fêmeas, ensaiados independentemente, atinge uma vida de 10⁶ rotações.

Desta forma, o cálculo da vida em serviço pode ser calculado em função:

- a) das rotações (L – expressão 45);
- b) do tempo em funcionamento (L_t – expressão 46);
- c) da distância total percorrida (L_s – expressão 47).

$$L = \left(\frac{C_a}{F_a \times f_w} \right)^3 \times 10^6 \quad (45)$$

$$L_t = \frac{L}{60 \times n} \quad (46)$$

$$L_s = \frac{L \times l}{10^6} \quad (47)$$

Onde:

L - Vida útil por fadiga, nº total de rotações (rotações);

L_t - Vida útil por fadiga, nº horas em funcionamento (horas);

L_s - Vida útil por fadiga, km percorridos (km);

C_a - Índice dinâmico básico (kgf);

F_a - Carga axial (kgf);

n - Velocidade de rotação (rpm);

l - Passo do fuso (mm);

f_w - factor de carga, de acordo com a figura 90.

O fator de carga exprime o coeficiente de sobredimensionamento a considerar em cada aplicação em função da velocidade linear e da existência de vibrações e impactos no equipamento.

Vibration and impact	Velocity (V)	f_w
Light	$V < 15$ (m/min)	1.0~1.2
Medium	$15 < V < 60$ (m/min)	1.2~1.5
Heavy	$V > 60$ (m/min)	1.5~3.0

Figura 90 – Critérios de seleção do fator de carga f_w (PMI - AMT, 2018)

O dimensionamento por fadiga deve ser realizado tendo em atenção que um tempo de vida exagerado pode obrigar à seleção de fusos dispendiosos e dimensionalmente incompatíveis com o equipamento. Assim, de forma indicativa o tempo de vida de referência, em função do tipo de equipamento é (PMI - AMT, 2018):

- Centros de maquinação CNC: 20 000 horas;
- Equipamento de produção: 10 000 horas;
- Controlador automático: 15 000 horas;
- Instrumentos de inspeção: 15 000 horas;

No caso em estudo, a carga axial e velocidade de rotação do fuso não são constantes pelo que, para um dimensionamento exato, seria necessário definir a carga média e rotação média através das expressões seguintes:

$$F_m = \left(\frac{F_1^3 \times n_1 \times t_1 + \dots + F_n^3 \times n_n \times t_n}{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n} \right) \quad (48)$$

$$N_m = \left(\frac{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n}{t_1 + \dots + t_n} \right) \quad (49)$$

Onde:

F_m - Força média (kgf);

N_m - Velocidade de rotação média (rpm);

$F_{1 \text{ a } n}$ - Carga num determinado movimento, de 1 a n (kgf);

$n_{1 \text{ a } n}$ - Rotação num determinado movimento, de 1 a n (rpm);

$t_{1 \text{ a } n}$ - Duração de determinado movimento, de 1 a n (s ou %).

No entanto, dadas as reduzidas cargas e velocidade, e a tipologia do equipamento, o cálculo será realizado considerando que:

$F_a = 302,02 \text{ N} \approx 30,8 \text{ kgf}$ (força de avanço);

$n = 300 \text{ rpm}$ (rotação associada à velocidade linear máxima);

$C_a = 570 \text{ kgf}$;

$f_w = 1,0$ (fator de carga para velocidades inferiores a 15 m/minuto);

$l = 5 \text{ mm}$ (passo do fuso).

Obtém-se:

$L = 6338 \times 10^6$ (rotações);

$L_t = 0,35 \times 10^6 = 352 \ 127$ (horas);

$L_s = 31 \ 691$ (km).

Os valores obtidos ultrapassam largamente o tempo de funcionalmente previsto de 20 000 horas e o próprio tempo de vida dos guiamentos.

3.7.10 Considerações relativas a erros de instalação

Quando o fuso está sujeito a elevadas cargas axiais e momentos torsões, é necessário que a sua rigidez seja elevada, minimizando assim erros de instalação. Os fusos devem ser instalados com rigor suficiente de forma a garantir retilinearidade e paralelismo para com os restantes componentes móveis. O efeito do desalinhamento na vida em serviço pode ser avaliado na figura 91.

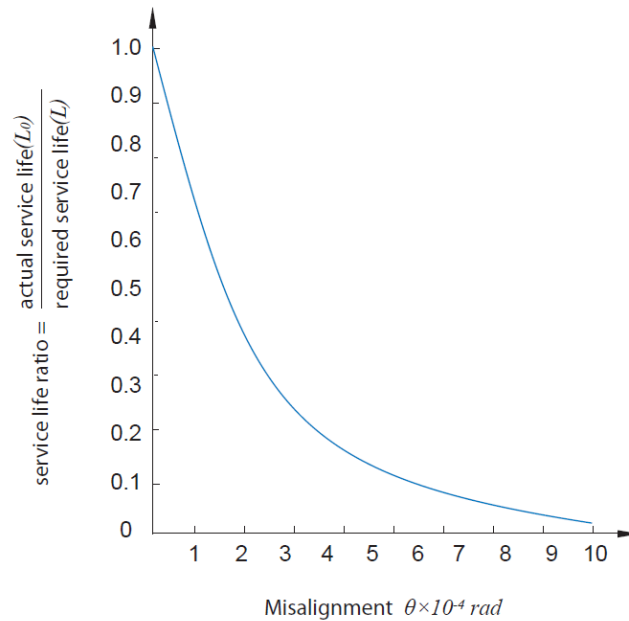


Figura 91 – Influência do desalinhamento no tempo de vida em serviço (PMI - AMT, 2018)

3.7.11 Considerações relativas à carga estática nominal e força axial admissível

A carga estática nominal refere-se ao módulo de uma carga axial diretamente aplicada, que causa uma deformação tal que a soma das deformações parciais nos elementos rolantes e circuitos de circulação é 0,01% o diâmetro de um elemento rolante.

A carga axial nominal está tabelada e permite o cálculo da força axial máxima através de um coeficiente de segurança associado ao tipo de equipamento.

$$F_{max} = \frac{C_0}{f_s} \quad (50)$$

Onde:

F_{max} - força axial máxima admissível (kgf);

C_0 - Carga estática nominal (kgf);

f_s -coeficiente de segurança:

1,2~2: para equipamento industrial corrente;

1,5~3: para máquinas ferramenta,

No fuso e fêmea selecionados, a carga axial máxima permitida é de:

$$F_{max} = 2\ 200/2 = 1\ 100 \text{ kgf.}$$

Considerando que a carga máxima calculada para este equipamento é de 30,8 kgf, o coeficiente de segurança é de 35,5.

3.7.12 Proteção contra entrada de resíduos e lubrificação

As fêmeas de esferas possuem vedantes em NBR que funcionam como raspadores e que previnem a entrada de resíduos nas recirculações de esferas. Para aplicações mais exigentes é possível requerer a instalação de vedantes especiais.

No equipamento em estudo, devido à possibilidade de depósito de limalhas no fuso aquando da operação de chanfro, será colocado um fole de proteção dos guiamentos e fusos. As fêmeas de esferas usam lubrificantes de lítio com viscosidade entre 32 e 100 ISO VG.

Para aplicações em ambientes de baixas temperaturas deverá utilizar-se lubrificante de baixa viscosidade. Para elevada temperatura ambiente, elevadas cargas ou baixas velocidades, deverão ser utilizados lubrificantes de elevada viscosidade.

De acordo com o método de lubrificação utilizado, é conveniente realizar inspeções de manutenção com os parâmetros indicados na tabela 10.

Tabela 10 – Verificação e intervalos de manutenção

Método	Intervalo verificação	Verificação	Intervalo de lubrificação
Automática a óleo	Semanalmente	Volume e pureza do lubrificante	Atestar nível do depósito, substituir quando apresenta detritos
Massa lubrificante	Até 3 meses após entrada em serviço	Detritos em suspensão	Lubrificar anualmente, numa quantidade superior a 50% volume da fêmea
Banho de óleo	Diariamente antes do funcionamento	Superfície do lubrificante	Atestar/ substituir de acordo com o estado

Na lubrificação por óleo deve ser considerado um reservatório tal que permita uma alimentação em cada 10 minutos de uma quantidade Q de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = \frac{\text{Diâmetro fuso}}{90} \quad (51)$$

Onde:

Q - quantidade de lubrificante (cm^3).

No caso da lubrificação por massa, a quantidade a aplicar em cada manutenção é calculada da seguinte forma:

$$Q = \left[\left(\sqrt{(\pi \times dm)^2 + L \times d^2} \times \pi \times d^2 \times R \right) \times \frac{1}{1000} + \left(\frac{\pi \times L \times (2 \times D \times G + G^2)}{4} \right) \right] \times \frac{1}{1100} \quad (52)$$

Onde:

Q - quantidade de massa lubrificante (cm³);

D - diâmetro do fuso (mm);

d - diâmetro das esferas (mm);

dm - diâmetro do círculo gerado pelo centro das esferas quando em contacto com fuso e fêmea (mm);

G - fator de tamanho da esfera;

Ld - passo (mm);

L - comprimento da fêmea (mm);

R - nº de recirculações efetivas.

O valor de G em função do diâmetro das esferas está definido na figura 92.

Ball diameter d	Ø1.558	Ø2.0	Ø2.381	Ø2.778	Ø3.175	Ø3.969	Ø4.762
G value	0.8	1.0	1.0	1.5	1.2	1.3	2.0
Ball diameter d	Ø6.350	Ø7.144	Ø7.938	Ø9.525	Ø12.7	Ø15.875	Ø19.05
G value	3.0	3.5	3.9	5.0	6.0	9.6	12

Figura 92 – Fator G em função do diâmetro das esferas (PMI - AMT, 2018)

Para a fêmea de esferas em questão, a quantidade de massa lubrificante a colocar anualmente, considerando $dm = 12,9 + 3,175 \text{ mm} = 16,075 \text{ mm}$, é de $1,19 \text{ cm}^3$.

3.7.13 Avaliação do binário de acionamento

O binário de acionamento de um fuso de esferas resulta da conversão direta de movimento de rotação em movimento linear, e é definido da seguinte forma:

$$T_a = \frac{Fa \times l}{2 \times \pi \times \eta_1} \quad (53)$$

Dado que os fusos de esferas são sistemas reversíveis, o binário de transformação de movimento linear em movimento de rotação é definido por:

$$T_b = \frac{Fa \times l \times \eta_2}{2 \times \pi} \quad (54)$$

No caso de fêmeas com pré-carga, existem fenômenos de fricção associados ao cálculo do binário, e este passa a ser calculado por:

$$T_p = k \times \frac{F_{ao} \times l}{2 \times \pi} \quad (55)$$

Onde:

T_a - binário normal de acionamento (kgf x cm);

T_b - binário de funcionamento inverso (kgf x cm);

T_p - binário de pré-carga (kgf x cm);

F_a - carga axial (kgf);

F_{ao} - pré-carga (kgf);

l - passo (mm);

η_1 - rendimento normal (90% ~ 95%);

η_2 - rendimento funcionamento inverso (80%);

$k = 0.05 \times (\tan\beta)^{-0.5}$ coeficiente de binário de pré-carga onde β é o ângulo do passo.

3.7.14 Binário do motor

Considera-se que o binário do motor requerido para acionar um fuso de esferas a velocidade constante é cerca de 30% do binário nominal deste, sendo calculado pela expressão 56, nas condições descritas na figura 93.

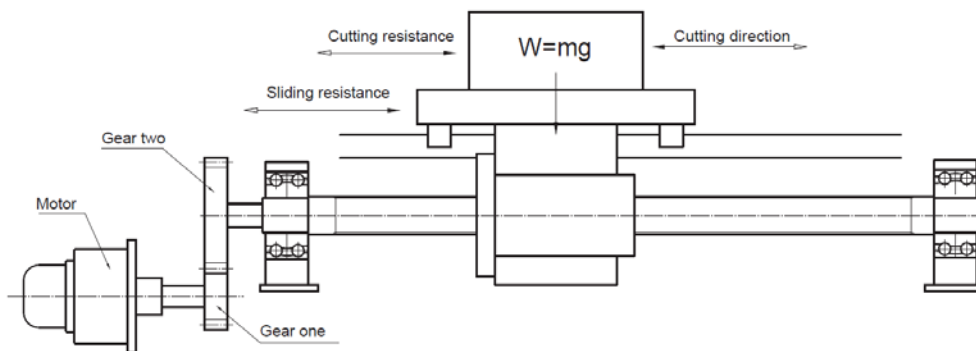


Figura 93 – Diagrama típico de eixo de equipamento de corte (PMI - AMT, 2018)

$$T_1 = \left(k \times \frac{F_{ao} \times l}{2 \times \pi} + \frac{F_a \times l}{2 \times \pi \times \eta_1} + T_b \right) \times \frac{N_1}{N_2} \quad (56)$$

Onde:

T_1 - binário de acionamento a velocidade constante (kgf x cm);

T_b = binário de atrito do rolamento de suporte (kgf x cm);

N_1 - número de dentes da roda mandante;

N_2 - número de dentes da roda mandada.

O binário do motor para uma situação de aceleração constante é dado por:

$$T_2 = T_1 + J \times \dot{\omega} \quad (57)$$

$$J = J_M + J_{G1} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \times [J_{G2} + J_{SH} + J_W + J_C] \quad (58)$$

$$J_W = \frac{m}{g} \times \left(\frac{l}{2 \times \pi}\right)^2 \quad (59)$$

Onde:

T_2 - binário total com aceleração constante (kg mm s²);

$\dot{\omega}$ - aceleração angular do motor (rad s⁻²);

J - inércia total (kg mm s²);

J_M - inércia do motor (kg mm s²);

J_{G1} - inércia da engrenagem 1 (kg mm s²);

J_{G2} - inércia da engrenagem 2 (kg mm s²);

J_{SH} - inércia do fuso (kg mm s²);

J_W - inércia dos componentes móveis (kg mm s²);

J_C - inércia do acoplamento (kg mm s²);

m - massa total dos componentes (kg);

l - passo (mm);

g - aceleração da gravidade (9800 mm s⁻²).

Para cálculo da inércia de um cilindro, quer sejam as engrenagens ou o fuso e fêmea, podem utilizar-se as seguintes expressões:

$$J = \frac{1}{32} \times \rho \times \pi \times D^2 \times L \quad (kg \ m^2) \quad (60)$$

$$J = \frac{\pi \times \rho}{32 \times g} \times D^4 \times L \quad (kg \ m^2) \quad (61)$$

$$J = \frac{m \times D^2}{8} \quad (kg \ m^2) \quad (62)$$

Onde:

ρ - densidade do material (kg/m^3);

γ - densidade específica;

D - diâmetro do cilindro (m);

L - comprimento do cilindro (m);

m - massa do cilindro (kg).

Para o eixo em estudo considera-se uma situação de velocidade constante, dado que o tempo de aceleração é reduzido em comparação com o tempo em velocidade constante, sem pré-carga, pelo que o binário motor necessário é calculado pela expressão 53:

$$T_a = \frac{Fa \times l}{2 \times \pi \times \eta_1} = \frac{30,8 \times 5}{2 \times \pi \times 0,9} = 27,25 \text{ kgf cm} = 2,67 \text{ Nm}$$

3.8 Eixo YY – Cálculo das guias lineares

Nesta secção realiza-se a validação do cálculo para as guias lineares do eixo YY', recorrendo aos critérios já definidos anteriormente para o eixo XX'.

3.8.1 Identificação das condições operativas

As condições operativas a considerar foram já definidas em 3.6, sendo a única diferença a instalação vertical das guias.

3.8.2 Seleção do tipo / referência das guias e patins

Dado o tipo de equipamento e a forma de aplicação foram seleccionados guias e patins da série MSA, tamanho 20 com configuração LE, em concordância dimensional com o eixo XX'.

3.8.3 Cálculo da carga aplicada

Considerando que não existem cargas aplicadas perpendiculares ao eixo YY', os patins estarão sujeitos apenas ao momento torsor, de acordo com as equações definidas no catálogo técnico da PMI (PMI - AMT, 2018) e apresentadas na figura 94.

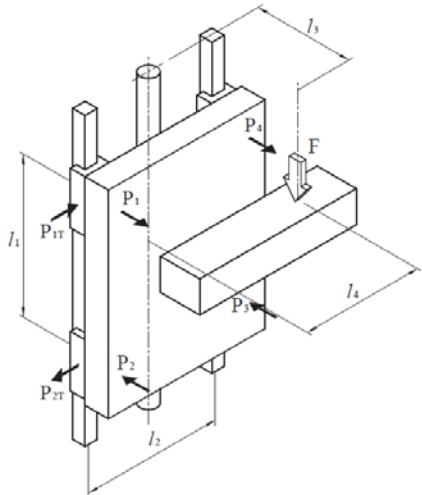
Type	Vertical application: Uniform motion or at rest
Operation Conditions	
Equations	$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{F \cdot l_3}{2 \cdot l_1}$ $P_{1r} = P_{2r} = P_{3r} = P_{4r} = \frac{F \cdot l_4}{2 \cdot l_1}$

Figura 94 - Cálculo da carga aplicada para montagem vertical (PMI - AMT, 2018)

3.8.4 Cálculo da carga equivalente

Dado que o eixo YY' possui também uma configuração com 2 patins, o cálculo da carga equivalente deve considerar o efeito dos momentos nos patins (PMI - AMT, 2018) (figura 95).

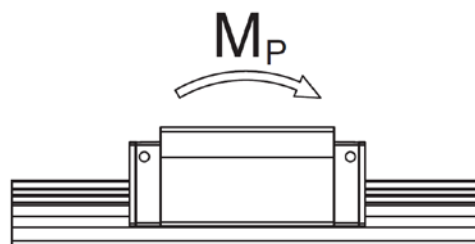


Figura 95 – Momento Mp de acordo com o catálogo PMI-AMT (PMI - AMT, 2018)

Nos casos em que existe movimento vertical e a força de avanço é transmitida para os patins, o momento nestes pode ser calculado de acordo com a seguinte expressão.

$$M = l_3 \times \frac{F_v}{2} \quad (63)$$

Em que:

F_v - força de avanço = 302,02 N;

l_3 - distancia entre o eixo da fresa e patins = 150 mm = 0,15 m;

$M = 45,3$ Nm.

Neste caso, a carga equivalente, por patim, é dada por:

$$P_E = C_0 \times \frac{M}{M_p} \quad (64)$$

Onde:

$C_0 = 39\,300$ N;

$M = 45,3$ Nm;

$M_p = 390$ Nm.

Em que a carga equivalente por patim é:

$P_E = 4564,85$ N.

As figuras 96 e 97 exemplificam os esquemas de montagem dos patins no eixo YY'.

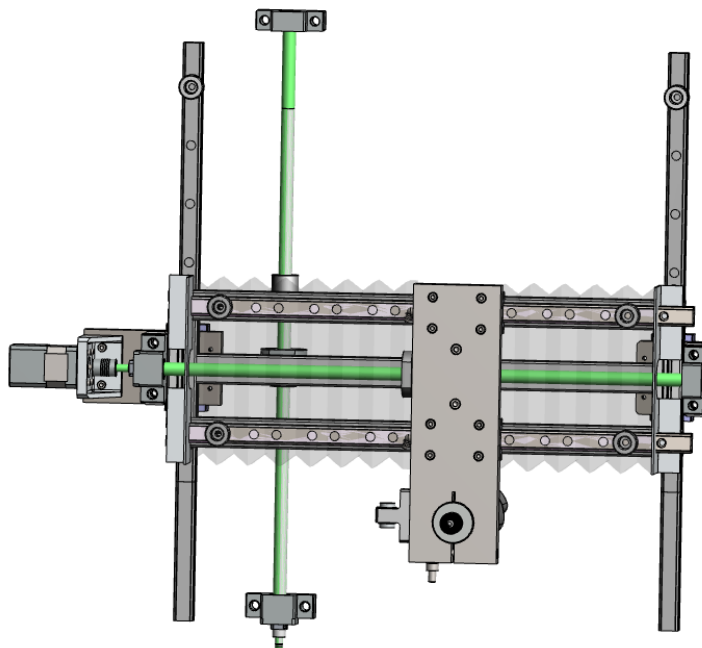


Figura 96 – Esquema de montagem do eixo YY'

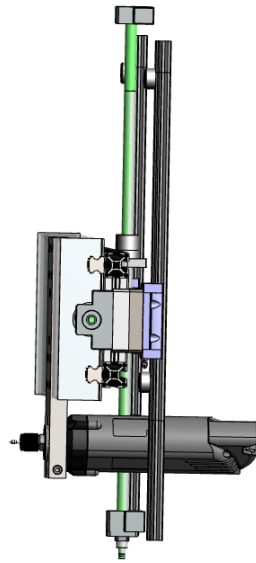


Figura 97 - Vista lateral eixo YY'

3.8.5 Cálculo do fator de segurança estático

O fator de segurança estático para o eixo YY' é dado pela expressão 13, em que:

$$M_o = 390,00 \text{ Nm};$$

$$M = 45,30 \text{ Nm};$$

$$f_s = 45,30.$$

Este coeficiente é muito superior ao pior cenário previsto, pelo que a aplicação desta solução de guiamento está também validada.

3.8.6 Cálculo da carga média

A carga média é calculada pela expressão 14, sendo que no caso do eixo YY', considerando que o ponto de ataque é realizado no ponto inferior de uma guia de tamanho 65, o diagrama de cargas/movimento simplificado será o mesmo já ilustrado na figura 61, mas com as seguintes cargas associadas a cada movimento.

- 1- Avanço até à posição de trabalho – carga a considerar $P = 0 \text{ N} :: 100 \text{ mm}$;
- 2- Deslocamento vertical – carga a considerar $P_E = 4\,564,85 \text{ N} :: 53 \text{ mm}$;
- 3- Deslocamento horizontal – carga a considerar $P = 0 \text{ N} :: 65 \text{ mm}$;
- 4- Deslocamento vertical – carga a considerar $P_E = 4\,564,85 \text{ N} :: 53 \text{ mm}$;
- 5- Deslocamento horizontal – carga a considerar $P = 0 \text{ N} :: 65 \text{ mm}$;
- 6- Recuo até à posição de parque – carga a considerar $P = 0 \text{ N} :: 100 \text{ mm}$.

O cálculo tem em consideração os seguintes dados:

$$E = 3 \text{ (guias de esferas)};$$

$$L = 430 \text{ mm};$$

$$P1 = 0 \text{ N};$$

$$L1 = 100 \text{ mm};$$

$$P2 = 4\,564,85 \text{ N}$$

$$L2 = 53 \text{ mm};$$

$$P3 = 0 \text{ N};$$

$$L3 = 65 \text{ mm};$$

$$P4 = 4\,564,85 \text{ N};$$

$$L4 = 53 \text{ mm};$$

$$P5 = 0 \text{ N};$$

$$L5 = 65 \text{ mm};$$

$$P6 = 0 \text{ N};$$

$$L6 = 100 \text{ mm};$$

$$Pm = 2\,862,24 \text{ N}.$$

Este valor será utilizado na secção 3.8.7 para cálculo da vida nominal em serviço.

3.8.7 Cálculo da vida nominal em serviço

Com o valor de carga média definido, a vida nominal prevista em km é dada pela expressão 15, em que:

$$fH = 1;$$

$$fr = 1 \text{ (} t_{\text{amb}} = 23 \text{ °C)};$$

$$fw = 1,5 \text{ (ligeiras vibrações)};$$

$$C = 23\,300 \text{ N};$$

$$P = P_m = 2\,862,24 \text{ N}.$$

Obtendo-se:

$$L = 7\,991,82 \text{ km}.$$

O tempo de vida em horas pode agora ser obtido pela expressão 16, em que:

$$L = 7\,991,82 \text{ km};$$

$$ls = 0,430 \text{ m};$$

$$n_1 = 2 \text{ (máximo: 2 ciclos minuto)}.$$

Obtendo-se:

$$L_h = 77\,440 \text{ horas}.$$

Supondo que o sistema é corretamente alinhado e lubrificado ao longo da sua vida em serviço, e ainda que este está em funcionamento 8 horas/dia, 240 dias/ano, pode-se considerar que o tempo de vida é de 40 anos.

3.8.8 Definição da rigidez do sistema de guiamento

A pré-carga FC, selecionada para XX', será utilizada em YY' por uma questão de coerência.

3.8.9 Definição da precisão

Foi definido anteriormente que a precisão "N" seria suficiente para a aplicação, sendo a mesma utilizada em XX' e YY'.

3.8.10 Proteção contra entrada de resíduos e lubrificação

Relativamente a este eixo, irão manter-se, genericamente, as mesmas condições que em XX' pelo, que se manterá a mesma tipologia de vedantes e intervalos de manutenção.

3.8.11 Conclusão

Após validação dos cálculos para o eixo YY', verifica-se que se pode manter a mesma solução de guiamento, sendo alterada apenas a configuração do patim para flange por uma questão de facilidade de montagem:

MSA 20 LE SS FC N :: Patins;

MSA 20 R 450 15 15 N :: Guias.

3.9 Eixo YY – Cálculo do fuso de esferas

De forma análoga à validação realizada para o eixo XX', irá ser avaliada a adequabilidade do fuso selecionado para o eixo YY'.

3.9.1 Definição da precisão e folga axial

Relativamente à precisão e folga axial, mantém-se a classe 7, coerente com o eixo XX'.

3.9.2 Definição do comprimento, diâmetro e passo

Irá utilizar-se o mesmo fuso de diâmetro 16 mm, passo 5 mm e comprimento de 650 mm.

3.9.3 Seleção do tipo de montagem do fuso e suportes

Neste eixo foi também selecionada a montagem fixo-apoiado, validando-se de seguida a solução.

3.9.4 Análise da carga axial máxima

A carga axial máxima é determinada através da figura 98.

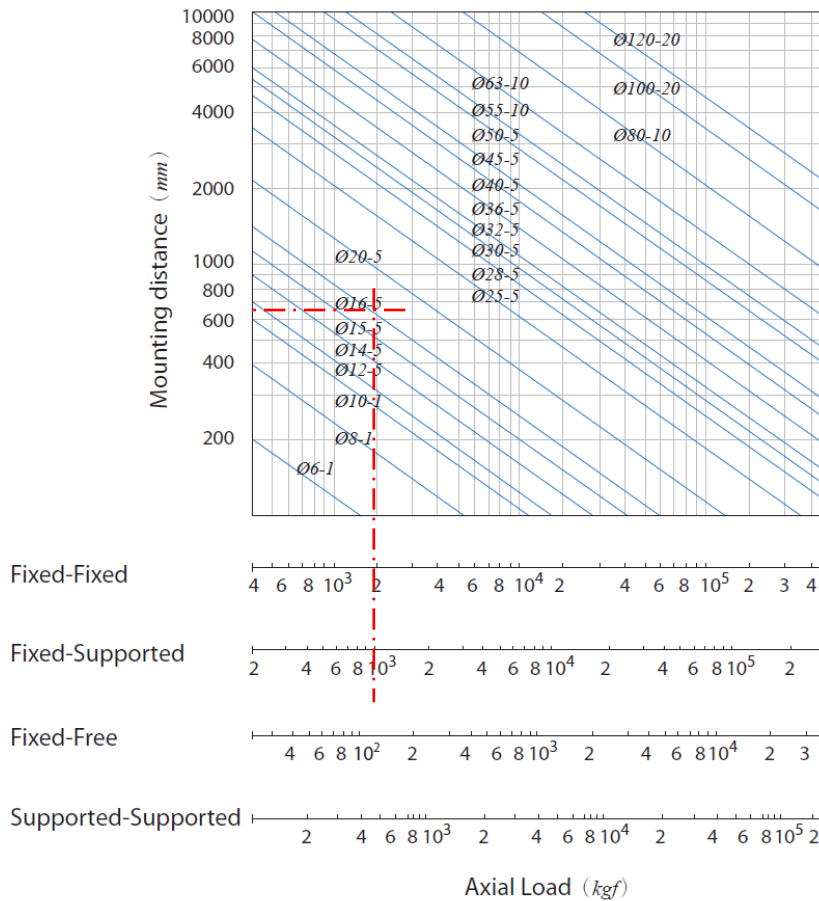


Figura 98 – Carga axial máxima em kgf em função do diâmetro exterior do fuso, tipo fixação e distância entre apoios (PMI - AMT, 2018)

Desta forma verifica-se que a carga axial limite é de, aproximadamente, 900 kgf (considere-se 9 000 N).

3.9.5 Análise da velocidade de rotação máxima

A validação da velocidade de rotação crítica será realizada no ábaco de seleção da figura 99.

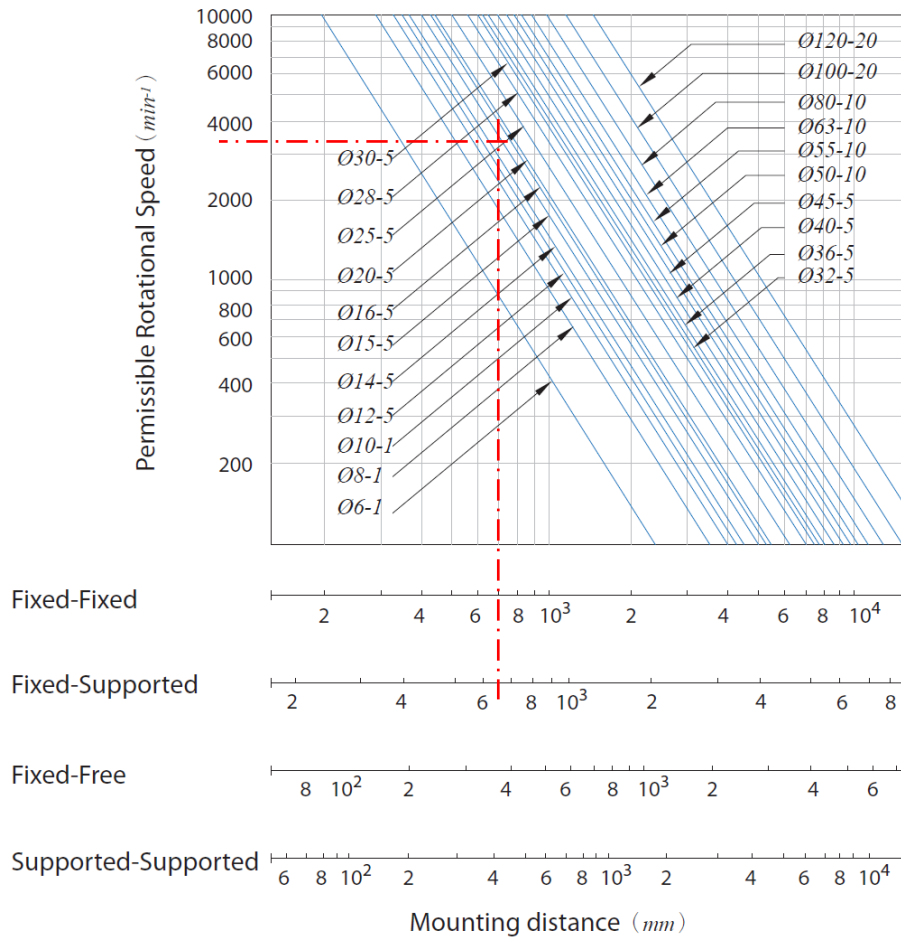


Figura 99 – Rotação admissível em função do diâmetro, comprimento e suporte (PMI - AMT, 2018)

Desta forma, facilmente se verifica que a velocidade máxima de rotação para o fuso selecionado é de aproximadamente 3800 rpm. Considerando que a velocidade pretendida é de 300 rpm, não existe risco de atingir a velocidade crítica.

3.9.6 Seleção da fêmea de esferas

Irá manter-se a seleção da fêmea utilizada no eixo XX', neste caso a referencia FSIN de diâmetro 16 mm, passo 5 mm na configuração B.

3.9.7 Avaliação da rigidez axial do sistema

A rigidez, à semelhança do cálculo para o eixo XX', será obtida pela figura 100.

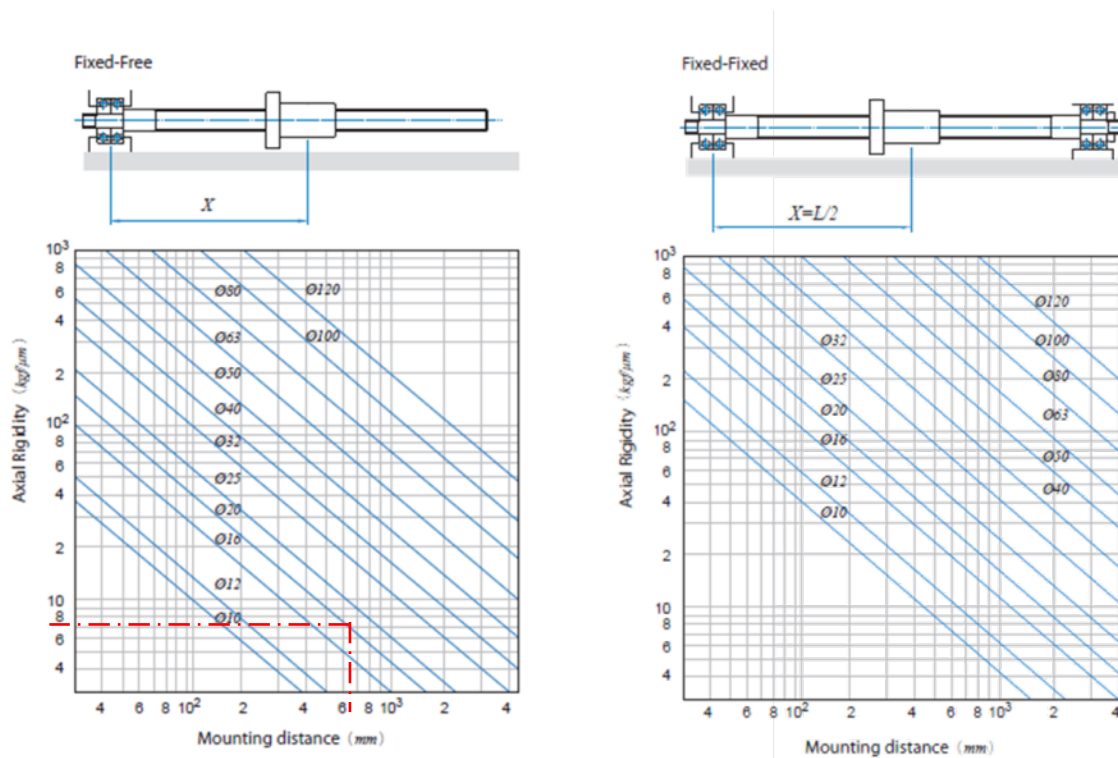


Figura 100 – Tratamento gráfico para obtenção da rigidez (PMI - AMT, 2018)

Neste caso, a rigidez axial de um fuso de diâmetro 16 mm e comprimento de 650 mm é de 7 kgf/μm. Dado que a aplicação não justifica a aplicação de uma fêmea com pré-carga, não se considera a rigidez da fêmea.

3.9.8 Análise da precisão de posicionamento

Em concordância com o eixo XX' foi estipulado um grau de precisão do equipamento que permite utilizar fusos e fêmeas de classe 7, com folga axial, e onde os efeitos da rigidez, pré-carga e dilatação podem ser considerados desprezáveis.

3.9.9 Cálculo do tempo de vida em serviço

Neste caso, a carga axial utilizada no cálculo da vida útil deve contemplar a massa completa do eixo XX', definida na figura 101 como 14,23 kg e que resulta numa carga axial total de:

$$F_a = 302,02 \text{ N} + 140,3 \text{ N} = 442,32 \text{ N} \approx 45 \text{ kgf}$$

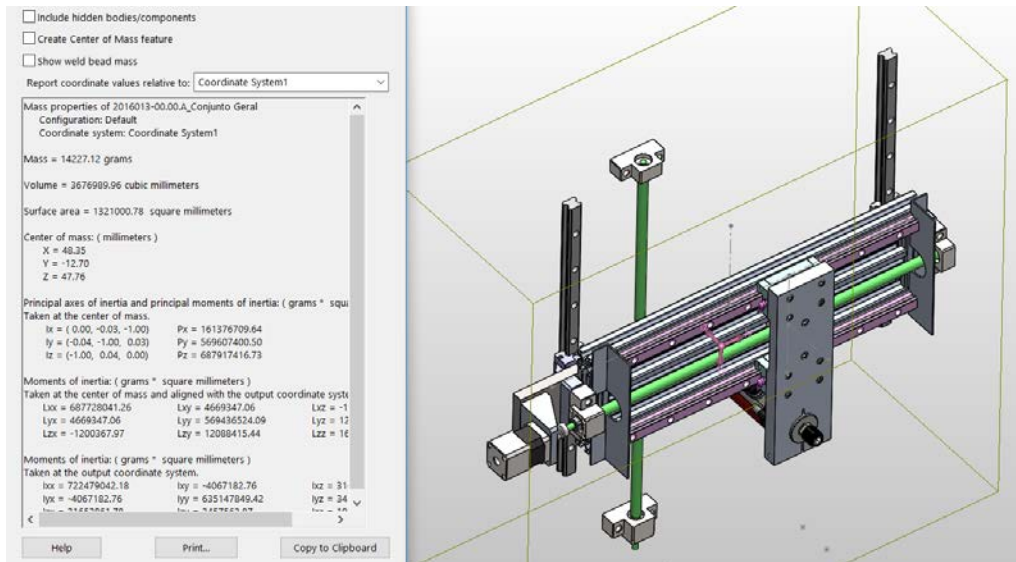


Figura 101 – Avaliação da localização da massa a deslocar pelo eixo YY em Solidworks®

As fórmulas a utilizar são as das expressões 45, 46 e 47, que definem o tempo de vida em rotações, horas e km e onde, considerando:

$$F_a = 45 \text{ kgf};$$

$$n = 300 \text{ rpm (rotação associada à velocidade linear máxima)};$$

$$C_a = 570 \text{ kgf};$$

$$f_w = 1.0 \text{ (fator de carga } p/\text{ velocidades inferiores a } 15 \text{ m/minuto)};$$

$$l = 5 \text{ mm (passo do fuso)}.$$

Obtém-se o seguinte tempo de vida:

$$L = 2032 \times 10^6 \text{ (rotações)};$$

$$L_t = 0,113 \times 10^6 = 112 \text{ 905 (horas)};$$

$$L_s = 10 \text{ 161 (km)}.$$

O valor obtido de L_t ultrapassa o tempo de funcionamento previsto de 20 000 h e o próprio tempo de vida dos guiamentos.

3.9.10 Considerações relativas à carga estática nominal e força axial admissível

No fuso e fêmea selecionados, a carga axial máxima permitida é igual à definida para o eixo XX':

$$F_{max} = 1 \text{ 100 kgf}$$

Considerando que a carga máxima calculada para este equipamento é de 45 kgf, o coeficiente de segurança é de 24,4.

3.9.11 Proteção contra entrada de resíduos e lubrificação

Nesta secção, mantém-se o estipulado para o fuso do eixo XX'.

3.9.12 Binário do motor e potência de acionamento

Para o equipamento em estudo considera-se uma situação de velocidade constante, dado que o tempo de aceleração é reduzido em comparação com o tempo em velocidade constante.

Considerando o pior cenário, elevação do eixo XX e simultaneamente a força de avanço, o binário motor necessário é definido pela expressão 43 como:

$$T_a = \frac{F_a \times l}{2 \times \pi \times \eta_1} = \frac{45 \times 5}{2 \times \pi \times 0,9} = 39,81 \text{ kgf cm} = 3.98 \text{ Nm}$$

3.10 Placa de suporte da fresa

A ligação entre a fresa, os patins e a fêmea de esferas do eixo XX' é realizada por uma placa de suporte com a configuração da figura 102.

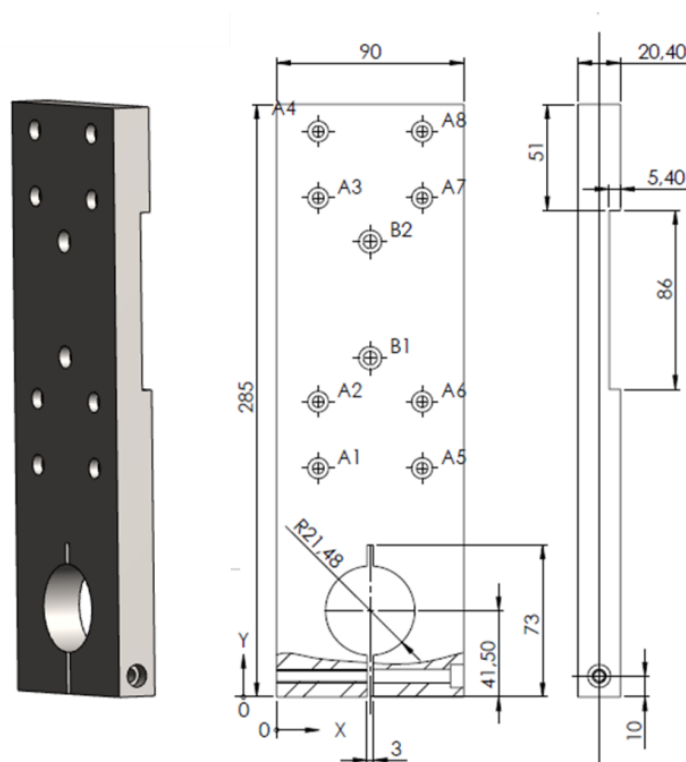


Figura 102 – Desenho da placa de suporte da fresa (elaboração própria)

Dado que é nesta placa que se concentram os esforços durante o movimento de chanfro, foi realizado um estudo pelo Método de Elementos Finitos para validar a possibilidade de construção em alumínio da série 6063 – T1. Neste estudo, cujo relatório está no anexo 6.14, foi realizada uma malha com um tamanho de elemento de 7,6 mm, que resulta numa discretização de 12756 elementos e 20920 nós (figura 103).



Figura 103 – Representação do suporte Kress com os elementos de malha

Nesta análise, considerou-se que todas as cargas geradas pela operação de chanfro e transporte do motor Kress são descarregadas na secção de aperto deste à placa. Esta placa de suporte transfere então estas forças para os patins lineares através dos parafusos de fixação CHC ISO 4762/DIN 912 M5x6 mm, na classe 8.8 (ISO, 2018), que se consideram como os 8 pontos de apoio na simulação (figura 104).

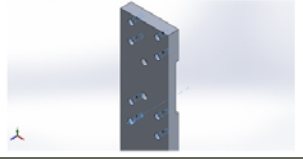
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 8 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	0.00196294	604.085	0.0177552	604.085
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Figura 104 – Identificação das 8 faces de apoio da placa de suporte Kress

A distribuição da carga gerada pelas operações de chanfro, assim como a identificação dos pontos críticos, em termos de força e deslocamento, nos movimentos de subida, descida e deslocamento lateral, estão definidos de seguida.

3.10.1 Estudo das cargas geradas no movimento vertical descendente

Neste movimento, considera-se uma força de 302,02 N aplicada no sentido descendente e que descarrega no colar de aperto da Kress, conforme as figuras 105 e 106. Considera-se também que o motor Kress tem um comportamento perfeitamente rígido.

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 2 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, -302.02 N

Figura 105 – Aplicação da carga no movimento vertical descendente

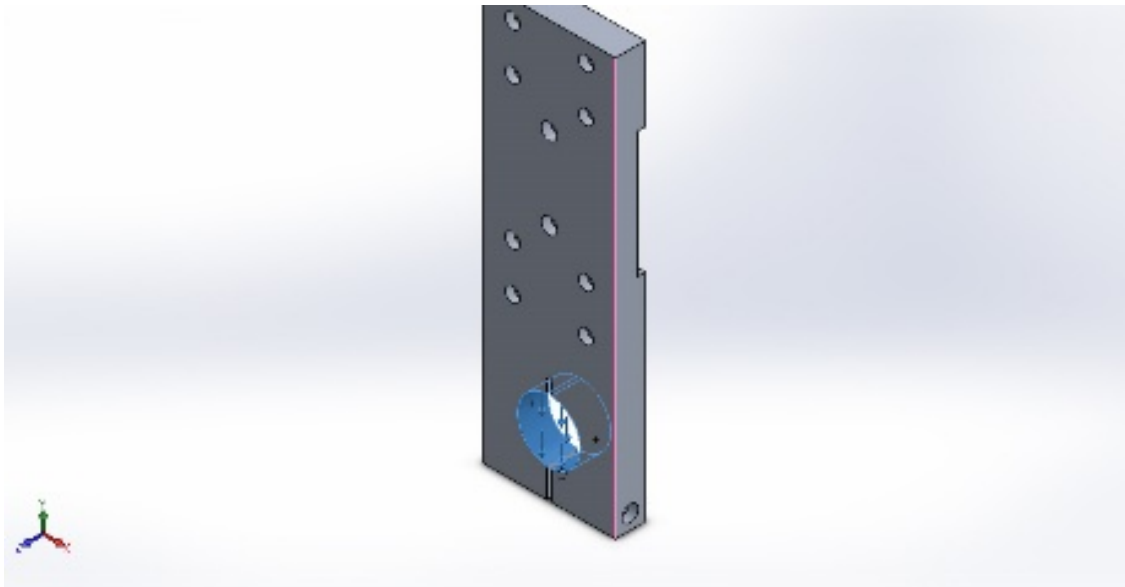


Figura 106 – Detalhe da aplicação da carga no movimento vertical descendente

Pela análise da simulação, realizada pelo critério de von Mises, pode-se verificar que neste movimento a tensão equivalente máxima é atingida no nó 17537, com o valor de $2,35 \times 10^6$ N/m² (figura 107), com uma deformação elástica associada de $4,633 \times 10^{-3}$ mm no lugar geométrico 636 (figura 108).

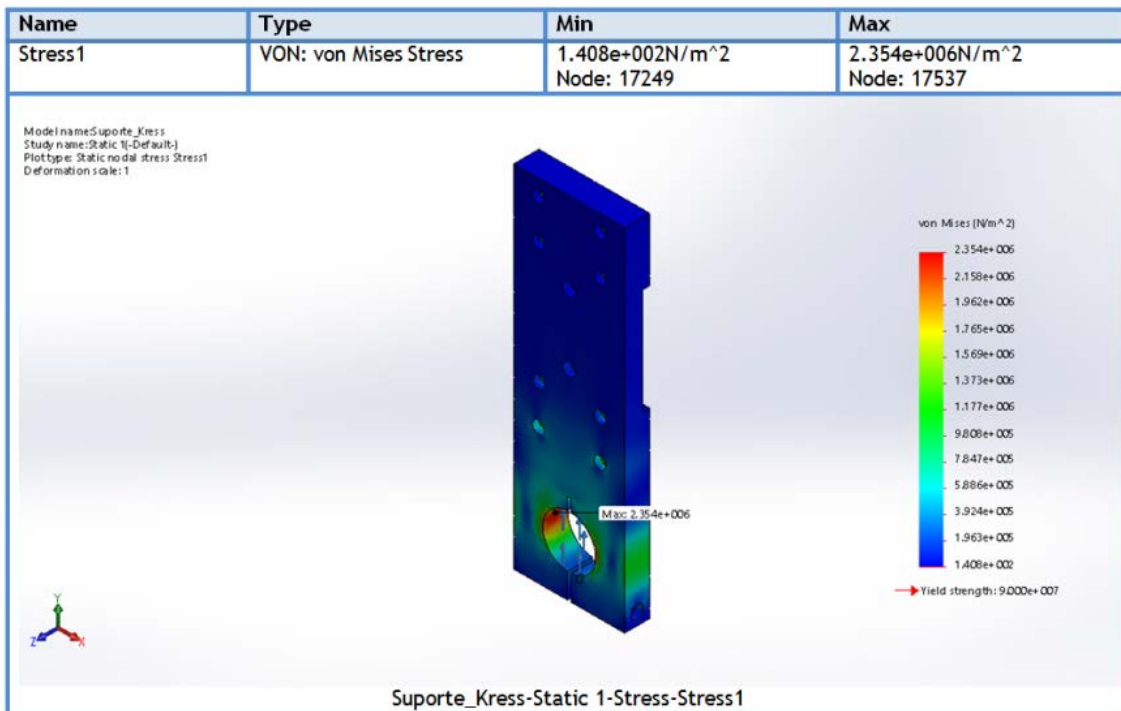


Figura 107 - Análise das tensões no movimento vertical descendente

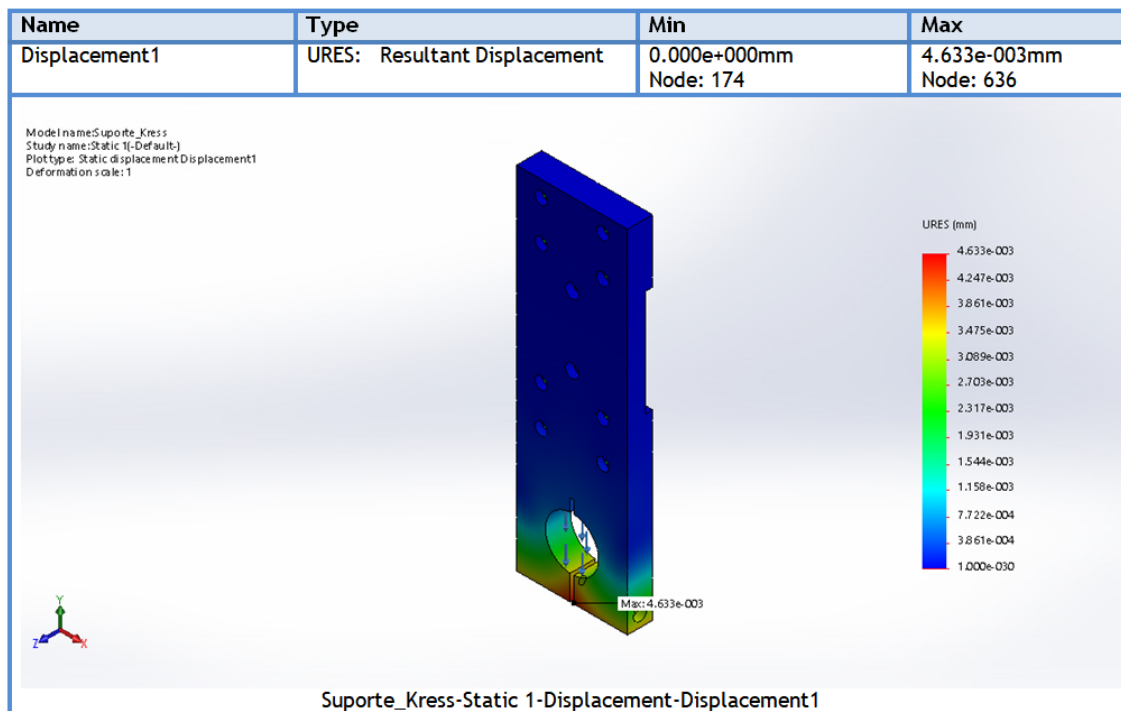


Figura 108 - Análise das deformações no movimento vertical descendente

3.10.2 Estudo das cargas geradas no movimento vertical ascendente

Neste caso, as condições são simétricas ao estudo anterior, considerando-se uma força de 302,02 N aplicada no sentido ascendente e que descarrega no colar de aperto da Kress, conforme a figura 109, detalhado na figura 110.

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 2 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 302.02 N

Figura 109 - Aplicação da carga no movimento vertical ascendente

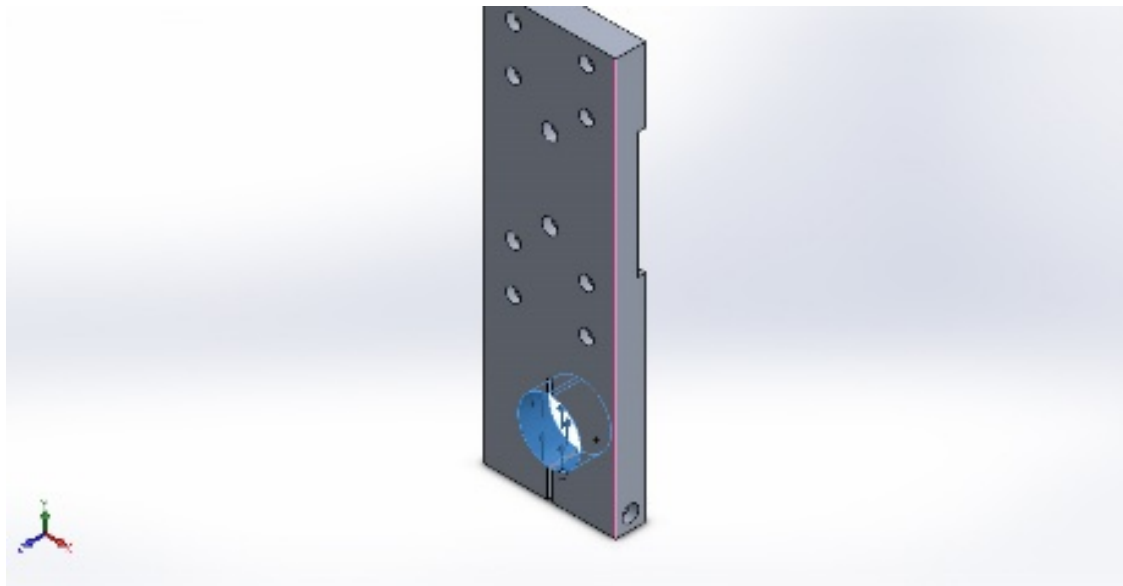


Figura 110 - Detalhe da aplicação da carga no movimento vertical ascendente

Nesta simulação, a tensão equivalente máxima é atingida no lugar geométrico 17537, com o valor de $2,35 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (figura 111) e com uma deformação elástica associada de $4,633 \times 10^{-3} \text{ mm}$ no lugar geométrico 636 (figura 112).

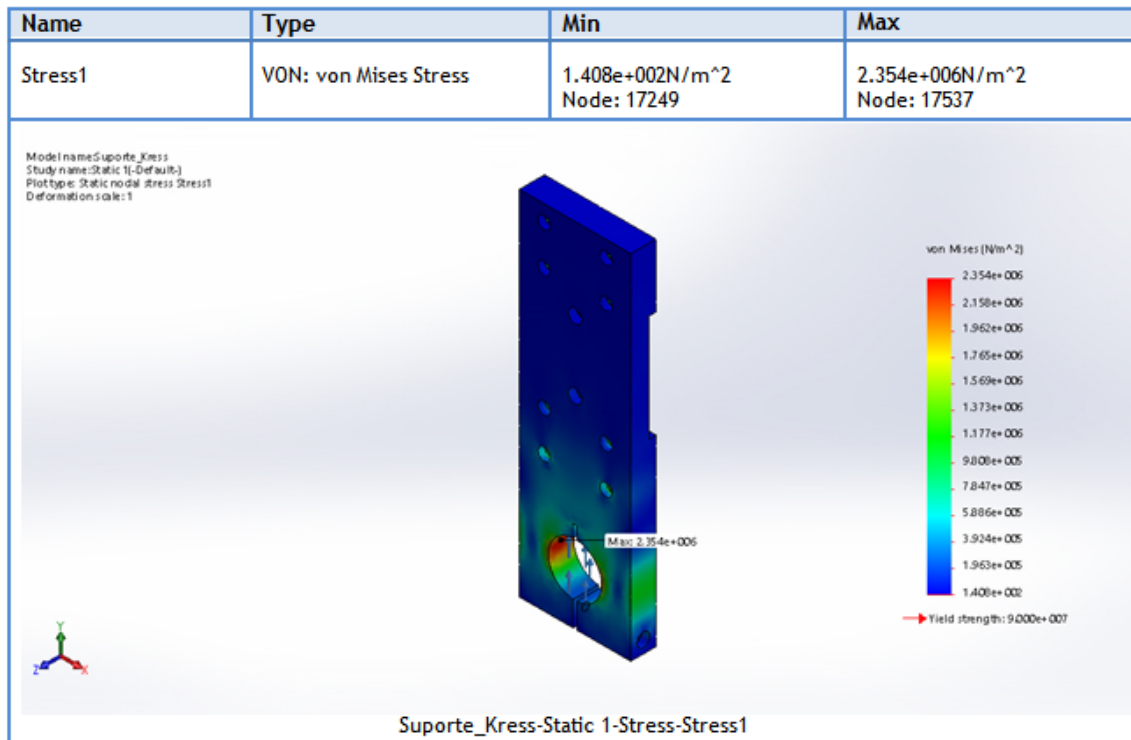


Figura 111 - Análise das tensões no movimento vertical ascendente

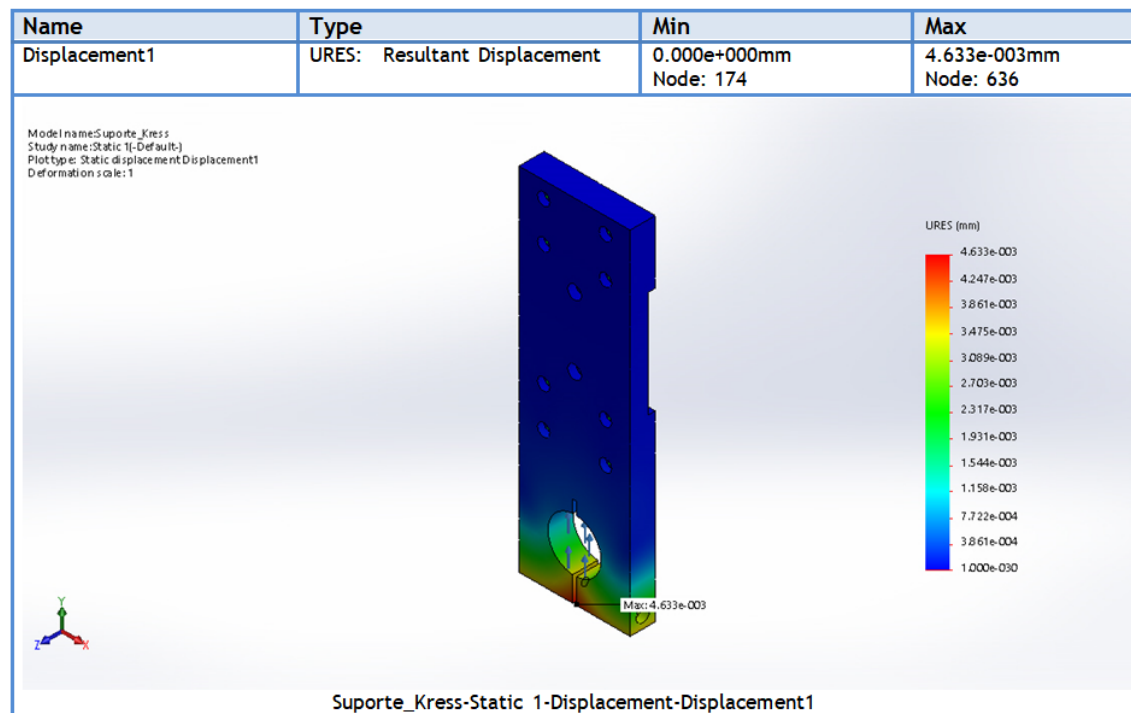


Figura 112 - Análise das deformações no movimento vertical ascendente

3.10.3 Estudo das cargas geradas no movimento horizontal

Neste movimento, considera-se uma força de 302,02 N aplicada lateralmente e que descarrega no colar de aperto da Kress. Por semelhança de funcionamento, considera-se que as tensões e deformações associadas ao movimento em qualquer dos sentidos são simétricas (figuras 113 e 114).

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, -302.02 N

Figura 113 - Aplicação da carga no movimento lateral

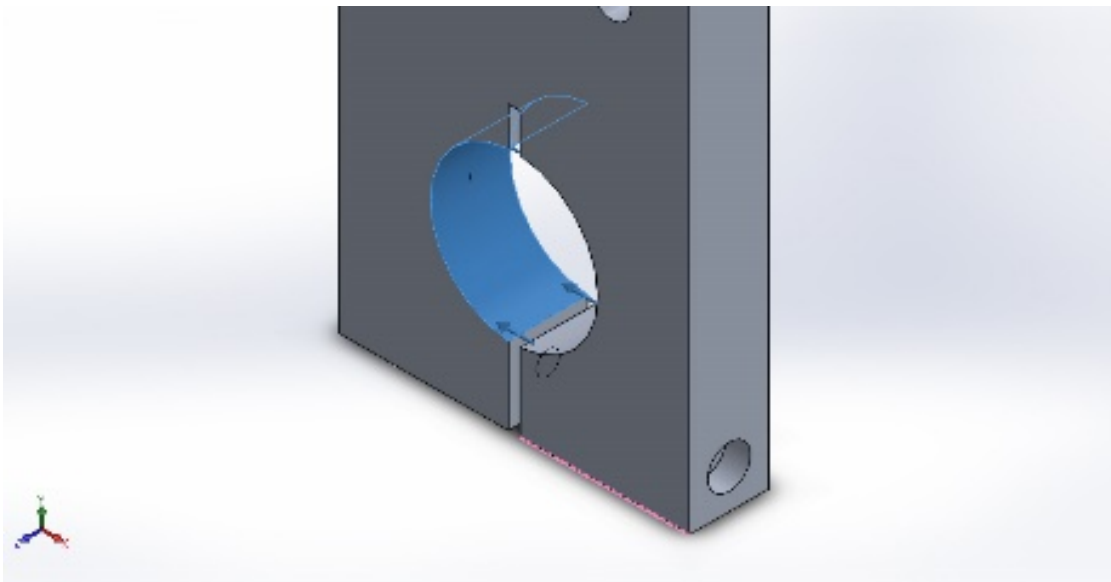


Figura 114 - Detalhe da aplicação da carga no movimento horizontal

Nesta simulação, verificam-se os valores mais elevados de tensão equivalente máxima.

Este valor é atingido no lugar geométrico 10135 (figura 115), com o valor de $3,55 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, com uma deformação elástica associada de $7,612 \times 10^{-3} \text{ mm}$ no lugar geométrico 656 (figura 116).

Sendo este o caso crítico, a seleção do material está também validada pois a tensão de cedência para este alumínio é de $90,00 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, o que resulta num coeficiente de segurança de 25.

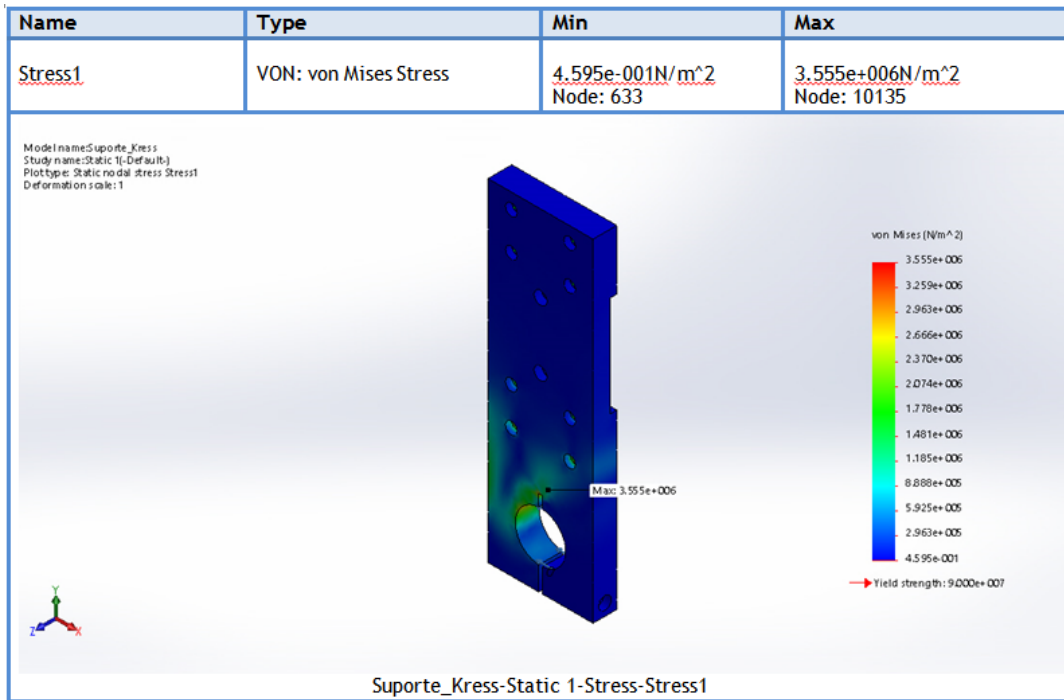


Figura 115 - Análise das tensões no movimento horizontal

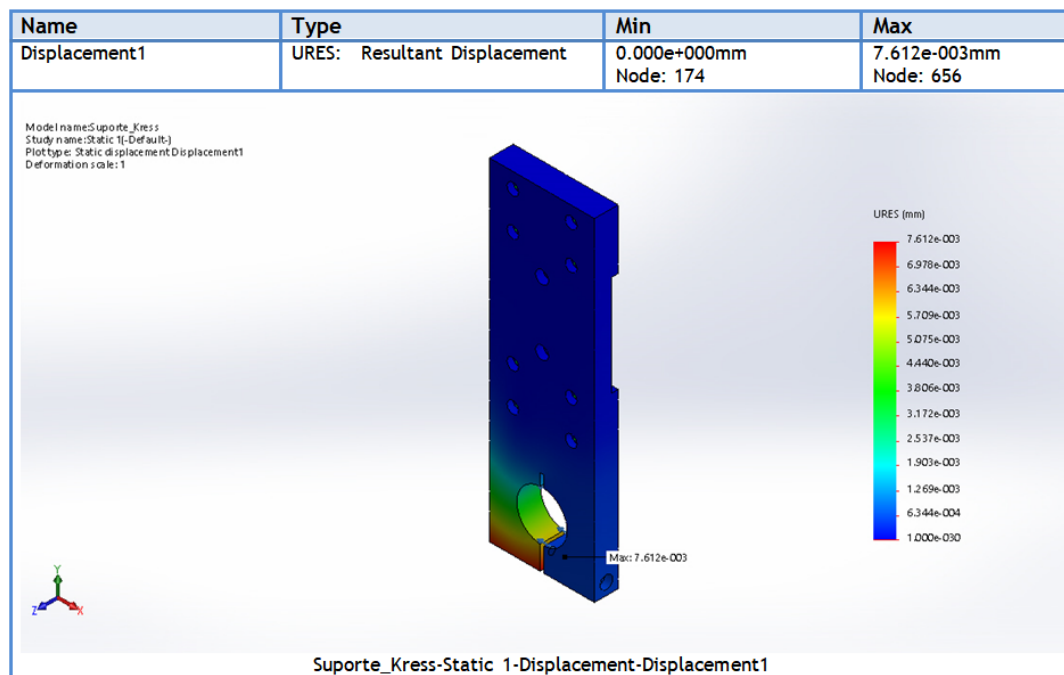


Figura 116 - Análise das deformações no movimento horizontal

3.11 Motorização dos eixos

A potência requerida para os motores de movimentação dos eixos pode ser obtida através das seguintes fórmulas, considerando-se que esta corresponde à potência de avanço necessária para movimentar a fresa. O cálculo da potência de avanço é realizado através da expressão:

$$Pv = \frac{u(Fr + Fv)}{\eta \text{ elétrico} \times \eta \text{ mecânico}} \quad (65)$$

$$Fr = mb \times g \times \mu \quad (66)$$

em que:

Pv - Potência de avanço (W);

$U = 0,025$ m/s = Velocidade;

Fr - Força de atrito (N);

$Fv = 302,02$ N = Força de avanço (N);

$\eta \text{ elétrico}$ - Rendimento elétrico dos motores utilizados (considerado 0,62, assumindo a utilização de motores de passo com controlo vetorial (Derammelaere S., 2016), cenário menos favorável);

$\eta \text{ mecânico}$ - Rendimento mecânico dos fusos (considerado $0,90 \times 0,9 = 0,81$ dado ser uma transmissão por fuso de esferas e guias lineares (PMI - AMT, 2018));

mb - Massa total em movimento (kg);

$g = 9,81$ m/s² = aceleração da gravidade;

$\mu = 0,004$ = coeficiente de atrito (estimado para rolamentos de esferas).

Para eixo XX', a massa a considerar é:

$mb1$ = massa da fresa + massa do motor + massa dos patins + massa da placa suporte + massa da fêmea de esferas;

$mb1 = 0,1$ (aprox.) + $1,7$ + $0,78$ + $1,38$ + $0,19 = 4,15$ kg.

em que:

$Fv = 302,02$ N (Força de avanço);

$Fr1 = 4,15 \times 9,81 \times 0,004 = 0,16$ N.

Obtendo-se:

$Pv1 = 15,04$ W.

Para o eixo YY é necessário considerar a massa total do eixo XX' e os componentes adicionais do eixo YY':

$Fv2 = 302,02$ N (Força de avanço) + $(14,23 \times 9,81)$ N peso do módulo = $441,62$ N;

$Mb2$ - Massa do eixo XX' + Massa dos 2 patins + massa do fuso;

$$Mb2 = 14,0 + 2 \times 0,52 + 0,19 = 15,23 \text{ kg.}$$

Em que:


$$Fr2 = 15,23 \times 9,81 \times 0,004 = 0,60 \text{ N.}$$

Resultando:

$$Pv2 = 22,01 \text{ W.}$$

Assim, para o eixo XX' será necessário um motor que disponibilize 3 Nm (calculado em 3.7.14) e potência de 15 W e, para o eixo YY, um motor que disponibilize 4 Nm (calculado em 3.9.12) e 22 W de potência.

No caso dos motores de passo, estes são seleccionados pelo binário. Desta forma considera-se para o eixo XX', o motor da figura 117 da empresa SOROTEC.



Stepping Motor 5.0A Bipolar 3 NM

Product No.: ESM.6088.50

Shippingtime: ● immediately available, 2-3 Days (abroad may vary)

69,00 EUR
incl. 19% tax excl. [Shipping costs](#)

[Add to cart](#)

[Add to wish list](#)

Weight: 1,4 kg per

[Print product information sheet](#)

PRODUCT DESCRIPTION

NEMA 23 Compatible frame Hybrid Stepping Motor with a holding torque of 3 Nm or 425 oz in and Single shafts.

Technical Specifications:

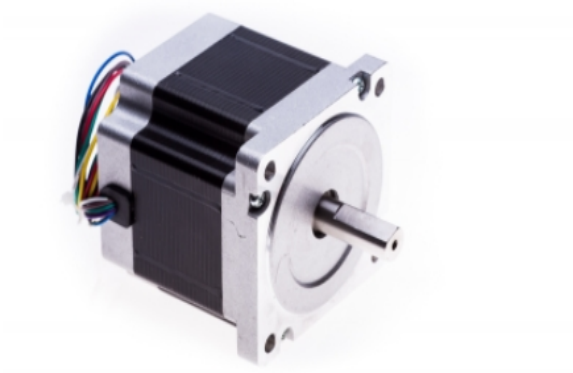
- Angle 1.8, 200 steps
- Size: 60.5 mm width & height, 88 mm length.
- Shaft: 8 mm
- Cable length 30 cm
- Weight: approx 1.4Kg

This stepping motor is optimized for use with our triple-BEAST and Stepping drives ND556 and DM556

Figura 117 – Ficha de produto e características para motor de 3 Nm do eixo XX' (SOROTEC gmbh, 2017)

Para o eixo YY' o motor seleccionado é o apresentado na figura 118.

Stepping Motor 5.9A Bipolar 5.5 NM DS



Product No.: ESM.8677.59MD

Shippingtime: ● immediately available, 2-3 Days [\(abroad may vary\)](#)

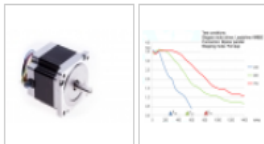
93,90 EUR

incl. 19% tax excl. [Shipping costs](#)

1 **Add to cart**

[Add to wish list](#)

Weight: 2,3 kg per



[Print product information sheet](#)

PRODUCT DESCRIPTION

NEMA 34 Compatible frame Hybrid Stepping Motor with a holding torque of .5.5 Nm and double shafts.

Technical Specifications:

- Angle 1.8, 200 steps
- Size: 86 mm width & height, 77 mm length.
- Shaft: 12.7 mm / 8 mm
- Series operation 4.2 A, 3,9 Nm, 0.75 ohms
- Parallel operation 5.9 A, 5,5 Nm, 0.38 ohm
- Cable length 30 cm
- Weight: approx 2.2Kg

Figura 118 - Ficha de produto e características para motor de 5,5 Nm do eixo YY' (SOROTEC gmbh, 2017)

3.11.1 Suporte dos motores

Os suportes dos motores de passo, à semelhança da placa de suporte da fresa, são construídos em alumínio da série 6063 – T1. Apesar de existirem suportes normalizados, dada a vantagem de modificação de dimensões, de forma à sua integração na estrutura de alumínio, foi dada preferência à sua construção integral por maquinagem em CNC (figura 119).

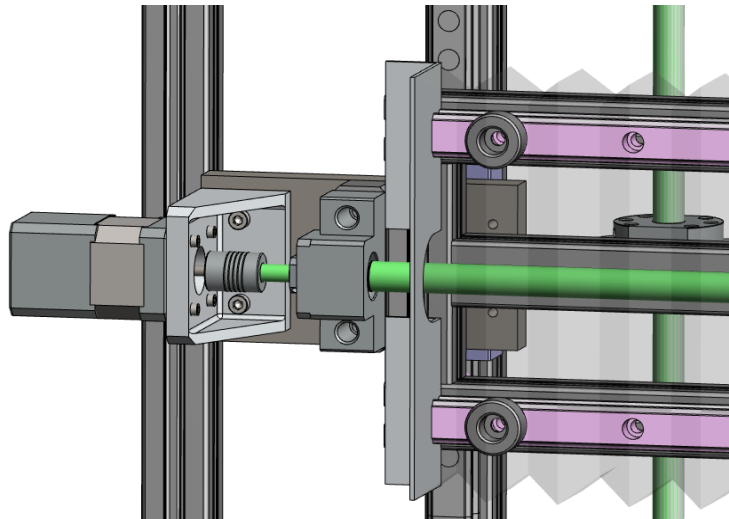



Figura 119 – Esquema de montagem dos suportes dos motores

3.11.2 Acoplamento aos fusos

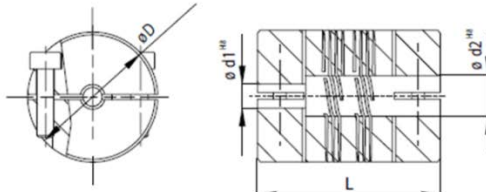
De forma a manter a rigidez do sistema de transmissão, eliminando a folga radial e compensando eventuais desalinhamentos de montagem, utilizam-se acoplamentos de mola espiral da DINAL com a referência E6AV 1927 08/08. Estes acoplamentos, realizados a partir de uma única peça de alumínio são adequados para aplicações de precisão e acumulam a função de fusível mecânico no caso de alguma colisão no interior do equipamento. O resumo da ficha de características está disponível na figura 120.



E6AV

Giunti realizzati da un unico pezzo di materiale con spirale a due principi con sistema di fissaggio a morsetto. Idoneo per un'infinita gamma di applicazioni. Assenza di gioco, assenza di vibrazioni e manutenzioni. Ottima capacità di correggere errori di disallineamento ed elevata rigidità torsionale. Coppie elevate. Possono lavorare a temperature comprese tra -40 °C e 140 °C.

Couplings obtained from one piece of material with double start. Clamp fixing system. Suited to countless applications. Backlash, vibration and maintenance free. Unique misalignment correction; high torque rigidity. High maximum torque. Working temperature range: -40 °C + 140 °C.



Dati Tecnici Technical data	Velocità massima Maximum speed	Coppia Massima Maximum torque	Disallineamento radiale max. Radial misalignment max.	Disallineamento assiale max. Axial misalignment max.	Disallineamento angolare max. Angular misalignment max.	Rigidità torsionale Torsional stiffness	Rigidità radiale Radial stiffness	Momento di inerzia Moment of inertia	Coppia di serraggio max. Clamping torque max.	Peso - Weight	Materiale Material
Unità Unit	min ⁻¹	Nm	mm	mm	Grad/ degree	Nm/rad	N/mm	gcm ²	Ncm	g	
E6AV1927	5.000	5,3	± 0,25	± 0,25	± 7	40	50	7	40	12	Alluminio / Aluminium
Grandezza Size	ø D mm.	Length L - mm	Filetto vite Screw thread		d1/d2						
E6AV1927	19,1	26,5	M2,5		05/06		06/06	08/08	08/10	10/10	

Figura 120 – Resumo das características do acoplamento dos motores de passo aos fusos de esferas

3.11.3 Suportes dos fusos

De acordo com o estipulado anteriormente, os suportes dos fusos deverão ser do tipo fixo - apoiado. Esta solução de fixação existe comercialmente, tendo sido selecionadas as referências BK e BF (figura 121).

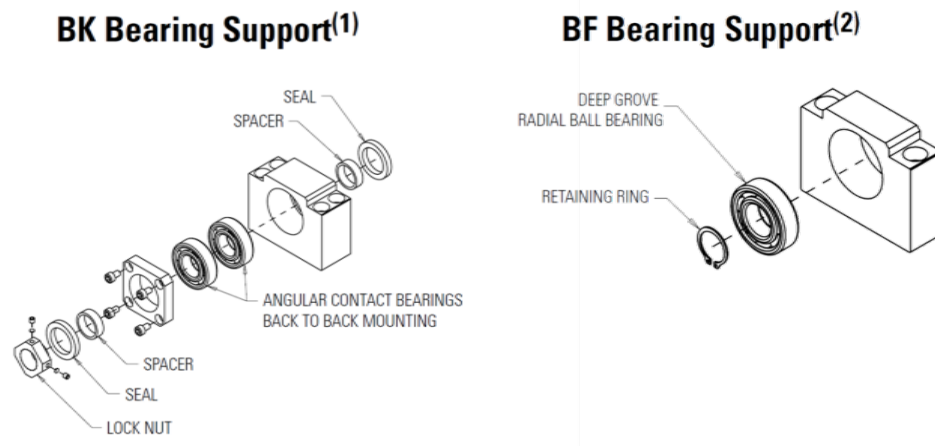


Figura 121 – Vista explodida dos suportes BK e BF (HIWIN, 2017)

Os suportes tipo BK são fabricados em aço e possuem uma solução de montagem com 2 rolamentos axiais (ref. 7000A P0 (HIWIN, 2017)) com montagem simétrica que lhes permitem absorver cargas axiais até aos 2000 N em qualquer sentido.

Os suportes BF possuem um rolamento tipo 608ZZ adequado para cargas radiais. Este rolamento é fixo ao fuso através de um anel elástico (S 08) e, dado que o suporte possui um furo passante, o rolamento pode deslizar na caixa do suporte no caso de dilatação do fuso sem provocar fenómenos de encurvadura.

As fichas técnicas e dimensionais para estes produtos estão disponíveis no anexo 6.12.

3.11.4 Foles de proteção

De forma a evitar a entrada de partículas nas recirculações de esferas dos guiamentos e dos fusos de esferas, o equipamento prevê a instalação de foles de proteção nos eixos XX' e YY'.

Os foles e blindagens de proteção são genericamente aplicados em equipamentos industriais para cumprir (pelo menos) uma das seguintes funcionalidades:

- Proteção do operador - vedando o acesso do mesmo a locais perigosos do equipamento, nomeadamente massas em movimento (como no caso das plataformas elevatórias);
- Proteção do próprio equipamento – prevenindo a entrada de objetos estranhos que possam danificar um componente crítico;

- Estéticas, para ocultar componentes que prejudiquem o design do equipamento.

Quando se trata de proteção do operador, pode-se ainda considerar a possibilidade de utilizar barreiras imateriais. No entanto, estes componentes não são uma barreira física pelo que não evitam o contacto, simplesmente sinalizam ou inativam o movimento nos equipamentos (figura 122).

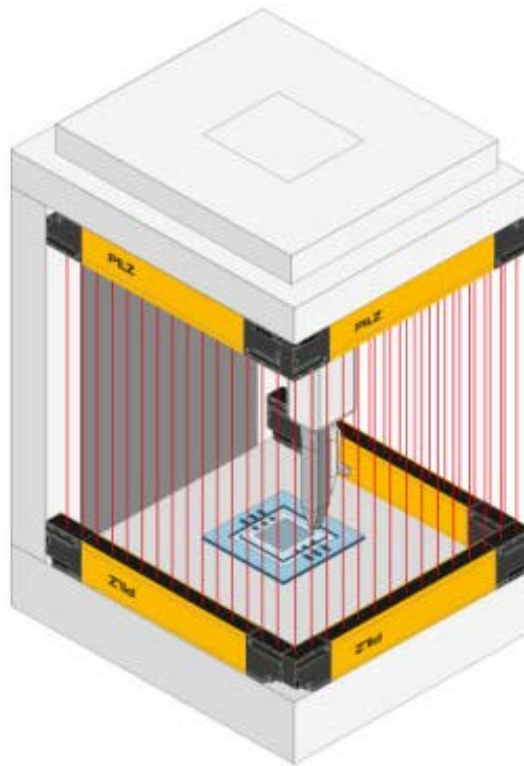


Figura 122 - Exemplo de aplicação de uma barreira imaterial PILZ (PILZ, 2018)

Todos os foles de proteção fabricados pela PEI (representada REIMAN) são construídos de acordo com o equipamento onde são aplicados e especificações da aplicação.

As várias possibilidades de proteções a integrar são as seguintes (PEI, 2017) (figura 123):

- Proteções metálicas telescópicas;
- Proteções de rolo (em tecido, aço inox ou perfil de alumínio);
- Foles planos (com ou sem laminas de chapa);
- Foles para guias lineares (dimensões pré-definidas);
- Foles para plataformas elevatórias;
- Foles redondos para veios e fusos.



Após seleção do tipo de fole mais adequado para a aplicação, será necessário responder ao questionário que se apresenta na figura 124.

FLAT COVERS

Questionnaire for Thermic-Welded Covers

<p>1 Type of machine on which the COVERS are to be installed:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> METAL working machine</p> <p><input type="checkbox"/> MARBLE working machine</p> <p><input type="checkbox"/> GOLD working machine</p> <p><input type="checkbox"/> PAPER working machine</p> <p><input type="checkbox"/> FABRIC working machine</p> <p><input type="checkbox"/> GLASS working machine</p> <p><input type="checkbox"/> FOOD working machine</p> <p><input type="checkbox"/> PHARMACEUTICAL working machine</p> <p><input type="checkbox"/> AGRICULTURAL working machine</p> <p><input type="checkbox"/> TANNING working machine</p> <p><input type="checkbox"/> CLAY working machine</p> <p><input type="checkbox"/> WOOD working machine</p> <p><input type="checkbox"/> Other</p>	<p>1 Type of material falling on the covers:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Steel shavings</p> <p><input type="checkbox"/> Cast iron shavings</p> <p><input type="checkbox"/> Brass shavings</p> <p><input type="checkbox"/> Aluminum shavings</p> <p><input type="checkbox"/> Wood shavings</p> <p><input type="checkbox"/> Ambient dust</p> <p><input type="checkbox"/> Grinding swarf</p> <p><input type="checkbox"/> Welding splatter</p> <p><input type="checkbox"/> Other</p> <p>Liquids to which the covers will be exposed:</p> <p><input type="checkbox"/> Water/steam</p> <p><input type="checkbox"/> Coolant/oils</p> <p><input type="checkbox"/> Oils with a viscosity of ISO.....</p> <p><input type="checkbox"/> Other</p>	<p>1 Amount of material falling on the covers: 0 Kg</p> <p>Temperature of material falling on the covers: Tamb=23 °C</p> <p>Temperature of work area: Tamb=23 °C</p> <p>Max. rapid travel speed: 1,5 m/min.</p> <p>Max. acceleration: -0 g</p> <p>Max. working motions per hour: 120</p> <p>Max. daily working hours: 8</p>
<p>1 Type of cover: <input checked="" type="checkbox"/> Thermic-Welded <input type="checkbox"/> Thermic-Welded with fixed laminations <input type="checkbox"/> Thermic-Welded with flexible laminations</p> <p>Working position: <input type="checkbox"/> Horizontal <input checked="" type="checkbox"/> Vertical <input checked="" type="checkbox"/> Frontal</p> <p>Cover shape: <input type="checkbox"/> UL-OS <input type="checkbox"/> UL-35 <input type="checkbox"/> TL-DXC <input type="checkbox"/> QL-CAP <input type="checkbox"/> CL-SIM</p> <p><input type="checkbox"/> UL-15 <input type="checkbox"/> DL-DXC <input type="checkbox"/> TL-DXI <input type="checkbox"/> QL-RETT <input type="checkbox"/> QL-ASI <input type="checkbox"/> CL-ASI</p> <p><input type="checkbox"/> UL-25T <input checked="" type="checkbox"/> TL-SIM <input type="checkbox"/> QL-QUAD <input type="checkbox"/> QL-ASI <input type="checkbox"/> CL-ASI</p> <p>TEMAT Fabric material: <input type="checkbox"/> 106 <input checked="" type="checkbox"/> 015 <input type="checkbox"/> 151 <input type="checkbox"/> 164 <input type="checkbox"/> 165 <input type="checkbox"/> 169 <input type="checkbox"/> 017 <input type="checkbox"/> 020</p> <p>Stiffener material: <input checked="" type="checkbox"/> PVC 0,5 <input type="checkbox"/> PVC 1,0 <input type="checkbox"/> PVC 1,5</p> <p>Flange material: <input checked="" type="checkbox"/> AL 2,0 <input type="checkbox"/> AL 3,0 <input type="checkbox"/> AC 2,0 <input type="checkbox"/> AC 3,0 <input type="checkbox"/> AC 4,0</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> PVC 2,0 <input type="checkbox"/> PVC 3,0</p> <p>Lamination material: <input type="checkbox"/> AL <input type="checkbox"/> STAINLESS</p> <p>Flange 1 connection system: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> G <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> I</p> <p>Flange 2 connection system: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> G <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> I</p>		
<p>1 P.A.= Open length X=395 ; Y= 430 mm</p> <p>P.C.= Closed length X= 40 ; Y=40 mm</p> <p>Stroke= X= 150 ; Y=150 mm</p> <p>a= Outside height 45 mm</p> <p>B= Outside width X= 190 ; Y=560 mm</p> <p>x= Fold height 19 mm</p> <p>adx= Outside height, rt. mm</p> <p>asx= Outside height, lt. mm</p> <p>d= Return mm</p> <p>ddx= RT. return mm</p> <p>dsx= LT. return mm</p> <p>asb= Overall drive dimensions mm</p> <p>L= Lamination height mm</p> <p>Z= Overall lamination dimensions mm</p>		
<p>1 Company name</p> <p>Phone: E-mail:</p> <p>Quantity</p> <p>Annual demand</p> <p>Date</p> <p>Notes</p>		

NOTE: The data fields and/or tables marked by **1** are the least ones to be filled in order to give you a quotation. Please send an e-mail to info@pei.eu or a fax to +39 051 6464840.

Frontal

Elko XX
Qt= 2
p/guiba: MSA 20 R
X=19mm

perfil: MSA 20 R

Vertical

Elko YY
Qt= 2
p/guiba: MSA 20 R
X=19mm

perfil: MSA 20 R

Reproduction of this page is strictly prohibited.

Figura 124 - Questionário de fabrico de folos (PEI, 2017)

A importância do preenchimento deste questionário prende-se principalmente com a necessidade de definir:

- Tipo de material em que os foles são fabricados, dado que a sugestão do material pode ser alterada pelo fabricante em função dos requisitos;
- Avaliar a necessidade de algum tipo de guiamento nas alhetas internas (neste caso o desenho das alhetas acompanha o perfil das guias de forma a funcionar como guiamento);
- Avaliar a geometria para permitir inclinação de descarga de aparas;
- O tipo de material, as flanges e o tipo de fixação (foi escolhida uma flange de desmontagem rápida de fixação por velcro).

O material selecionado é o TEMAT 015, uma combinação de Poliuretano + Poliéster + Poliuretano, com 0,25 mm de espessura e adequado para trabalhar em temperaturas dos -30°C aos 90°C, com contacto pontual de material a temperaturas de 200 °C.

Flange Fastening Systems

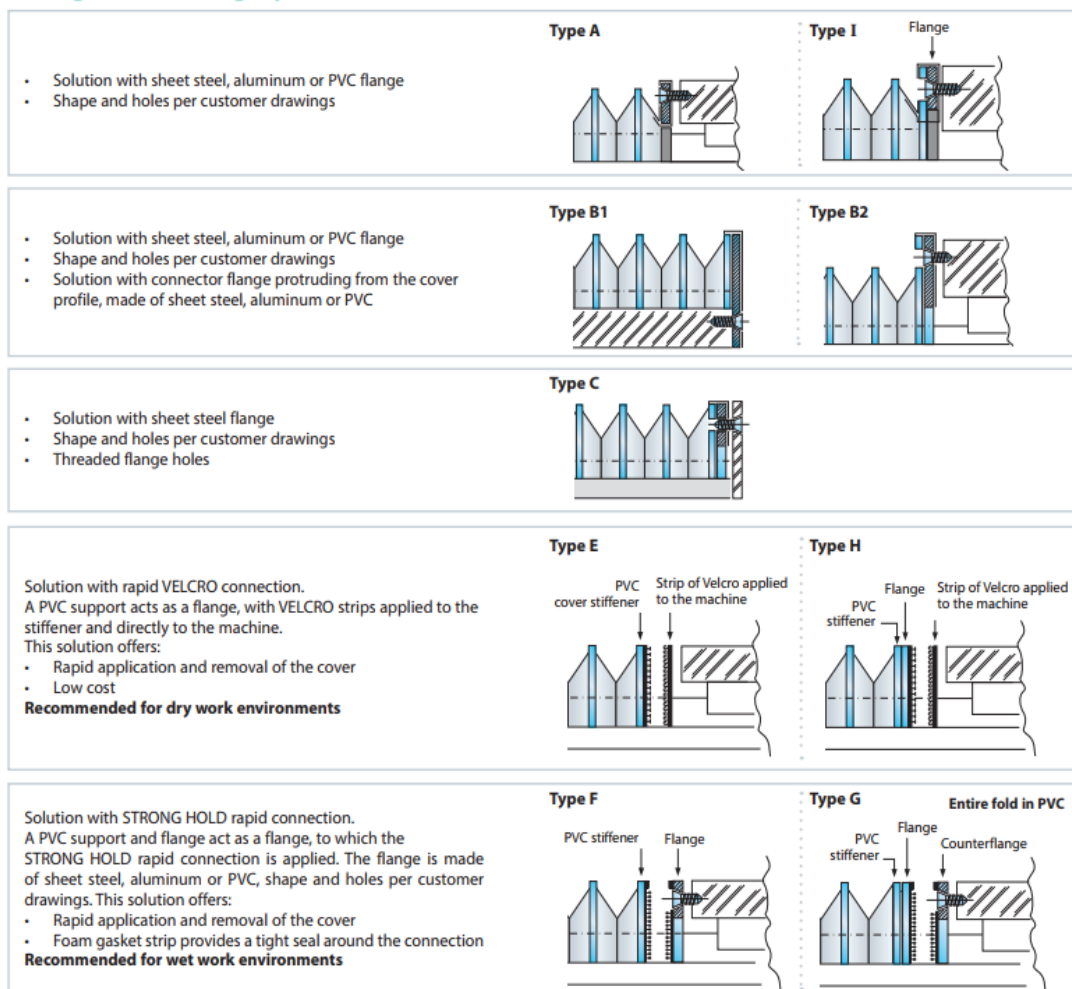


Figura 125 – Tipos de fixação por flange (PEI, 2017)

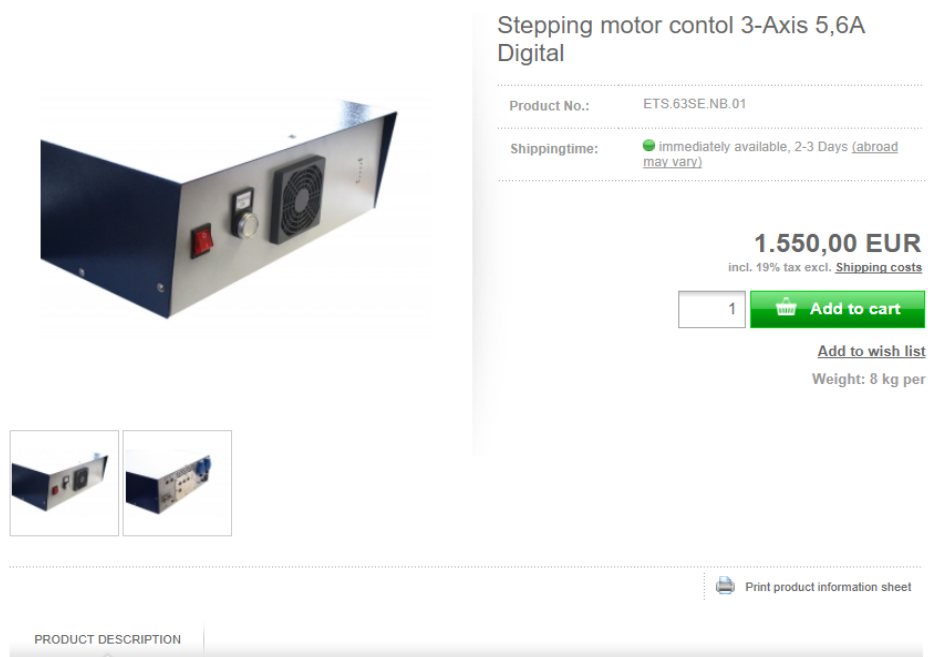
Possui uma excelente resistência à abrasão e é extremamente flexível (PEI, 2017).

Os vários tipos de fixação e a flange selecionada estão indicados na figura 125.

3.11.5 Sistema de Controlo

Como referido anteriormente, a solução de controlo será integralmente adquirida em KIT e será subcontratada a montagem e colocação de sensores de indexação dos eixos.

A solução a implementar terá como base um KIT de controlo para 3 motores (neste caso seriam utilizados apenas 2 controladores), da SOROTEC, com 5,6 A de corrente de alimentação dos motores, e que permite utilizar os dois motores previamente selecionados (figura 126).



Stepping motor control 3-Axis 5,6A Digital

Product No.: ETS.63SE.NB.01

Shippingtime: ● immediately available, 2-3 Days [\(abroad may vary\)](#)

1.550,00 EUR
incl. 19% tax excl. [Shipping costs](#)

1 [Add to cart](#)

[Add to wish list](#)

Weight: 8 kg per

[Print product information sheet](#)

PRODUCT DESCRIPTION

Stepping motor control 3-Axis 5,6A | EdingCNC | Ethernet

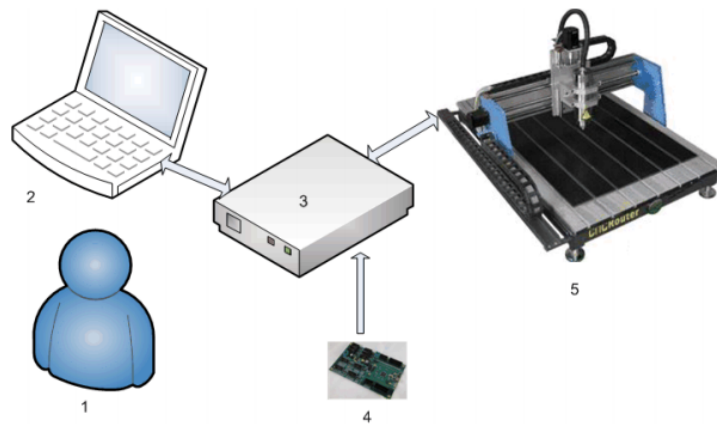
- 3x Leadshine stepping driver DM556
- Output Brake Z-Axis
- 48V Power supply
- Metal housing 420x405x145mm
- Weight 8,0kg
- Spindle control => Enable signal and analog signal
- Incl. controlling software and network connection V5 A4 E
- Simple BOB Breakout Board, to use all in / outputs of EdingCNC.

Figura 126 – Controlador de 3 eixos da SOROTEC (SOROTEC gmbh, 2017)

Este KIT está equipado com uma placa da Eding CNC (EDING CNC, 2018) que utiliza um *software* de controlo gratuito, disponibilizado no website desta empresa, facilitando o interface com o utilizador, de acordo com esquema da figura 127. A figura 128 apresenta a janela do *software* da Eding CNC onde se pode verificar a disposição de menus e interface gráfica. O *software* permite a importação direta de ficheiros DXF através de um PC (figura 129),

1.1 CONTEXT AND SCOPE

This section describes the context, hardware and software of a EDINGCNC controlled Machine.



1. Operator
2. PC connected via USB or Ethernet to electronic cabinet which contains the EDINGCNC CPU.
The PC runs the EDINGCNC Control Software.
3. Electronics cabinet, with power supplies, drives and Eding CNC CPU inside.
4. EDINGCNC CPU
5. CNC Machine

Figura 127 – Esquema de ligações entre equipamentos (EDING CNC, 2018)

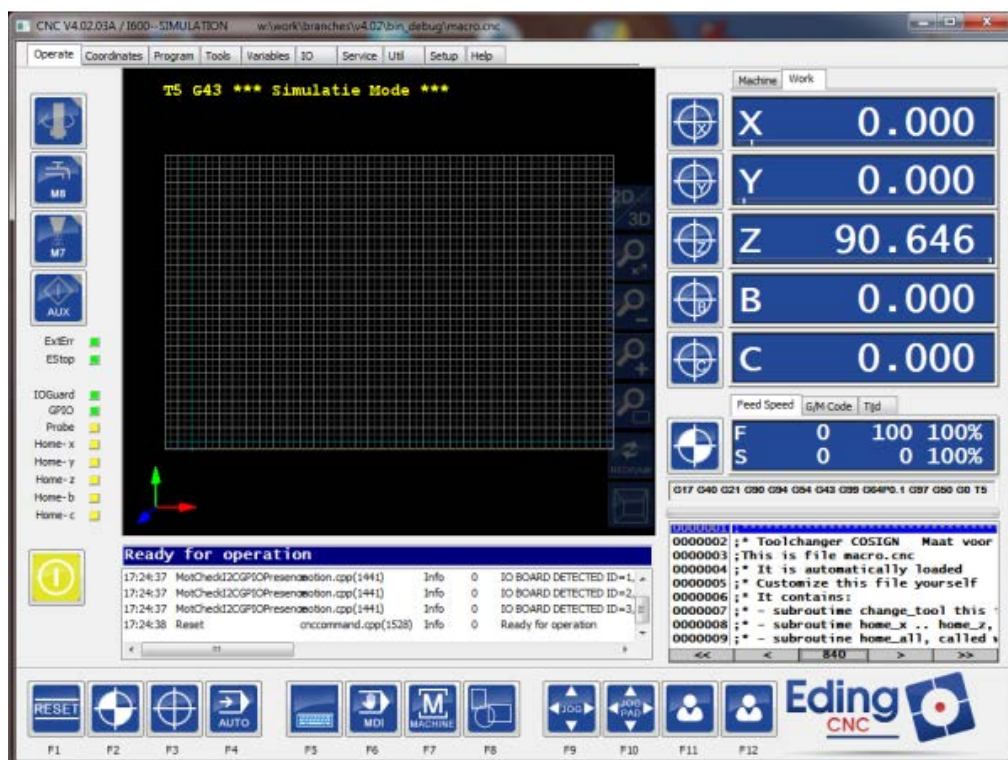
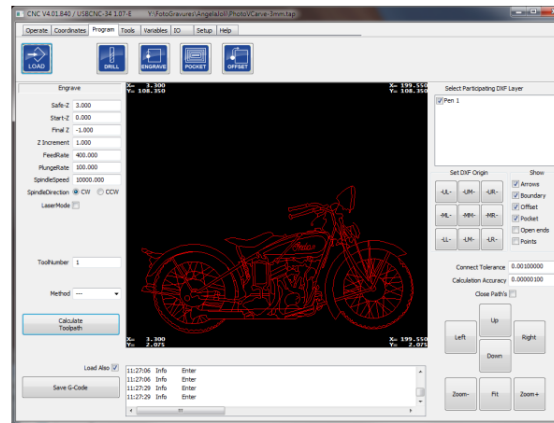


Figura 128 – Interface do software de controlo da Eding CNC (EDING CNC, 2018)

2.6 PROGRAM PAGE, DXF AND HPGL IMPORT



EDINGCNC uses a built in CAD/CAM library for these advanced import functions. You can load a file and then perform one of these operations:

	Loads a DXF or HPGL file
	Select engraving, this is milling over the lines from the drawing.
	Drilling, draw points in the DXF file to use this.
	Select profiling, this is for milling out objects and taking the tool diameter into account. (*)
	This is for pocketing, to mill out the complete object. (*)

Figura 129 – Extrato do manual com descrição da funcionalidade de importar DXF (EDING CNC, 2018)

O diagrama de ligação de todo o sistema, incluindo o motor da fresa, sensores de porta aberta e paragem de emergência está disponível na figura 130.

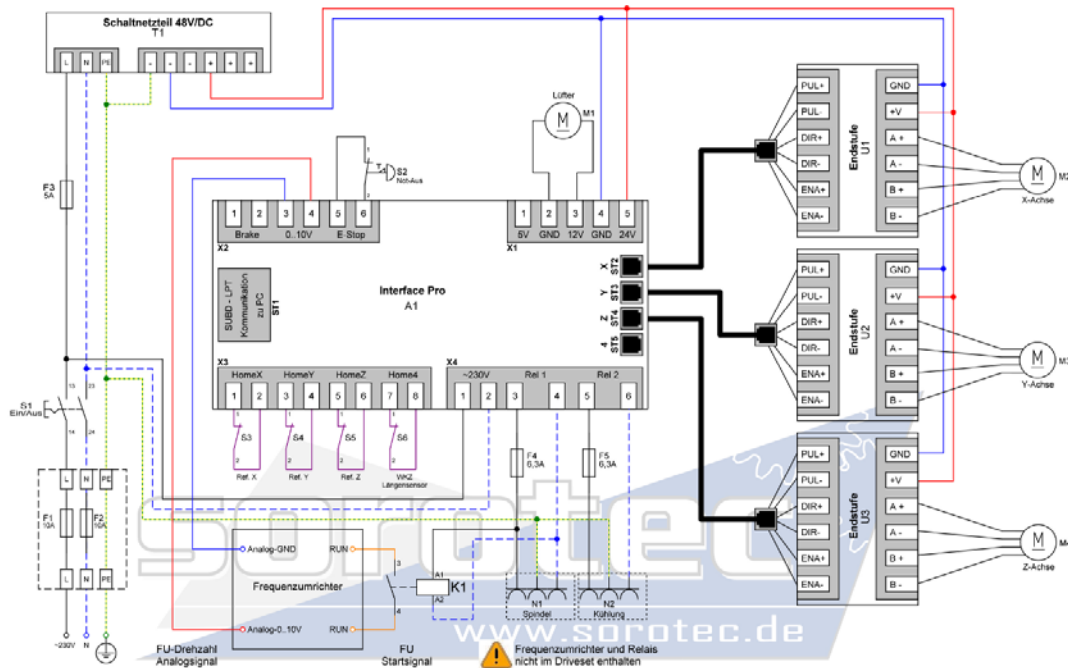


Figura 130 – Esquema de ligações do controlador SOROTEC (SOROTEC gmbh, 2017).

3.12 Esbarro do eixo ZZ'

De acordo com o identificado na matriz de decisão, de forma a evitar a colocação de um terceiro eixo motorizado, foi prevista a colocação de um esbarro que indexa o eixo ZZ', entenda-se o perfil, no equipamento de chanfro. A solução construtiva é bastante simples e é composta pelos elementos representados na figura 131.

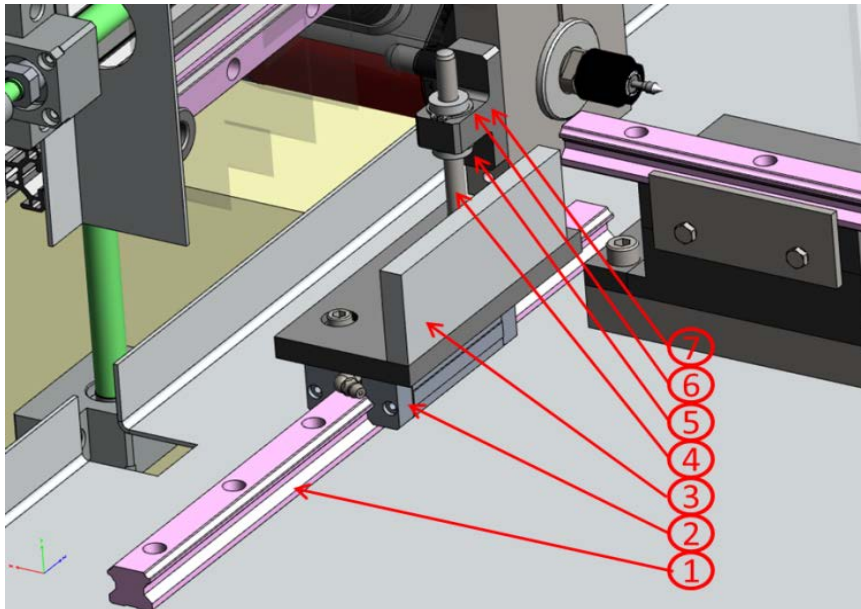


Figura 131 - Esbarro do eixo ZZ'

- 1- Guia linear MSA-20-R-350.25/25-N;
- 2- Patim linear MSA-20-LS-SS-FC-N;
- 3- Esbarro em L do eixo ZZ;
- 4- Veio retificado W8x80 (fixo à placa base do esbarro)
- 5- Anel elástico DIN 471;
- 6- Rolamento linear tipo LME 8A UU;
- 7- Suporte do rolamento linear fixo ao suporte da fresa.

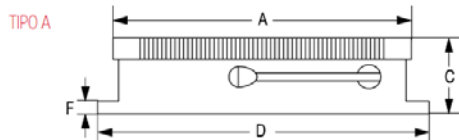
O seu funcionamento pode resumir-se da seguinte forma:

O suporte 7, com o rolamento 6, é responsável por movimentar (no guiamento 1 paralelo ao eixo XX') o veio 4 que, estando solidário com o esbarro 3, o posiciona na posição de indexação quando a fresa está na posição de parque e o desloca para fora do percurso da ferramenta quando esta inicia o chanfro. Quando a fresa volta à posição de parque, o esbarro volta à sua posição funcional. Por uma questão de coerência dimensional e redução de referências utilizadas, utilizou-se o mesmo tipo de guia linear dos eixos XX' e YY'.

3.13 Sistema de fixação da peça a chanfrar

O sistema de fixação selecionado para a guia a trabalhar é um prato magnético da SELTER, normalmente utilizado em retificadoras, de referência 12.10.004 e representado nas figuras 132 e 133.

Fuerza de tracción: 80 N/cm²



CÓDIGO NOR-POL	CÓDIGO FI-POL	A mm	B mm	C mm	D mm	F mm	Nº PALANCA	TIPO	PESO Kg
-	12.10.004	102	65	54	119	10	1*	A	3
-	12.10.002	125	75	57	138	10	1*	A	4
-	12.10.001	150	102	65	165	15	1*	A	7
-	12.10.003	200	102	65	213	15	1*	A	9
-	12.11.002	255	130	65	265	15	1*	A	13
-	12.11.003	325	130	65	335	15	1*	A	17

Figura 132 - Características gerais do prato da SELTER selecionado (SELTER, 2017)



Figura 133 - Base magnética SELTER (SELTER, 2017)

Calculou-se anteriormente que a força máxima de corte seria de 168,15 N. Este prato possui uma capacidade de retenção de 800 N para uma base metálica de largura 10 mm, o que representa uma força de fixação cerca de 4 vezes superior. Pretende-se assim, de acordo com a literatura geral sobre magnéticos disponibilizada pela SELTER (SELTER, 2017), da IMA (IMA, 2016) e pela ELESA+Ganter (ELESA+GANTER, 2016), minimizar as perdas de força magnética causadas por:

- Distância entre o perfil e o prato magnético (um *air gap* de 0,1 mm é responsável por perda de 20 a 30% da força magnética) (figura 134);

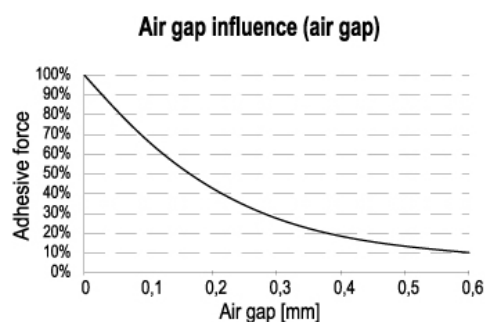


Figura 134 – Relação entre afastamento e força de retenção (ELESA+GANTER, 2016)

- Qualidade do acabamento superficial da peça (uma rugosidade elevada pode corresponder a uma perda de 50% da força magnética) (figura 135);

Workpiece surface influence on the magnetic adhesive force.

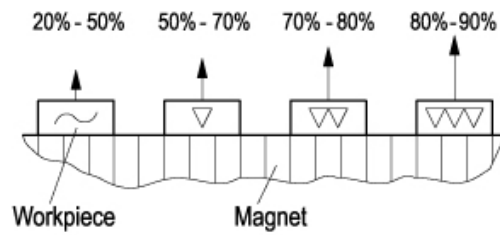


Figura 135 – Influência do acabamento superficial na força de retenção (ELESA+GANTER, 2016)

- Tipo de aço no perfil (aços endurecidos superficialmente possuem menos permeabilidade magnética) (figura 136);

Material	Holding force
Non-alloy steel 0.1-0.3 % C	100 %
Non-alloy steel 0.4-0.5 % C	90 %
Nondistorting alloy-steel	80-90 %
Grey casting	40-60 %
Nondistorting alloy-steel hardened to 55-60 HRc	30-50 %
Austenitic stainless steel, brass, aluminium, copper	0 %

Figura 136 – Relação do tipo de material com a capacidade de retenção (SELTER, 2017)

- Deslocamento da peça (o deslizamento pode ocorrer com até 20% da força declarada do prato magnético).

O esquema de montagem da mesa de fixação é o que se apresenta na figura 137.

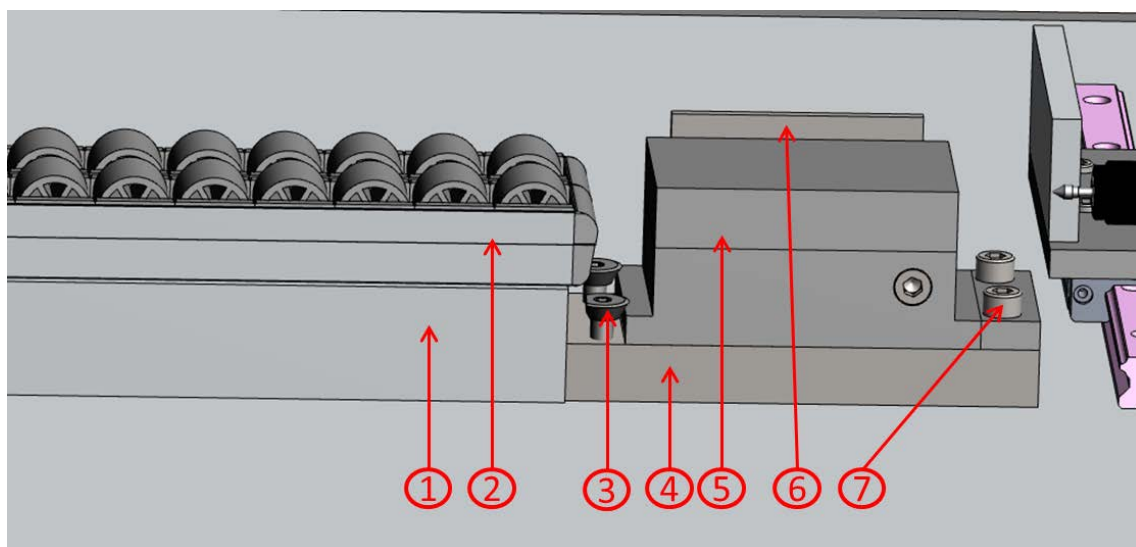


Figura 137 – Esquema do subconjunto do prato magnético

1. Base suporte dos roletes “Ele:Rol”;
2. Sistema de roletes RLT-AL-270-BL-1;
3. Parafusos de posicionamento rápido GN 418.2-18-M8-16-R-2;
4. Base de suporte do prato magnético;
5. Prato magnético;
6. Guia lateral;
7. Cunha de fixação do prato magnético.

3.14 Estrutura em perfil de alumínio

As estruturas de perfil de alumínio têm como principais vantagens o reduzido tempo de projeto, rápido tempo de montagem, modularidade, resistência à corrosão e a possibilidade de reutilizar componentes (BOSCH REXROTH, 2017). As gamas de perfil estão normalmente divididas mediante o tipo de aplicação e largura de rasgo:

- Gama *standard* de perfil técnico de construção;
- Gama de proteções de máquinas;
- Perfis em cantoneira;
- Perfis de conduta para passagem de cabos.

Com largura de rasgo de (figura 138):

- 6,2 mm profundidade de rasgo 2,0 mm : perfis de 15 e 20 mm;
- 8,2 mm, profundidade de rasgo 2,2 mm : perfis de base 30 mm;
- 10,2 mm, profundidade de rasgo 4 mm : perfis de base 40 mm;
- 10,2 mm, profundidade de rasgo 6 mm : perfis de base 45, 50 e 60 mm.

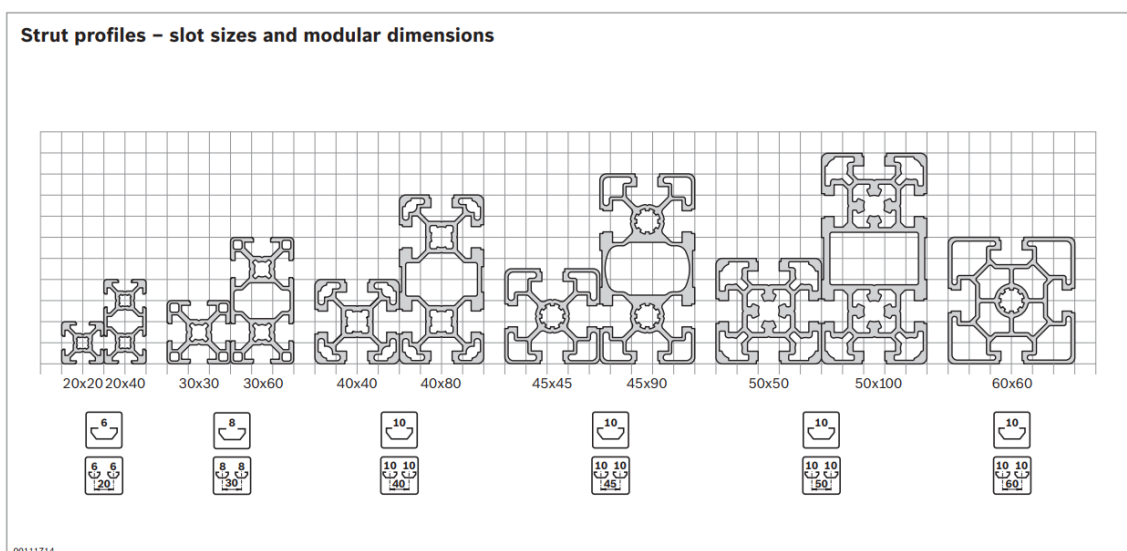


Figura 138 – Exemplo das dimensões de perfil, em função da medida da base (BOSCH REXROTH, 2017)

É ainda possível encontrar, para cada uma destas gamas, séries ligeiras, normais e pesadas, de acordo com o equipamento a construir. Os perfis são fixos entre eles de várias formas, sendo a

mais habitual, e a selecionada para construção deste equipamento, a utilização de fêmeas em T e esquadros (figura 139).

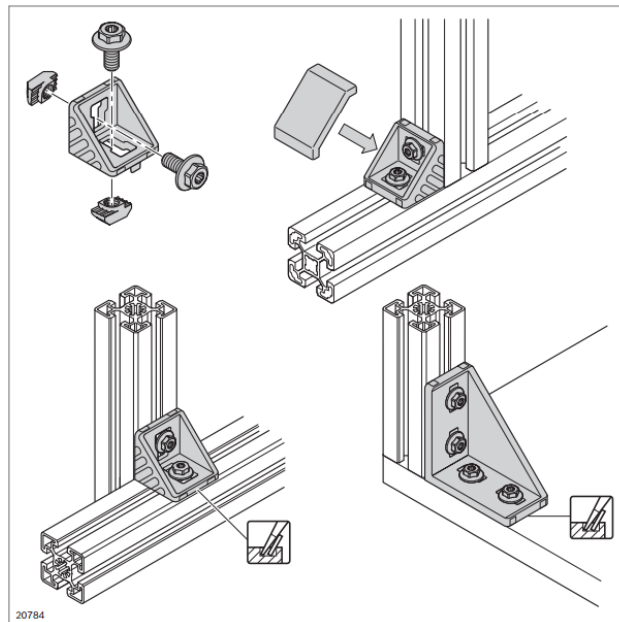


Figura 139 - Exemplo de fixação entre perfis por esquadros e fêmeas em T (BOSCH REXROTH, 2017)

Por uma questão de ergonomia e compatibilidade com os equipamentos de corte já existentes na REIMAN, a altura da mesa de inserção do perfil deverá ser de 880 mm, com ajuste fino por pés niveladores e com uma mesa de trabalho com aproximadamente 900 x 900 mm². Neste caso, foi considerada a utilização de perfil de série 50 mm de marca ITEM (ITEM, 2016) (figura 140).

Profile 10 50x50 E, natural
Art. No.: 0.0.624.93

[Add to Productlist](#)

Special features:
REACH
A.C.E.

Properties		
Line	=	line 10
Material	=	Al. anodized
Property	=	natural
Delivery Unit	=	cut-off max. 6000 mm
Cross-sectional area	A	= 8.47 cm ²
Moment of Inertia, x-axis	I _x	= 20.34 cm ⁴
Moment of Inertia, y-axis	I _y	= 20.34 cm ⁴
Moment of Inertia, torsional	I _t	= 2.8 cm ⁴
Resistance Moment, x-axis	W _x	= 8.14 cm ³
Resistance Moment, y-axis	W _y	= 8.14 cm ³
Weight, spec. Length	m	= 2.29 kg/m

Figura 140 - Ficha técnica do perfil de rasgo 10 mm e base 50 mm da item (ITEM, 2016)

A estrutura de base onde irão assentar todos os componentes foi desenvolvida com a configuração da figura 141.

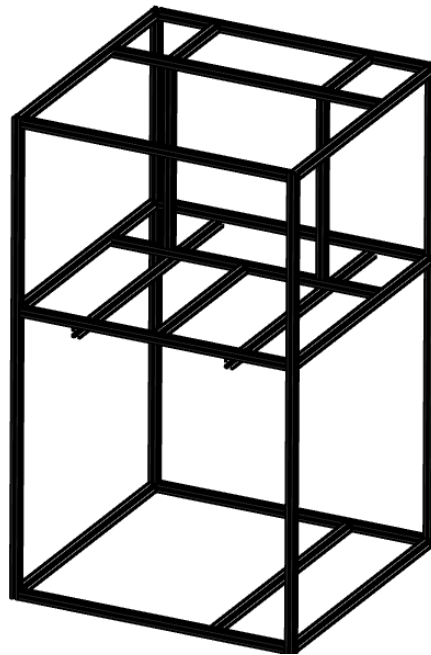


Figura 141 - Esquema da estrutura do equipamento em perfil de alumínio de 50 mm rasgo de 10 mm

De forma a validar o comportamento da estrutura no que concerne a sua resistência mecânica e rigidez em condições estáticas, foi realizado um estudo de Elementos Finitos sobre a mesma, considerando as seguintes condições:

- São consideradas apenas as cargas em regime estático;
- Os pontos de contacto e fixação da estrutura ao solo são os 4 cantos inferiores, identificados nas figuras 142 e 143, locais de colocação dos pés niveladores;
- Considera-se o peso próprio como a força “Gravity-1” que atua no plano superior;
- Considera-se um peso adicional de 50 kg para os eixos XX’ e YY’ que descarregam nas barras verticais identificadas na figura 144.

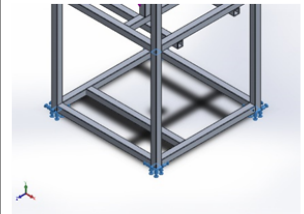
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 4 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.404833	1610.38	0.305128	1610.38
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Figura 142 – Pontos de suporte da estrutura ao solo e forças de reação

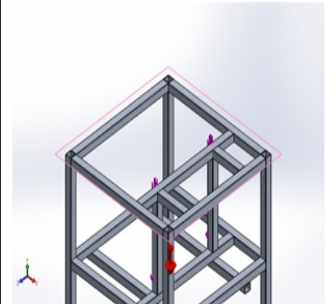
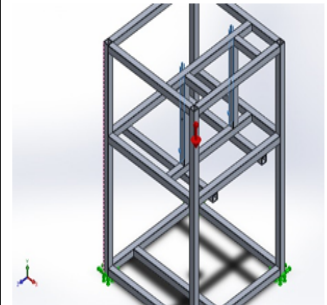
Load name	Load Image	Load Details
Gravity-1		Reference: Top Plane Values: 0 0 -9.81 Units: m/s^2
Force-1		Entities: 2 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, -500 N

Figura 143 – Cargas aplicadas na estrutura

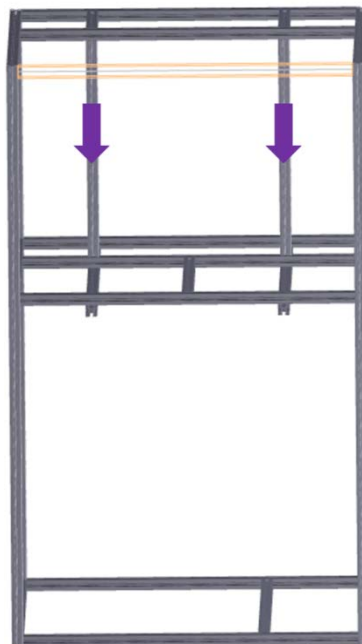


Figura 144 – Barras de suporte das cargas originadas pelos eixos XX' e YY'

Considerando os dados anteriores, obteve-se que a tensão máxima ocorre no nó 4830 com o valor de $3,339 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (figura 145) quando a tensão de cedência do material é de $90 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Verifica-se que não se atinge a tensão crítica em qualquer ponto da estrutura.

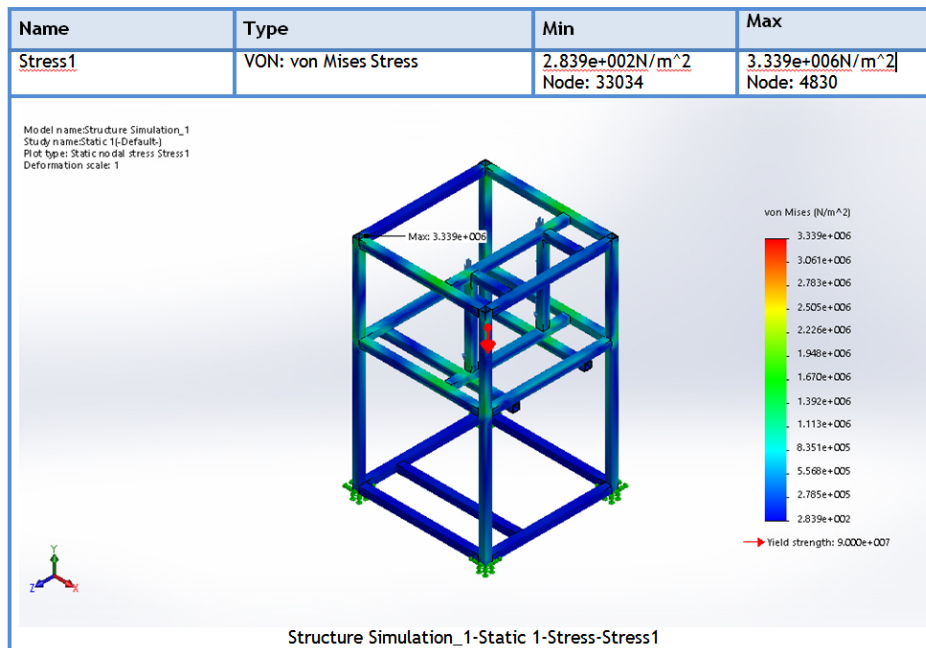


Figura 145 - Estudo de tensões na estrutura de suporte, quando carregada

Relativamente à rigidez da estrutura, verifica-se que a esta tensão está associado um deslocamento de 0,1054 mm no nó 26263 (figura 146), sendo que este valor não tem qualquer influência no correto desempenho do equipamento.

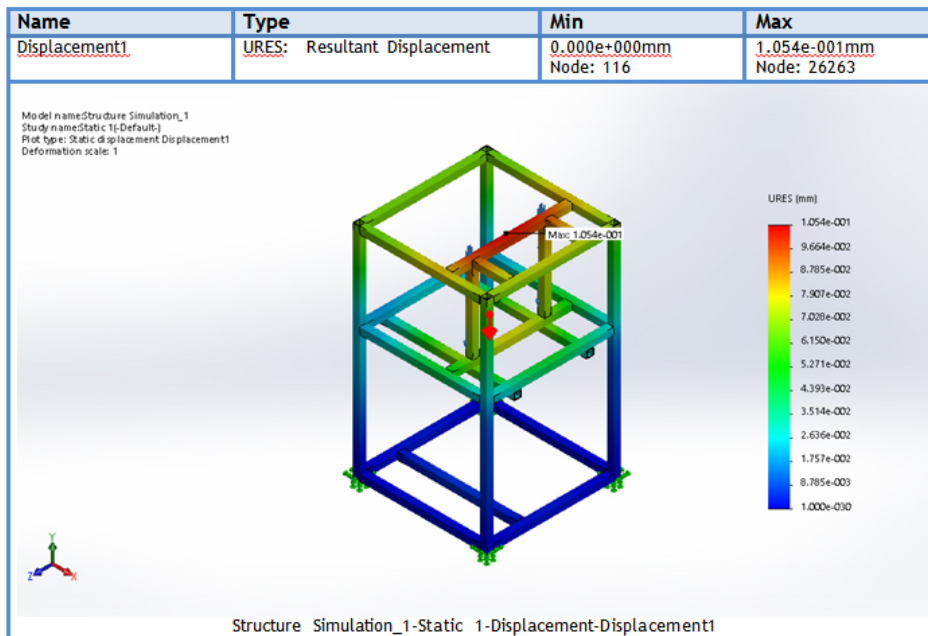


Figura 146 – Ponto de deslocamentos máximos da estrutura, quando carregada

3.15 Segurança de equipamentos

A utilização de máquinas e equipamentos para realizar trabalho está na origem de vários acidentes de trabalho. De forma a minimizar riscos para os utilizadores, realiza-se agora um breve estudo sobre o risco e forma de os minimizar.

3.15.1 Análise da origem dos acidentes

De acordo com a ACT, 21% dos acidentes de trabalho mortais referem-se à utilização de máquinas industriais, agrícolas e florestais fixas (ACT, 2013). Cerca de 26% dos sinistros ocorreram no sector da indústria transformadora, sendo que dois terços destes ocorrem em empresas com menos de 50 trabalhadores. A figura 147 resume os fatores influenciadores para os acidentes de trabalho, de acordo com a ACT.



Figura 147 – Fatores influenciadores que contribuem para acidentes (ACT, 2013)

Relativamente ao enquadramento legal, os diplomas que transpõem a legislação europeia para a legislação nacional no que concerne a utilização de equipamentos de trabalho, pelos trabalhadores, no local de trabalho são:

- Segurança de máquinas: Decreto-Lei nº 103/2008, de 24 de junho;
- Segurança de equipamentos de trabalho: Decreto-Lei nº 50/2005, de 25 de fevereiro.

No que concerne à entrada em serviço de novos equipamentos, a informação está resumida da seguinte forma (figura 148):

Diplomas	Âmbito	Responsáveis	Obrigações	Data de aplicação dos diplomas	Entidades competentes
Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho	Colocação no mercado e a entrada em serviço de máquinas (incluindo os equipamentos intermutáveis, componentes de segurança, acessórios de elevação, corrente, cabos e correias, dispositivos amovíveis de transmissão mecânica) e quase máquinas.	Fabricante ou seu mandatário, ou o utilizador no caso de máquinas fabricadas para uso próprio	Requisitos essenciais de saúde e segurança: 1. Gerais, e complementares; 2. Para determinadas categorias de máquinas; 3. Para limitar os perigos associados à mobilidade das máquinas; 4. Para limitar os perigos associados a operações de elevação; 5. Para as máquinas destinadas a ser utilizadas em trabalhos subterrâneos; 6. Para as máquinas que apresentem perigos específicos devido a operações de elevação de pessoas.	29.12.2009 ⁵	ACT Entidades competentes do Ministério da Economia

³ Nos termos do Decreto-Lei n.º 331/93, 25 de setembro, já revogado.

⁴ No caso de microempresa ou pequena empresa (até ao máximo de 50 trabalhadores) a data limite é 19.07.2006.

⁵ Data de entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho que revoga o Decreto-Lei n.º 320/2001, de 12 de dezembro. Este Decreto-Lei foi entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 75/2011, de 20 de junho.

Figura 148 - Excerto de quadro sobre os responsáveis da segurança de máquinas (ACT, 2013)

Assim, a responsabilidade sobre o cumprimento do equipamento da diretiva máquinas recai sobre o fabricante e, como tal, será alvo da análise seguinte.

3.15.2 Análise e redução do risco

O equipamento em questão, pelas suas características e soluções utilizadas no projeto, terá de cumprir com as seguintes diretivas e referências normativas (figura 149):

- Diretiva máquinas 2006/42/EC;
- Compatibilidade eletromagnética 2004/108/EC;
- Diretiva de baixa tensão 2006/95/EC.

A norma refere que a avaliação do risco inclui:

- Determinação dos limites da máquina;
- A identificação dos perigos;
- Estimativa do risco;
- Avaliação do risco.

Seguidamente, tendo em vista a sua eliminação, devem ser:

- Implementadas alterações ao projeto;
- Aplicadas técnicas e medidas de proteção que reduzam o risco;
- Mencionados os riscos no manual e utilizar sinalética adequada no equipamento que advirta o utilizador dos mesmos.

Relativamente aos limites da máquina, este equipamento está concebido para uma operação totalmente automática, exceto na:

- Alimentação do material;
- Operações de limpeza e manutenção, como a substituição da ferramenta.

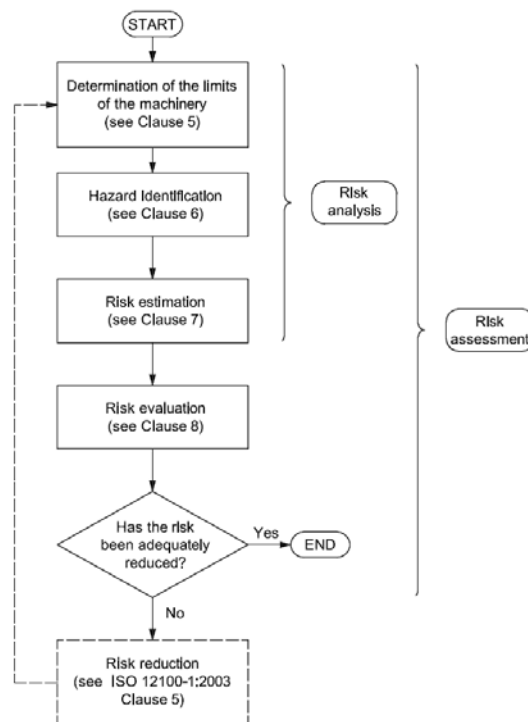


Figura 149 – Processo iterativo de redução do risco

As condições gerais de utilização são listadas seguidamente:

- A utilização do equipamento irá ser efetuada num ambiente estritamente industrial, por pessoas sem limitações físicas ou psicológicas;
- A utilização e manutenção do equipamento podem ser realizadas por qualquer operador dotado de formação adequada. Intervenções, no caso de avaria, devem ser realizadas apenas por pessoal técnico especializado;
- Não existe perigo para pessoas localizadas na proximidade do equipamento;
- O espaço circundante ao equipamento deve estar limpo e permitir o manuseamento dos perfis que são maquinados;
- Deve ser acutelada uma ligação elétrica monofásica com ligação à terra de forma a ligar o equipamento, sendo a interface com o utilizador realizada via controlador CNC;
- A máquina possui uma elevada vida útil, pelo que as únicas operações previstas para o seu correto funcionamento são a troca de ferramenta e a substituição de escovas no motor da fresa.

No que concerne à identificação dos perigos, estes devem ser realizados com o equipamento sem qualquer medida de proteção adicional, pelo que tem-se assim a seguinte matriz de avaliação (tabela 11) e estimativa de ocorrência do risco.

Tabela 11 – Avaliação de gravidade e estimativa de ocorrência de riscos

Risco e Gravidade				
Probabilidade de ocorrência	Catastrófico	Sério	Moderado	Menor
Muito provável				Projeção de limalha
Provável			Quebra de ferramenta	
Improvável		Esmagamento de membro		
Remota		Contacto com fresa ativa		

De forma a atingir uma redução de risco que permita operar o equipamento em total segurança, foi realizada apenas uma modificação. Foi colocada uma blindagem em policarbonato que evite a projeção de limalha, a projeção de fragmentos da ferramenta em caso de quebra, esmagamento de membros ou contacto com a fresa em funcionamento.

3.16 Esquema de montagem

Neste capítulo apresenta-se o esquema de montagem do equipamento, na sequência mais adequada e detalham-se algumas soluções construtivas das soluções adotadas e referidas nas secções anteriores.

3.16.1 Estrutura em perfil

Após receção de todos os tramos de perfil e acessórios de ligação, é realizada a montagem dos mesmos de forma a obter a estrutura apresentada na figura 150.

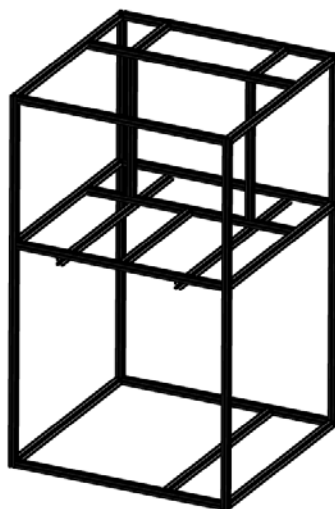


Figura 150 - Montagem da estrutura de base

Seguidamente são fixos na base, através de ligação roscada e diretamente no perfil, os pés niveladores da Elesa+Ganter com a referência LV.A-60-14-M12x98 (figura 151).



Figura 151 - Montagem dos pés niveladores

Estes pés possuem uma capacidade de carga estática de 14 000 N e são constituídos por uma base em poliamida reforçada com fibra de vidro, na qual é encaixada uma rótula de diâmetro 14 mm com um perno roscado de M12x98 mm (figura 152).



Figura 152 - Imagem dos pés niveladores Elesa+Ganter

3.16.2 Montagem do eixo YY

Na estrutura é seguidamente montado o eixo YY' (figura 153) composto por:

- Guias lineares MSA 20R;
 - Guia *master* e *slave* de acordo com as instruções em catálogo;
- Patins lineares MAS 20 LE SS FC N;
- Fole de proteção do eixo;
- *Buffers* de fim-de-curso para as guias (superior e inferior);
- Suportes BF e BK, fuso e fêmea de esferas R16.05 FSIN;
- Suporte do motor;
- Acoplamento no motor;
- Fixação do motor e aperto do acoplamento ao veio.

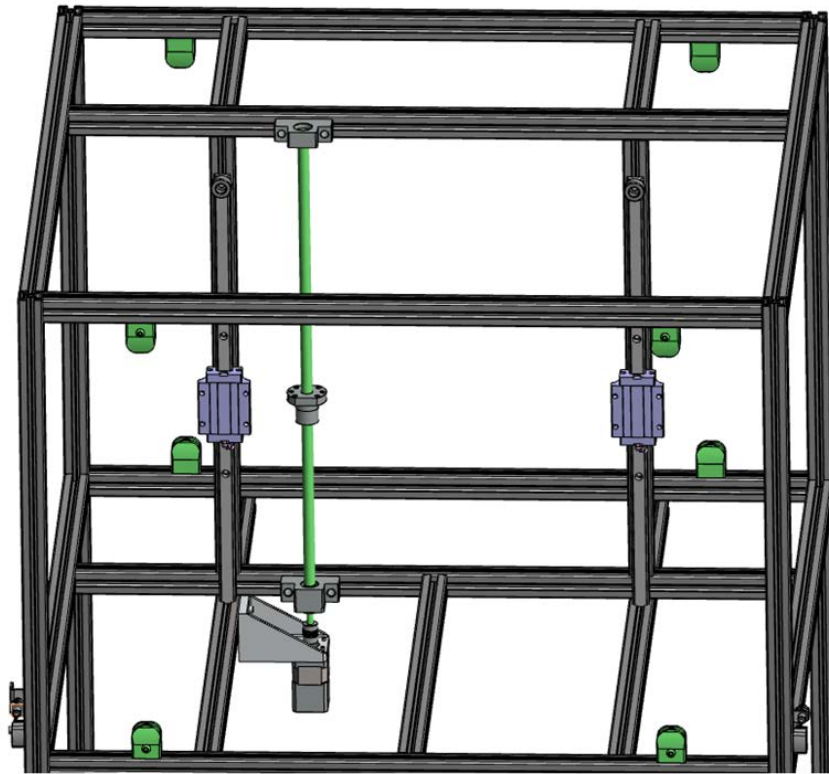


Figura 153 - Montagem dos sistemas de movimentação do eixo YY'

3.16.3 Montagem do eixo XX

Sobre o eixo YY' é montado o eixo XX' (figura 154) nas seguintes fases:

- Montagem dos suportes de fixação da estrutura de alumínio (e suportes BF, BK e do motor) do eixo XX' aos patins do eixo YY';
- Montagem da estrutura de perfil de alumínio do eixo;
- Guias lineares MSA 20R;
 - Guia *master* e *slave* de acordo com as instruções em catálogo;
- Patins lineares MAS 20 LE SS FC N;
- Fole de proteção do eixo (não representado);
- *Buffers* de fim-de-curso para as guias (superior e inferior);
- Placa de montagem da fresa;
- Suportes BF e BK, fuso e fêmea de esferas R16.05 FSIN;
- Suporte do motor;
- Acoplamento no motor;
- Fixação do motor e aperto do acoplamento ao veio;
- Chapas laterais de fixação do fole XX';
- Montagem da fresa Kress.

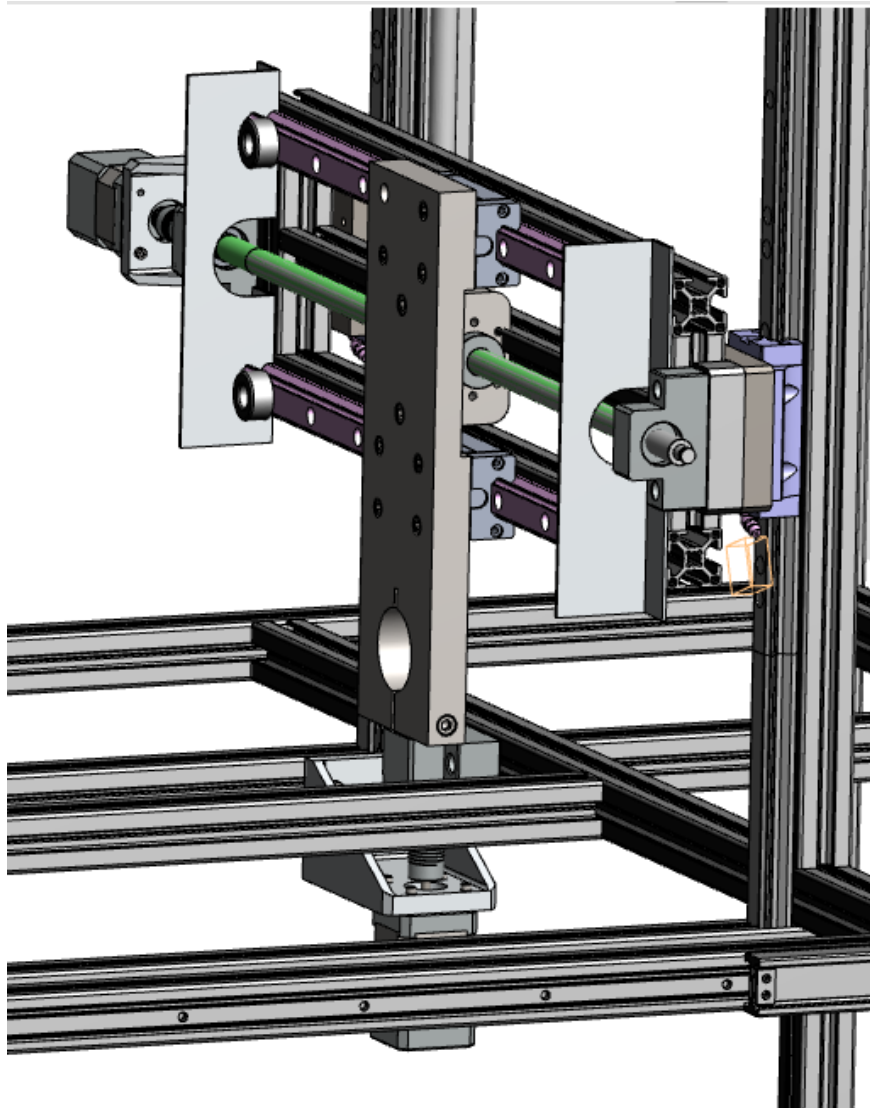


Figura 154 - Esquema de montagem do eixo XX'

3.16.4 Montagem da mesa de trabalho e esbarro (eixo ZZ')

Sobre a estrutura é montado o seguinte (figura 155):

- Montagem da mesa de trabalho/chapa quinada de suporte do eixo ZZ', sistemas de alimentação e fixação do perfil;
- Montagem da guia linear MSA 20R;
- Montagem do patim linear;
- Montagem do veio W8 no placa horizontal do esbarro;
- Montagem da estrutura em L / esbarro do eixo ZZ';
- Montagem do rolamento na placa em T através de anel elástico;
- Montagem do suporte T, do rolamento linear, à placa de suporte da fresa;
- *Buffers* de fim-de-curso para as guias (superior e inferior).

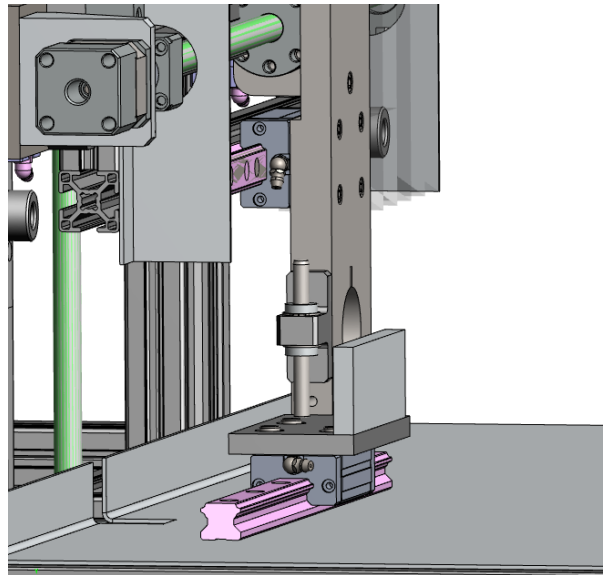


Figura 155 - Esquema de montagem do esbarro (eixo ZZ')

3.16.5 Montagem da mesa de alimentação e prato de fixação

Sobre a mesa de trabalho são efetuadas as operações (figura 156):

- Montagem da base do prato magnético;
- Montagem do suporte em cunha;
- Colocação do suporte magnético;
- Fixação do suporte através dos parafusos GN 418.2-18-M8-16-R-2;
- Fixação da placa de guiamento lateral no prato magnético;
- Montagem da base dos roletes Ele:Rol;
- Montagem dos roletes Ele:Rol.

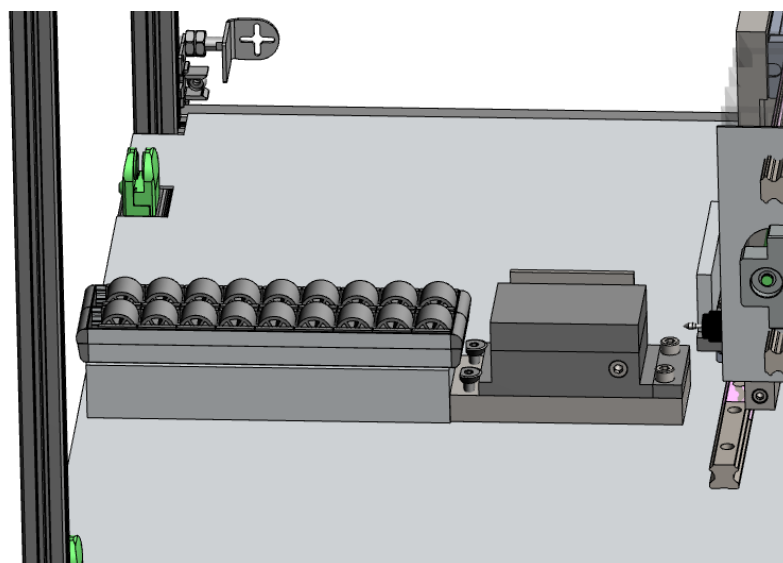


Figura 156 - Montagem do prato magnético e sistema de roletes

3.16.6 Montagem das blindagens fixas de PC

Nas laterais da estrutura são montadas duas placas de Policarbonato (PC) em que a esquerda possui um orifício de colocação das guias a maquinar (figura 157). A sua aplicação é realizada da seguinte forma:

- Colocação dos acessórios de suporte de painel PC.35 (2 unidades por perfil e por lado);
- Aplicação das placas de policarbonato.

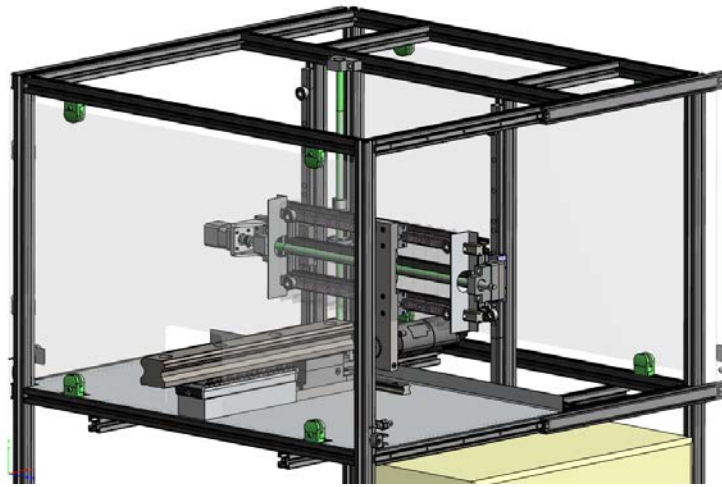


Figura 157 - Montagem das blindagens de Policarbonato (PC)

3.16.7 Montagem das blindagens móveis (portas) de PC

De forma a permitir o acesso ao interior do equipamento, existem 2 portas de policarbonato que deslizam em guias telescópicas Rollon LTH30-0900923 (figura 158).

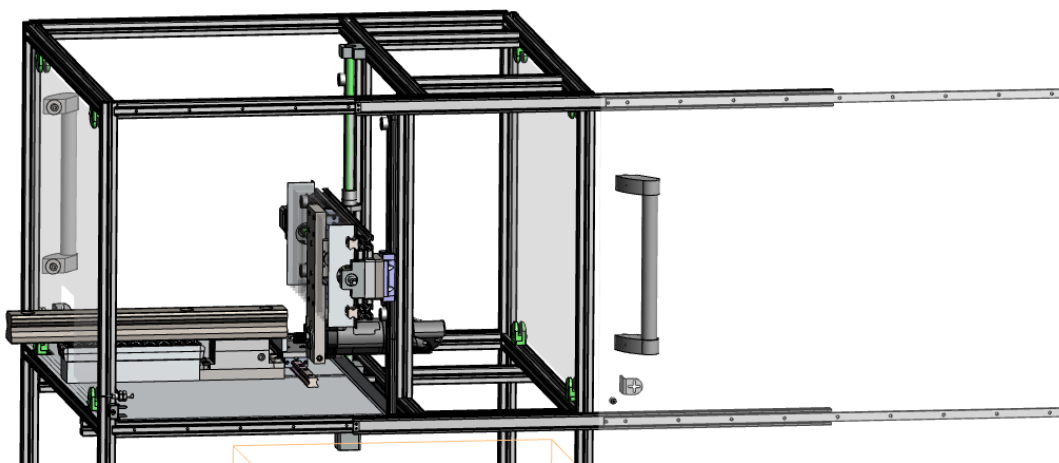


Figura 158 - Esquema de montagem das portas laterais

As portas integram ainda:

- Pega tubular ELESA+GANter M-1053-30-300-AN-BK-2;
- Batente de sensor de porta fechada GN 479_1-30-2;
- Parte do fecho de esfera BPS-2 (a forqueta de fixação está na estrutura).

A sequência de montagem das portas é (figura 159):

- Fixação das guias telescópicas à estrutura;
- Fixação da placa às guias telescópicas;
- Fixação da pega;
- Fixação do batente de fim-de-curso;
- Fixação do sistema de fecho BPS.

De forma complementar o sistema de fecho e indicação de porta fechada, na estrutura é ainda colocado (figura 160):

- Forqueta do sistema de fecho BPS;
- Suporte do sensor de porta fechada GN 479-B8-16-5;
- Sensor de porta fechada GN_615_7_M10_O-3.



Figura 159 - Pormenor de montagem da pega tubular, batente de sensor e sistema de fecho

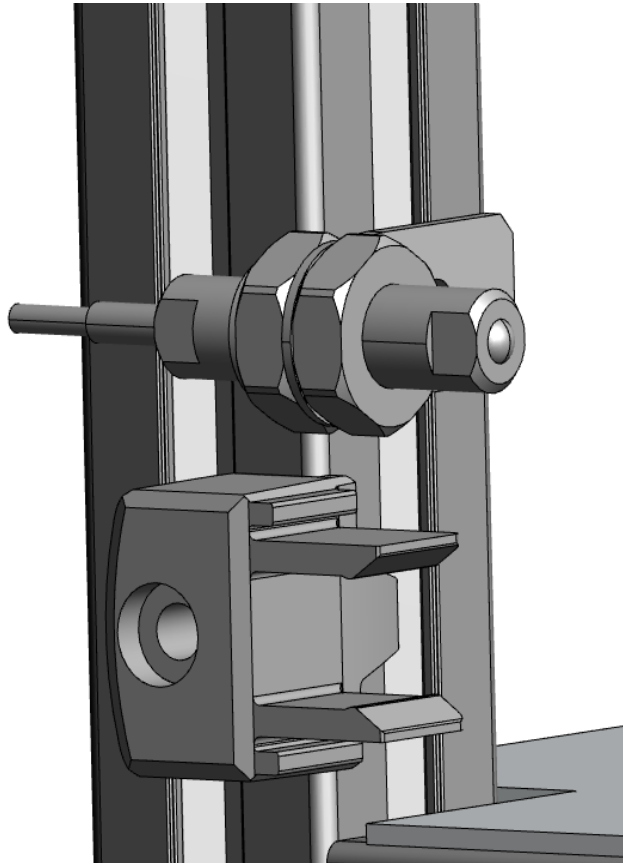


Figura 160 - Pormenor de montagem do sensor de porta fechada e sistema de fecho

3.16.8 Montagem do Kit de controlo e passagem adicional de cabos

Nesta fase é instalado o armário elétrico com os controladores e são passados os cabos necessários. Apesar de, normalmente, esta operação se realizar numa fase anterior à colocação das blindagens, como as portas abrem completamente é possível realizá-la no final de toda a montagem mecânica.

3.16.9 Vista Geral do Equipamento

Na figura 161 observa-se uma vista global do equipamento completo.

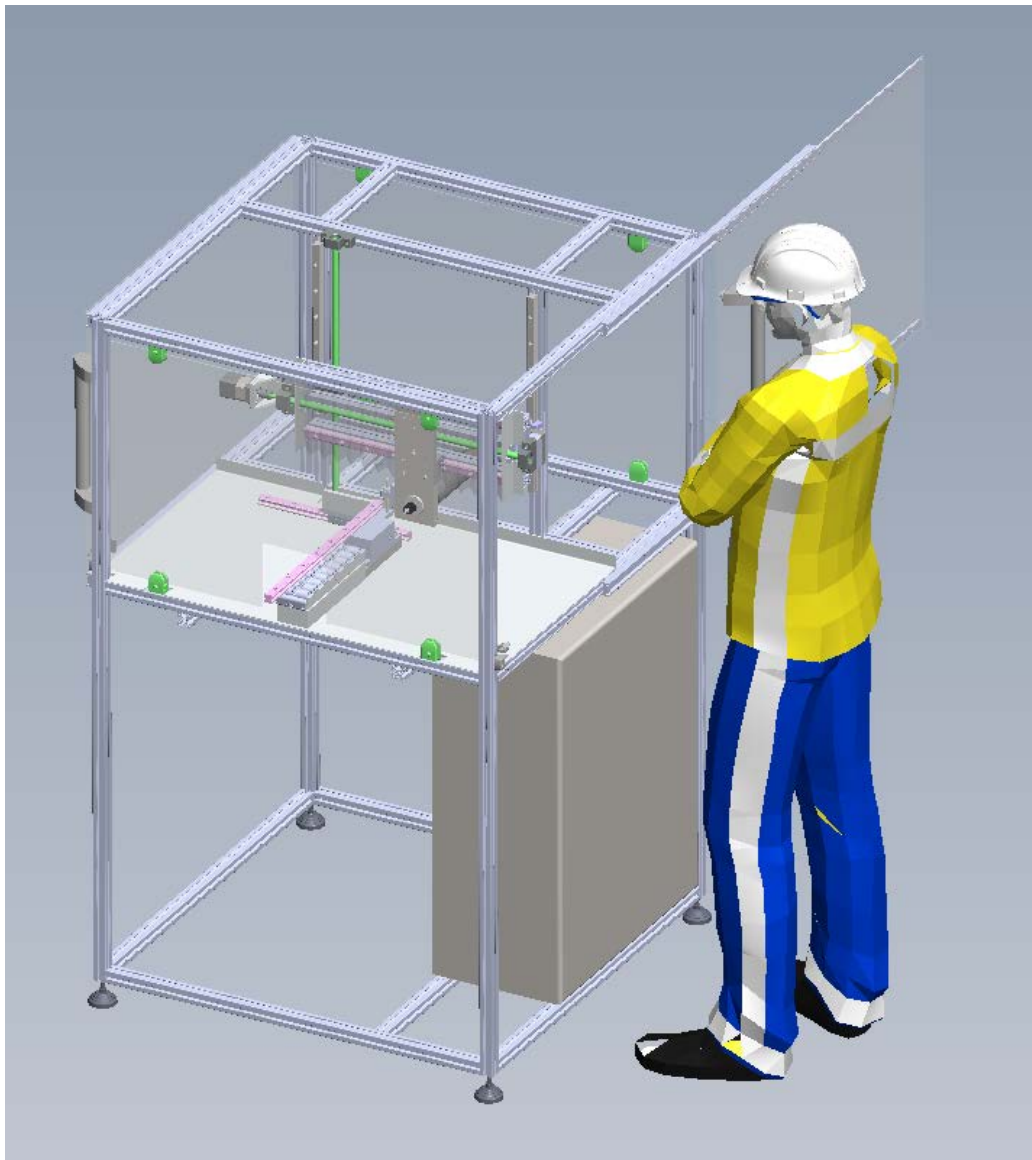


Figura 161 - Vista global do equipamento

CONCLUSÕES

4.1 Análise comparativa de custos e ROI

4.2 Oportunidades de melhoria no equipamento

4.3 Conclusão final

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Nesta secção apresentam-se as considerações e a conclusão final, tendo em vista as eventuais adaptações ou melhorias a implementar numa revisão do projeto ou aquando da sua implementação.

4.1 Análise comparativa de custos e ROI

Relativamente à análise de custos, considerando os orçamentos disponíveis da REIMAN no valor de 9 273,48 + IVA (anexo 6.1) e da NG-Tech no valor de 37 600,00€ (informado por e-mail), a solução encontrada com construção interna e recorrendo a soluções normalizadas é um investimento mais equilibrado dado que o valor de custo é cerca de 1/4 do valor de compra do equipamento a este fornecedor externo.

No que concerne ao ROI, a avaliação não é evidente pois o tempo de chanfro de uma guia linear é atualmente, em média, 1 minuto. No entanto, o chanfro realizado, apesar de funcional, não cumpre as especificações inicialmente indicadas e existem flutuações no acabamento de acordo com o operador que podem, no limite, originar reclamações.

Outro fator que não está evidenciado, pela dificuldade de quantificação, é o custo de oportunidade, dado que o tempo poupado na utilização deste equipamento pode ser convertido em tarefas que retornem mais valor para a empresa.

Assim, não sendo possível realizar um estudo fidedigno, irá ser avaliado apenas o número e tempo de operações que se permite otimizar.

Estimando que para realizar um chanfro equivalente ao definido, o operador iria requerer 4 minutos por chanfro e o equipamento estudado permite ao operador realizar esta operação em 30 segundos, o retorno poderia ser medido da seguinte forma:

- Vencimento mínimo (operador não especializado) = 580,00 €;
- Mês típico tem 22 dias;
- 8 horas /dia;
- Valor hora = $580 / (22 \times 8) = 3,30$ €;
- Considera-se um ano de trabalho por 240 dias x 8 h = 1 920 horas / ano.

Tabela 12 – Cálculo do retorno de investimento

Nº Operações	Horas trabalho		Poupança		
	Operário/Manual	Equipamento	Horas trabalho	Meses trabalho	Valor
120	8,0	1,0	7,0		25,4 €
12000	800,0	100,0	700,0	4	2 537,5 €
24000	1600,0	200,0	1400,0	8	5 075,0 €
48000	3200,0	400,0	2800,0	16	10 150,0 €

Nesta perspetiva, o tempo de operação que este equipamento permite poupar, convertido em trabalho realizado pelo operador, torná-lo-ia rentável, após 48 000 operações, ou seja, 16 meses de trabalho contínuo.

Por outro lado, o número médio atual de operações diário é cerca de 40 guias, a que correspondem 80 chanfros e consequentemente 19 200 operações por ano. Nesta abordagem, o equipamento seria rentabilizado em 2,5 anos.

No entanto, com a perspetiva de aumento do volume de negócio, aumento de custos com mão-de-obra e custos de eventuais reclamações relacionadas com a qualidade do chanfro, pode-se considerar o tempo de amortização em 16 meses.

4.2 Oportunidades de melhoria no equipamento

Com o avançar do projeto verificou-se que existem algumas oportunidades de melhoria a considerar até à sua implementação ou a testar após entrada em serviço, mediante os primeiros ensaios, nomeadamente:

- Utilização de calhas porta-cabos para suportar a cablagem dos eixos;
- Prever uma interface HMI táctil de forma a melhorar a interface com o utilizador;
- Avaliar a necessidade de colocar um sistema de fixação pneumático que permita fixar peças não magnéticas;
- Avaliar a necessidade de colocar um sopro de ar comprimido para refrigerar a fresa na operação de chanfro;
- Avaliar a necessidade de colocar lubrificação (por venturi) no sistema de ar comprimido que refrigera a fresa;
- Testar outras configurações de fresas de forma a melhorar o acabamento superficial.

4.3 Conclusão final

O projeto desenvolvido permitiu avaliar as soluções construtivas presentes no mercado e desenvolver uma solução de baixo custo, recorrendo a *software* livre e produtos normalizados de fiabilidade comprovada.

O valor estimado de construção deste equipamento é cerca de quatro vezes inferior ao indicado por uma das empresas sobre a qual se realizou o estudo de *benchmarking*, pelo que a relação funcionalidade/custo de produção justifica plenamente a construção desta solução.

Com a fase de construção e montagem poderão surgir algumas situações que não tenham sido inicialmente previstas. No entanto, o conceito geral, a funcionalidade e a segurança de utilização são assuntos que foram abordados e que se consideram como respondendo de forma eficaz a uma utilização profissional e fiável deste equipamento.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 Bibliografia e fontes de informação

5 Bibliografia e fontes de informação

- ABBSSAC. 2017.** Power Lead Screw Catalogue. *ABBSSAC Website*. [Online] 05 de 11 de 2017. <https://www.abssac.co.uk/catalogue/v/lead-screw-power/Power+Lead+Screws/4/#/page/1>.
- Accuride. 2017.** Accuride Europe product datasheet. *Company Website*. [Online] 29 de 10 de 2017. <https://www accuride-europe.com>.
- ACT. 2013.** Guias Praticos, Segurança de Máquinas e Equipamentos de trabalho. *ACT - Autoridade para as Condições de Trabalho*. [Online] 01 de 11 de 2013. [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Seguran%C3%A7a%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20equipamentos%20de%20trabalho%20guias%20praticos.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Seguran%C3%A7a%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20equipamentos%20de%20trabalho%20guias%20praticos.pdf).
- ADIRA S.A. 2016.** Blue Laser. *www.adira.pt*. [Online] 13 de 10 de 2016. http://www.adira.pt/clidocs/Gr38_71_0.pdf.
- Bamberg, Eberhard. 2017.** ME EN 7960 - Precision Machine Design webpage. *The University of UTAH* :: [Online] 04 de 11 de 2017. <http://www.mech.utah.edu/~me7960/lectures/>.
- BDS Maschinen GmbH. 2016.** Bevelling Machine Specification. *bds.kernbohrer.de*. [Online] 13 de 10 de 2016. http://bds.kernbohrer.de/bevellingMachineSpecification.php?product_id=37&langset=en_US.
- Beveller. 2016.** Catalogue. *www.beveller.co.uk*. [Online] 13 de 10 de 2016. <http://www.beveller.co.uk/catalog/pipe-bevellers/6-24/shavedger-6-24>.
- Bingmann GmbH & Co. KG. 2017.** Tungsten Carbide Grades. *Bingmann GmbH & Co. KG*. [Online] 27 de 10 de 2017. <http://www.hmtg.com/information/grades.hartmetall>.
- BOSCH REXROTH. 2017.** Assembly Tcnology. [Online] 02 de 12 de 2017. www.boschrexroth.com.
- BROOKS, PATRICK J. 2010.** Duct Design Fundamentals; ASHRAE Journal; . *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. [Online] 01 de 2010. www.ashrae.org.
- BRYCOAT. 2017.** BryCoat Aluminum Titanium Nitride (AlTiN or TiAlN) Coatings. *BRYCOAT Company Webpage*. [Online] 27 de 10 de 2017. <http://www.brycoat.com/surface-engineering/brycoat-pvd-coating-solutions/brycoat-aluminum-titanium-nitride-altin-or-tialn-coatings/>.
- BSI. 2016.** Information about standards. *BSI*. [Online] 30 de 10 de 2016. <http://www.bsigroup.com/en-GB/standards/Information-about-standards/what-is-a-standard/>.
- Budynas, Richard G. e Nisbett, J. Keith. 2009.** *SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN, NINTH EDITION*. s.l. : McGraw-Hill, 2009.
- CASALIN. 2017.** *CM 80 demo video*. [Online] 03 de 12 de 2017. <https://youtu.be/t-n76mp1vow>.
- CENTROID CNC. 2017.** Fanuc retrofit. *CENTROID*. [Online] 09 de 10 de 2017. http://www.centroidcnc.com/fanuc_retrofit.html.
- CERIN. 2016.** Cerin catalogue. *CERIN*. [Online] 30 de 09 de 2016. [Citação: 30 de 09 de 2016.] www.cerin.it.
- CERIN. 2017.** CERIN General Catalogue. *Cerin Company Website*. [Online] 27 de 10 de 2017. [Citação: 27 de 10 de 2017.] <http://www.cerin.it/catalogue.pdf>.
- Chiaravalli. 2017.** Product Page. *Chiaravalli company website*. [Online] 04 de 11 de 2017. <http://www.chiaravalli.com/catalogue>.

- CONTIGROUP. 2017.** Conti Group webpage. *Catalogue*. [Online] 05 de 11 de 2017. <http://www.contigroup.it/Catalogo/Catalogo-EN.pdf>.
- Delta Line. 2016.** Brush DC Motor Basics. *Delta Line*. [Online] 30 de 09 de 2016. http://www.deltaline.com/data/download/Brush_DC_Motor_Basics.pdf.
- Derammelaere S., et al. 2016.** www.researchgate.net. *www.researchgate.net*. [Online] 01 de 10 de 2016. https://www.researchgate.net/publication/235331628_Efficiency_of_two-phase_hybrid_stepping_motor_drive_algorithms.
- DIRETIVA 2006/42/CE. 2016.** Access to European Union law. *Euro-Lex*. [Online] 13 de 10 de 2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=EN>.
- EDING CNC. 2018.** EDING CNC. [Online] 28 de 02 de 2018. [Citação: 28 de 02 de 2018.] <http://www.edingcnc.com/>.
- ELESA+GANTER. 2018.** ELESA+GANTER. *Elesa Ganter Products*. [Online] 23 de 02 de 2018. www.elesaganter.com.
- ELESA+GANTER. 2016.** Magnéticos. *ELESA+GANTER*. [Online] 02 de 10 de 2016. http://cdm.elesa.it/downloads/e_g-magnete_en_2014_web.pdf.
- Gambini Meccanica. 2017.** Products. *Company webpage*. [Online] 04 de 11 de 2017. <http://gambinimeccanica.com/>.
- Ganbino, Megan. 2009.** SMITHSONIAN.COM. *A Salute to the Wheel*. [Online] 17 de june de 2009. <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/a-salute-to-the-wheel-31805121/?no-ist>.
- Ganter Griff. 2015.** *Company Presentation*. Furtwangen : Ganter Griff, 2015.
- Gates. 2017.** GatesFacts™ Technical Information Library. *Gates technical information*. [Online] 12 de 11 de 2017. <http://ww2.gates.com/IF/facts/documents/Gf000280.pdf>.
- General Carbide. 2017.** Hardness Comparison Chart. *General Carbide, Company Website*. [Online] 27 de 10 de 2017. <http://www.generalcarbide.com/assets/pdf/GCRockwellHardness.pdf>.
- Giek, K. 1996.** *Manual de Fórmulas Técnicas*. Lisboa : Dinalivro, ISBN 972576093-x, 1996.
- HIWIN. 2017.** General Catalogue. [Online] 26 de 11 de 2017. [http://www.hiwin.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-\(E\).pdf](http://www.hiwin.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-(E).pdf).
- IMA. 2016.** IMA, dados técnicos IMAREC. *IMA*. [Online] 04 de 10 de 2016. <http://www.ima.es/rectangulares-imarec.html>.
- ISO 7425-2. 2016.** ISO - Standards Catalogue. *ISO website*. [Online] 12 de 09 de 2016. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=14161.
- ISO. 2018.** ISO. *ISO Webshop*. [Online] 23 de 02 de 2018. <https://www.iso.org/standards-catalogue/browse-by-ics.html>.
- ISO. 2016.** The bottom line. *International Standards Organization*. [Online] 30 de 10 de 2016. http://www.iso.org/iso/bottom_line.pdf.
- ISO. 2016.** The ISO story. *ISO*. [Online] 30 de 10 de 2016. http://www.iso.org/iso/home/about/the_iso_story.htm#2.
- ITEM. 2016.** Item Perfil onstrução 10. *ITEM*. [Online] 04 de 10 de 2016. <http://product.item24.de/en/products/product-catalogue/products/construction-profiles-10.html>.
- J&S Engineering. 2016.** ASC76 CNC & TCF120 CNC Automatic Chamfering Machines. *BAR CHAMFERING MACHINES*. [Online] 13 de 10 de 2016. <http://jandsengineering.com/our-machines/bar-chamfering-machines-functionisogramigooleanalyticsobjectririirfunction-ir-qir-q-pushargumentsir-l1new-dateas-createelemento-ms-geteleme/asc76-tcf120-automatic-chamfering-machines/>.

- Klocke. 2016.** <http://www.wzl.rwth-aachen.de/>. *RWTH Aachen University*. [Online] 01 de 10 de 2016. http://www.wzl.rwth-aachen.de/de/f786439a4c53fb78c125709f0055702f/l06_principles_of_cutting.pdf.
- KRESS. 2017.** KRESS Milling Motors. *Kress Company Website*. [Online] 28 de 10 de 2017. <http://www.kress-fraesmotoren.com/en/kress-milling-motors.html>.
- Mitsubishi Carbide. 2016.** Catalogue. *Mitsubishi Materials*. [Online] 30 de 09 de 2016. https://www.mitsubishicarbide.com/mmci/en/product/pdf/catalog/c007n_q.pdf.
- NG-TECH. 2016.** NG-TECH. *www.ng-tech.it*. [Online] 01 de 02 de 2016. <http://www.ng-tech.it/en/in-progettazione/in-designing/macchina-per-smussare-le-guide-a-ricircolo-di-sfere-rulli.html>.
- NIPON KODDO. 2017.** Company webpage. *Product Information*. [Online] 29 de 10 de 2017. <http://nipponkodobearings.com/>.
- NSK. 2018.** Linear Guide Tutorial. <http://www.nskamericas.com>. [Online] 23 de 02 de 2018. http://www.nskamericas.com/cps/rde/dtr/na_en/na_literature_Linear/Linear_Guide_Tutorial.pdf.
- Optima. 2016.** Catalogo Optima. *www.optima.pt*. [Online] 13 de 10 de 2016. <http://www.optima.pt/wp-content/uploads/2015/01/catalogo-optima2015.pdf>.
- PEI. 2017.** Products. *company website*. [Online] 02 de 12 de 2017. <https://www.pei.it/index.php/en/>.
- Penriteoil. 2018.** UNDERSTANDING GREASES. [Online] PENRITOIL, 08 de 04 de 2018. <https://www.penriteoil.com.au/assets/pdf/tech/Nov2015/Greases.pdf>.
- PILZ. 2018.** PILZ Products. *PILZ*. [Online] 28 de 02 de 2018. <https://www.pilz.com/pt-PT>.
- PLANET-CNC. 2017.** User Manual. *Planet CNC*. [Online] 08 de 10 de 2017. <http://planet-cnc.com/wp-content/uploads/2016/03/CNCUSBController.pdf>.
- PMI - AMT. 2018.** General Catalogue. [Online] 23 de 02 de 2018. <http://www.pmi-amt.com/en/>.
- REIMAN. 2017.** REIMAN. *Arquivo interno*. Maia : s.n., 2017.
- REIMAN. 2017.** Reiman / Pesquisa de produtos / Movimento Linear / Fusos Trapezoidais. *Company webpage*. [Online] 05 de 11 de 2017. <http://www.reiman.pt/index.php?id=672&cat=424&t=1>.
- ROLLON. 2017.** Rollon company webpage. *Products - Linear Line*. [Online] 29 de 10 de 2017. <http://www.rollon.com/IN/en/products/>.
- SELTER. 2017.** informação técnica. *Selter*. [Online] 02 de 12 de 2017. <http://www.selter.es/cat/descarregues/informacio-tecnica.html>.
- SIEMENS. 2017.** SINUMERIK Manual. *Industry Siemens*. [Online] 08 de 10 de 2017. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/402/48019402/att_103123/v1/BHFsl_0710_en_en-US.pdf.
- SILVERCUT GMBH.** [Online] <http://www.silvercut.de/>.
- Slaughter, Jamie. 2018.** History: Invention of the Wheel. <http://www.notap.gov.ng/>. [Online] 23 de 02 de 2018. <http://www.notap.gov.ng/content/history-invention-wheel>.
- SOROTEC gmbh. 2017.** product info. *company webshop*. [Online] 02 de 12 de 2017. <https://www.sorotec.de/shop/Stepping-Motor-4-2A-Bipolar-3-NM-Nanotec.html>.
- Trumpf. 2016.** Trumpf Laser. *www.trumpf-laser.com*. [Online] 13 de 10 de 2016. <http://www.trumpf-laser.com/en/products/laser-systems/3d-laser-processing-systems/trulaser-cell-series-7000.html>.
- UNIMEC. 2017.** UNIMEC Catalogue. *UNIMEC*. [Online] 05 de 11 de 2017. <https://www.unimec.eu/en/>.
- Wittenstein. 2017.** precision linear systems solutions. *Wittenstein corporate website*. [Online] 04 de 11 de 2017. <https://www.wittenstein.co.uk/products/linear-systems/system-solutions/precision-system>.

ANEXOS

6.1 ANEXO – Proposta componentes REIMAN (interna)

6.2 ANEXO – Ficha técnica CERIN

6.3 ANEXO – Ficha técnica correções das portas

6.4 ANEXO – Desenho de conjunto

6.5 ANEXO – Desenho produção suporte Kress

6.6 ANEXO – Suporte motor

6.7 ANEXO – Suporte Motor

6.8 ANEXO – Fuso eixo YY (maquinação equivalente no eixo YY)

6.9 ANEXO – Placa ligação eixos

6.10 ANEXO – Placa ligação eixo fixo

6.11 - Espaçador

6.12 ANEXO – Maquinações e suportes de fuso de esferas

6.13 ANEXO - Exemplo de G-code

6.14 ANEXO – Relatório elementos finitos :: Baixo > Cima

6 ANEXOS

6.1 ANEXO – Proposta componentes REIMAN (interna)

REIMAN, LDA.

Sede Social: RUA MANUEL SOUSA MARQUES, ARMZ 1
4475-482 NOGUEIRA MAIA

Telefones (+351) 22 9618090 - 22 9618097
Telefax (+351) 22 9618001
Rede Móvel (+351) 91 9286559
E-Mail comercial@reiman.pt

Mat. C.R.C. Vila do Conde, nº 973
Cap. Social: 150.000,00 €
Sociedade por Quotas
NIPC: PT 502107677

www.reiman.pt



REIMAN, LDA.

RUA MANUEL SOUSA MARQUES ARM 1
NOGUEIRA
4475-482 NOGUEIRA

A/C Exmº Sr(a). Jorge Carboila

Data: 04.12.2017 Resp.: Jorge Carboila V/ N.I.P.C. : 502107677 Proposta CRM Nº 44019

Agradecendo desde já a V/ consulta, vimos propor as n/ condições para o eventual fornecimento do seguinte material:

Referência	Designação	Quant.	Preço Unitário	Desc.	Total	Iva
	OBS. Projecto Interno					
49301	PC.35 - Abraçadeira	4,0	9,4650		37,86 €	
6251	BPS.30 - Fecho de contacto por esfera	2,0	2,6500		5,30 €	
303331	LV.A-60-14-M12x98 - Pé nivelador	4,0	5,1900		20,76 €	
GN 615.7-M10-	GN 615.7-M10-O - Posicionador de pressão eléctrico	2,0	96,0400		192,08 €	
GN 479-B8-16	GN 479-B8-16 - Suporte de fixação em aço inox	2,0	2,8300		5,66 €	
37591	M.1043 BM/30-300-AN { }	2,0	20,9100		41,82 €	
429920-0270	RLT-AL-270-BL { } suporte aluminio calha roletos	2,0	4,2450		8,49 €	
429806	RLT-U-PA - Calha de roletos ELEROLL em poliamida	2,0	5,4150		10,83 €	
429813	RLT-HE - Topo ELEROLL	4,0	1,4250		5,70 €	
GNT 15715	GN 454-25-12-6,4-55 { }	8,0	1,4025		11,22 €	
	Fole proteção eixo XX ()	2,0	100,0000		200,00 €	
	Fole proteção eixo YY ()	2,0	100,0000		200,00 €	

RESERVA DE PROPRIEDADE: Todos os produtos / equipamentos constantes neste documento, são propriedade da REIMAN, LDA, até ao seu integral pagamento. Página 1 de 4

Processado por Computador

MILLENNIUM BCP * NIB: 00330000000330740908 * IBAN: PT5000330000000330740908 * BIC / SWIFT: BCOMPTPL

Prazo de Entrega:

Preços Líquidos sujeitos á taxa de IVA de 23%

Condições de Pagamento:

Proposta válida por 30 dias

Esta Proposta está sujeita ás nossas CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA

Gratos pela V/ melhor atenção.

Com os Melhores Cumprimentos,

Jorge Carboila

Adjudicação do Cliente:

Nome: _____

Rúbrica e carimbo: _____

REIMAN, LDA.
Sede Social: RUA MANUEL SOUSA MARQUES, ARMZ 1
4475-482 NOGUEIRA MAIA

Telefones (+351) 22 9618090 - 22 9618097
Telefax (+351) 22 9618001
Rede Móvel (+351) 91 9286559
E-Mail comercial@reiman.pt

Mat.C.R.C.Vila do Conde, nº 973
Cap. Social: 150.000,00 €
Sociedade por Quotas
NIPC: PT 502107677

www.reiman.pt



REIMAN

REIMAN, LDA.
RUA MANUEL SOUSA MARQUES ARM 1
NOGUEIRA
4475-482 NOGUEIRA
A/C Exmº Sr(a). Jorge Carboila

Data: 04.12.2017 Resp.: Jorge Carboila V/ N.I.P.C. : 502107677 Proposta CRM Nº 44019

Agradecendo desde já a V/ consulta, vimos propor as n/ condições para o eventual fornecimento do seguinte material:

Referência	Designação	Quant.	Preço Unitário	Desc.	Total	Iva
UB8AWW	UB-8AWW - Rolamento Linear HIWIN	1,0	10,9900		10,99 €	
	W8x300 h8 Ck55 - Veio de Precisão	1,0	3,1200		3,12 €	
MSA20LESSFC	MSA 20 LE SS FC N - Cursor	2,0	38,7400		77,48 €	
MSA20LSSFC	MSA 20 LS SS FC N - Cursor	3,0	37,0500		111,15 €	
	MSA 20 R 480-_/_-H - Guia eixo xx	2,0	32,9900		65,98 €	
	MSA 20 R 450-_/_-H - Guia eixo yy	2,0	30,9200		61,84 €	
	MSA 20 R 360-_/_-H - Guia eixo zz	1,0	24,0500		24,05 €	
FSIN1805B-3.0	1R16-05T3-FSIN - Fêmea de esferas PMI	2,0	81,3150		162,63 €	
	1R16-05B-651-C7 - Fuso de esferas PMI (maquinados	2,0	27,3300		54,66 €	
	Motor Kress 1050	1,0	250,0000		250,00 €	
	CERIN fresa	1,0	11,5300		11,53 €	
	BK-10 -C7 - Chumaceira	2,0	120,0000		240,00 €	
	BF-10 -C7 - Chumaceira	2,0	60,0000		120,00 €	

RESERVA DE PROPRIEDADE: Todos os produtos / equipamentos constantes neste documento, são propriedade da REIMAN, LDA, até ao seu integral pagamento. Página 2 de 4

Processado por Computador

MILLENNIUM BCP * NIB: 003300000000330740908 * IBAN: PT50003300000000330740908 * BIC / SWIFT: BCOMPTPL

Prazo de Entrega:	Preços Líquidos sujeitos à taxa de IVA de 23%
Condições de Pagamento:	Proposta válida por 30 dias
Esta Proposta está sujeita às nossas CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA	
<i>Gratos pela V/ melhor atenção.</i>	
Com os Melhores Cumprimentos, _____ Jorge Carboila	Adjudicação do Cliente: Nome: _____ Rúbrica e carimbo: _____

REIMAN, LDA.

Sede Social: RUA MANUEL SOUSA MARQUES, ARMZ 1
4475-482 NOGUEIRA MAIA

Telefones (+351) 22 9618090 - 22 9618097
Telefax (+351) 22 9618001
Rede Móvel (+351) 91 9286559
E-Mail comercial@reiman.pt

Mat.C.R.C.Vila do Conde, nº 973
Cap. Social: 150.000,00 €
Sociedade por Quotas
NIPC: PT 502107677

www.reiman.pt

**REIMAN, LDA.**

RUA MANUEL SOUSA MARQUES ARM 1
NOGUEIRA
4475-482 NOGUEIRA

A/C Exmº Sr(a). **Jorge Carboila**

Data: 04.12.2017 Resp.: Jorge Carboila V/ N.I.P.C. : 502107677 Proposta CRM Nº 44019

Agradecendo desde já a V/ consulta, vimos propor as n/ condições para o eventual fornecimento do seguinte material:

Referência	Designação	Quant.	Preço Unitário	Desc.	Total	Iva
	Sistema de controlo 3 eixos	1,0	1.550,0000		1.550,00 €	
	Motor 3Nm	1,0	69,0000		69,00 €	
	Motor 5.5 Nm	1,0	0,0000		0,00 €	
	Suporte Motor magnético SELTER	2,0	100,0000		200,00 €	
	Placa suporte Kress	1,0	221,2000		221,20 €	
	Esbarro eixo Z	1,0	100,0000		100,00 €	
	Peças maquinadas diversas	1,0	100,0000		100,00 €	
	Mesa chapa quinada	8,0	100,0000		800,00 €	
	LTH30-0900923 calha telescópica	1,0	150,0000		150,00 €	
	Acoplamentos DINAL	4,0	495,0000		1.980,00 €	
		2,0	50,0000		100,00 €	
CAB505050	Esquadro Perfil Canton.-Perfil 50x50-50x40 Al anodizad { }	70,0	4,1090		287,63 €	
AST0500500410	Perfil 50x50L-10-6 4 rasgos L=1000	25,0	27,3000		682,50 €	

RESERVA DE PROPRIEDADE: Todos os produtos / equipamentos constantes neste documento, são propriedade da REIMAN, LDA. até ao seu integral pagamento. Página 3 de 4
Processado por Computador

MILLENNIUM BCP * NIB: 00330000000330740908 * IBAN: PT5000330000000330740908 * BIC / SWIFT: BCOMPTPL

Prazo de Entrega:	Preços Líquidos sujeitos á taxa de IVA de 23%
Condições de Pagamento:	Proposta válida por 30 dias
Esta Proposta está sujeita ás nossas CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA	
Gratos pela V/ melhor atenção.	
Com os Melhores Cumprimentos, _____ Jorge Carboila	Adjudicação do Cliente: Nome: _____ Rúbrica e carimbo: _____

REIMAN, LDA.

Sede Social: RUA MANUEL SOUSA MARQUES, ARMZ 1
4475-482 NOGUEIRA MAIA

Telefones (+351) 22 9618090 - 22 9618097
Telefax (+351) 22 9618001
Rede Móvel (+351) 91 9286559
E-Mail comercial@reiman.pt

Mat.C.R.C.Vila do Conde, nº 973
Cap. Social: 150.000,00 €
Sociedade por Quotas
NIPC: PT 502107677

www.reiman.pt

**REIMAN, LDA.**

RUA MANUEL SOUSA MARQUES ARM 1
NOGUEIRA
4475-482 NOGUEIRA

A/C Exmº Sr(a). *Jorge Carboila*

Data: **04.12.2017** Resp.: Jorge Carboila

V/ N.I.P.C. : 502107677 Proposta CRM Nº 44019

Agradecendo desde já a V/ consulta, vimos propor as n/ condições para o eventual fornecimento do seguinte material:

Referência	Designação	Quant.	Preço Unitário	Desc.	Total	Iva
	Parafusaria diversa	1,0	100,0000		100,00 €	
	Tempo Electricista (estimado)	1,0	500,0000		500,00 €	
	Tempo Montagem (estimado)	1,0	500,0000		500,00 €	

RESERVA DE PROPRIEDADE: Todos os produtos / equipamentos constantes neste documento, são propriedade da REIMAN, LDA. até ao seu integral pagamento. Página 4 de 4

Processado por Computador

MILLENNIUM BCP * NIB: 00330000000330740908 * IBAN: PT5000330000000330740908 * BIC / SWIFT: BCOMPTPL

Prazo de Entrega:

Preços Líquidos sujeitos á taxa de IVA de 23%

Condições de Pagamento:

Proposta válida por 30 dias

Esta Proposta está sujeita ás nossas **CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA**

Gratos pela V/ melhor atenção.

Com os Melhores Cumprimentos,

Jorge Carboila

Adjudicação do Cliente:

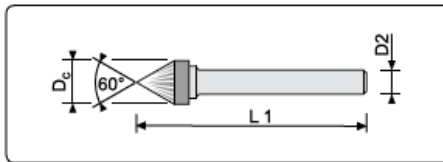
Nome: _____

Rúbrica e carimbo: _____

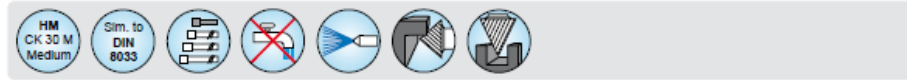
6.2 ANEXO – Ficha técnica CERIN



Auf Anfrage auch mit Cer-T Beschichtung lieferbar
Cer-T coating upon request



1.01



D _c	L1	D2	Zahnung / Cut type						46	36	
			1	2	3	4	5	6			
3	40	3,00	-	•	•	•	•	•	•	4633/...-60°	
4	38	3,00	-	•	•	•	•	•	•	4643/...-60°	
5	39	3,00	-	•	•	•	•	•	•	4653/...-60°	
6	40	3,00	-	•	•	•	•	•	•	4663/...-60°	
4	50	6,00	•	•	•	•	•	•	•		360406/...-60°
6	50	6,00	•	•	•	•	•	•	•		360606/...-60°
8	56	6,00	•	•	•	•	•	•	•		360806/...-60°
10	57	6,00	•	•	•	•	•	•	•		361006/...-60°
12	60	6,00	•	•	•	•	•	•	•		361206/...-60°
16	64	6,00	•	•	•	•	•	•	•		361606/...-60°
20	68	6,00	•	•	•	•	•	•	•		362006/...-60°
20	68	8,00	•	•	•	•	•	•	•		362008/...-60°

... Zahnung immer mit angeben (zum Beispiel: 2015/4)
... Please always indicate cut type (example: 2015/4)



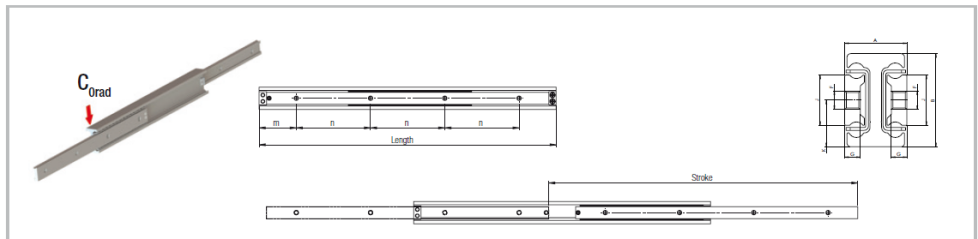
Für Arbeitsparameter siehe Seite 35
For working-parameters see page 35

6.3 ANEXO – Ficha técnica correções das portas



Hegra Rail data sheet LTH30 RF v

Heavy load extension

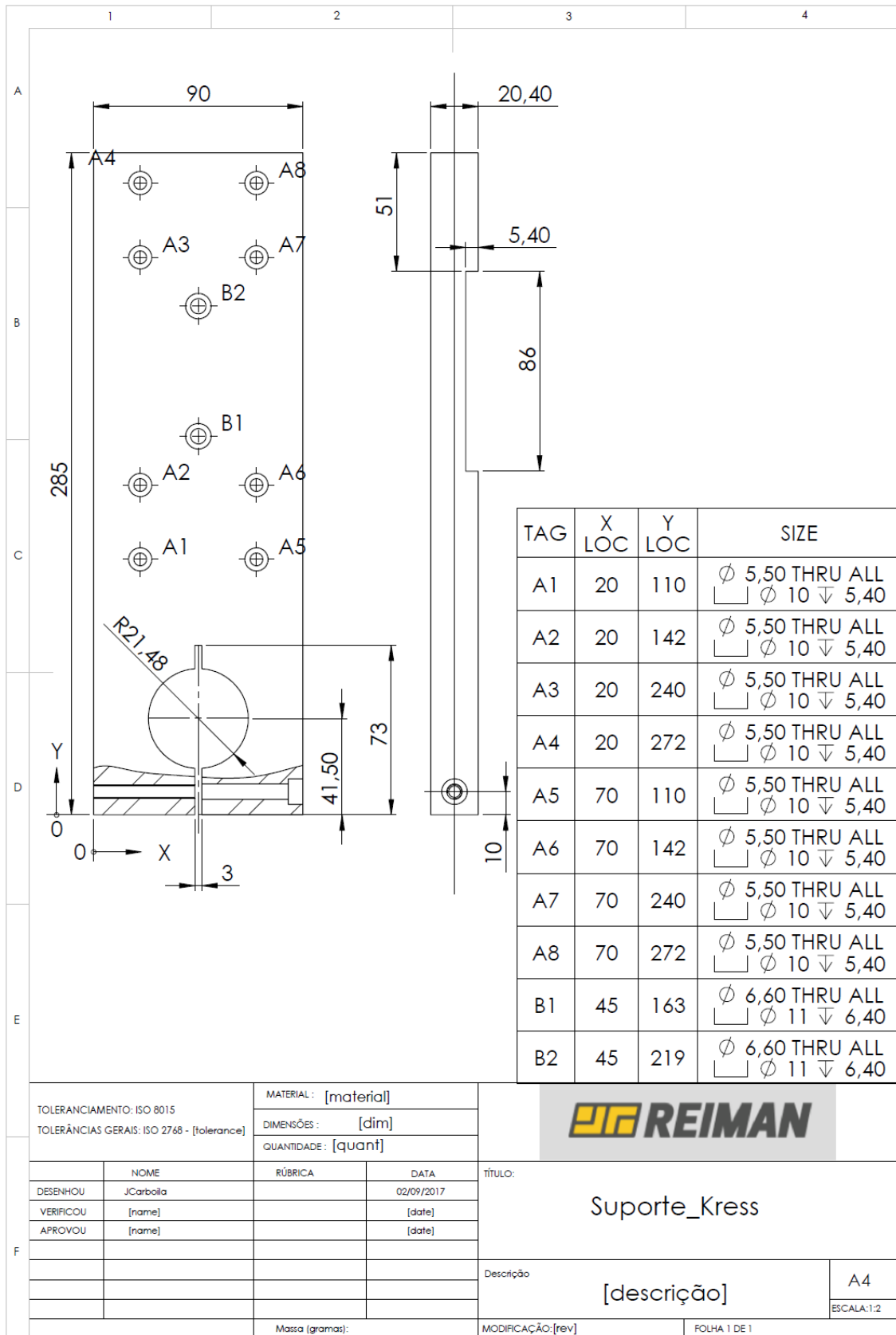


All dimensions are indicated in mm

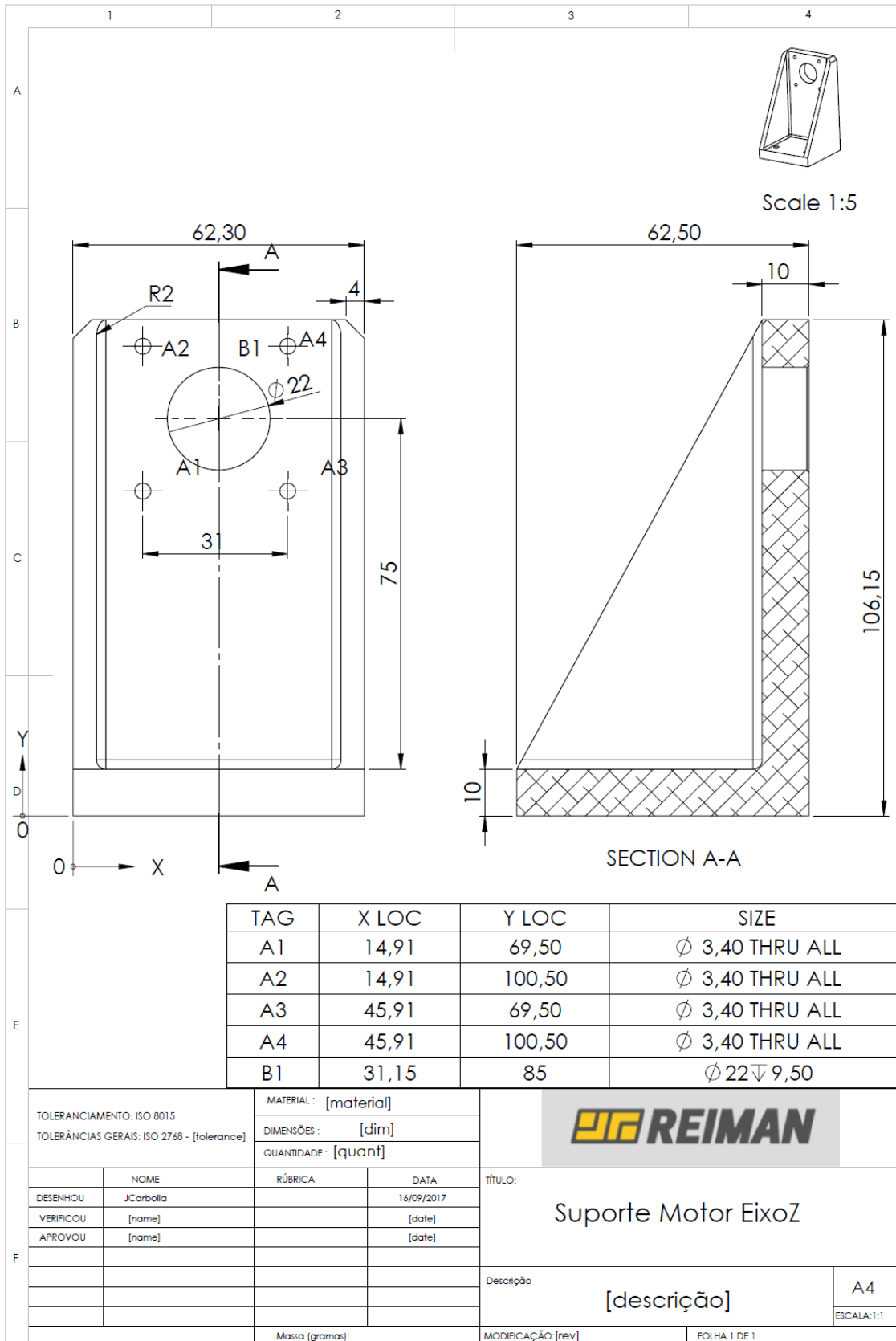
Type	Size	Length		Stroke		Load capacity per pair		m	n	Number of holes
		L [mm]	H [mm]	C _{Orad} [N]	C _{Orax} [N]	[mm]	[mm]			
LTH	30	250	285	404	on request	25	100	3		
		300	323	1008		50				
		350	377	1042		25				
		400	416	1136		50		4		
		450	485	1164		25				
		500	523	1470		50		5		
		550	577	1464		25				
		600	615	1402		50		6		
		650	685	1230		25				
		700	723	1186		50		7		
		750	777	1100		25				
		800	815	1066		50		8		
		850	884	962		25				
		900	923	936		50		9		
		950	977	882		25				
		1000	1015	858		50		10		
1050	1084	792	25							
1100	1123	772	50	11						
1150	1176	736	25							
1200	1215	720	50	12						

Type	Size	A	B	J	G	K	F	Weight
LTH	30	20	30	16.2	5,0	15,0	M6	3.5 [kg/m]

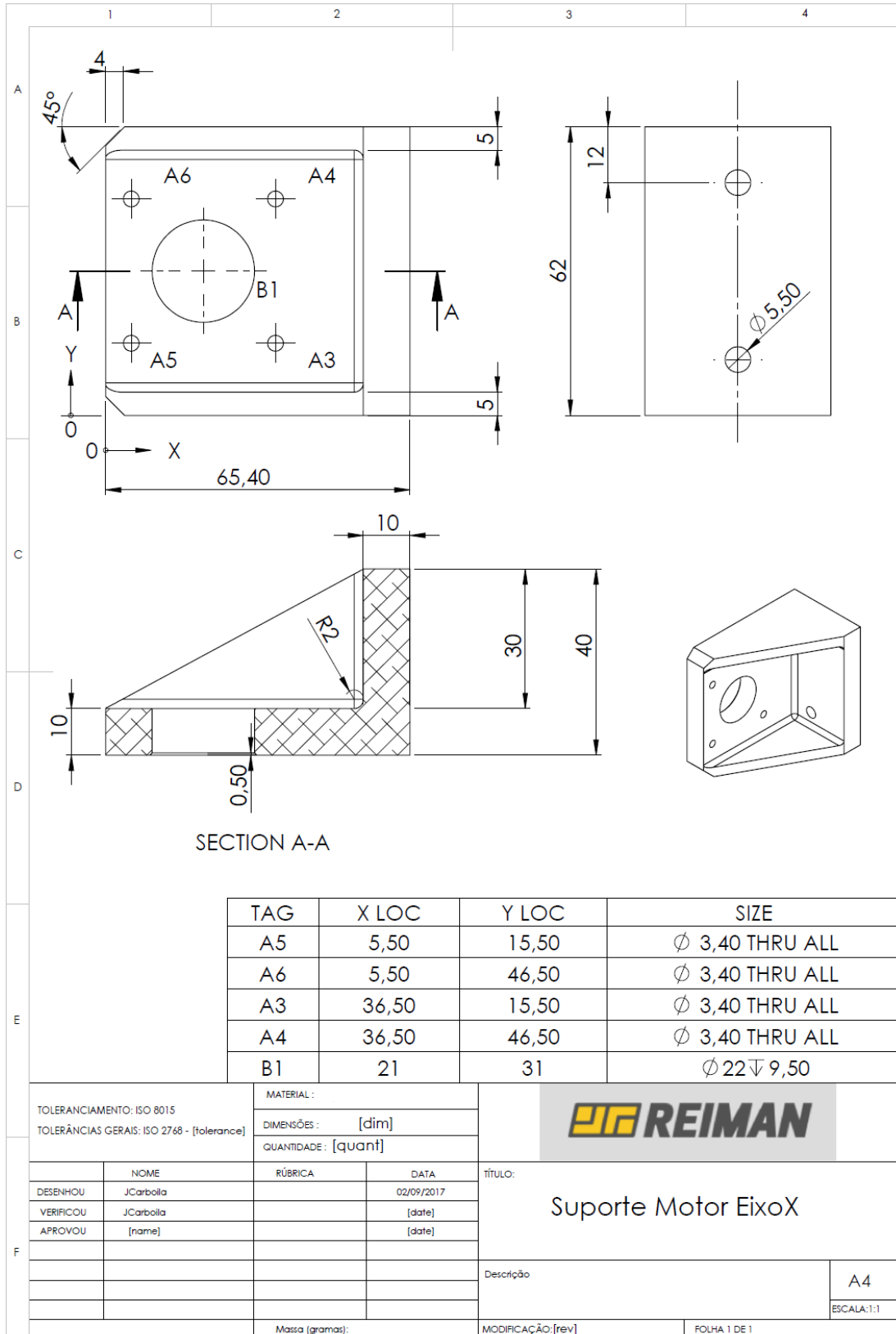
6.5 ANEXO – Desenho produção suporte Kress



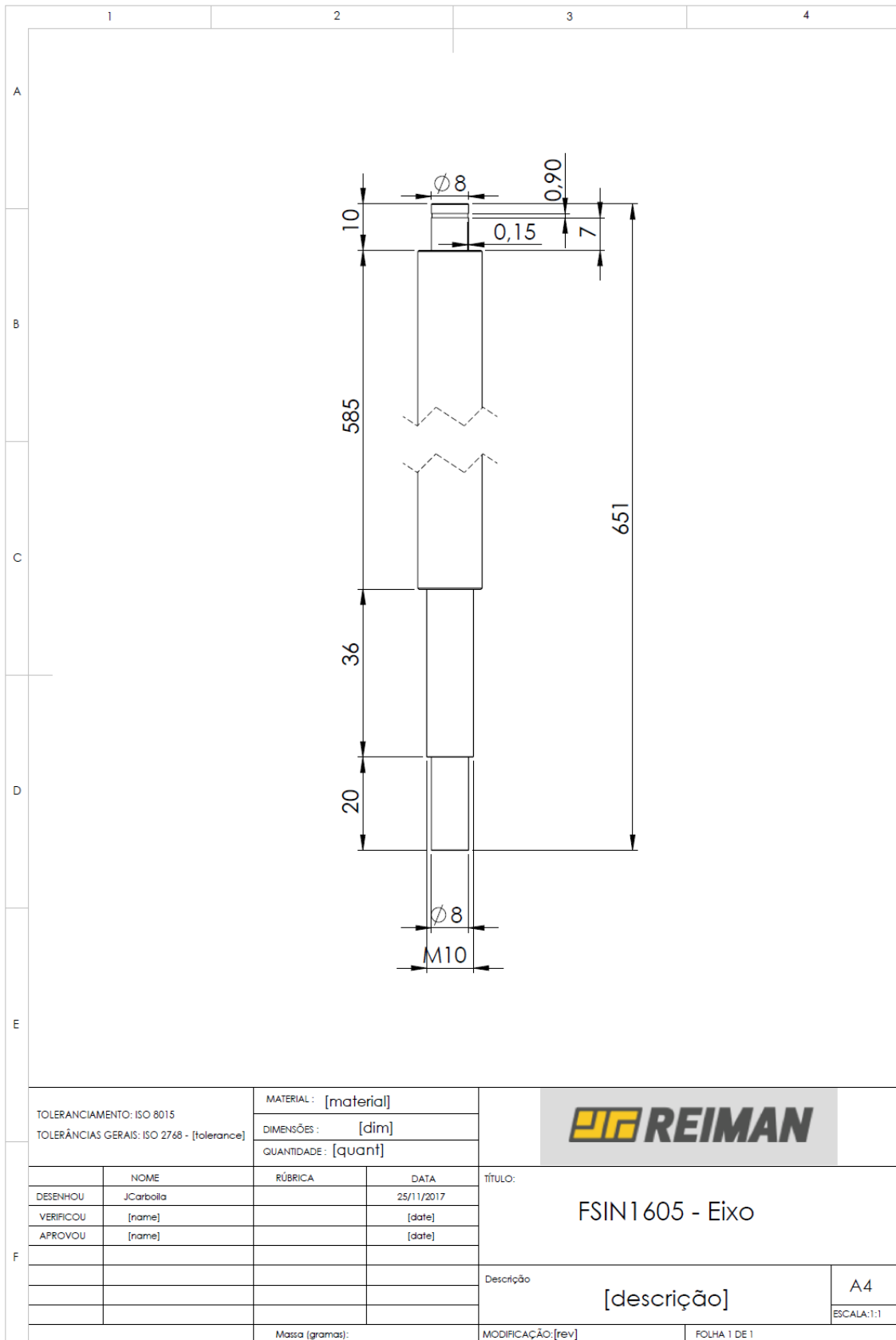
6.6 ANEXO – Suporte motor



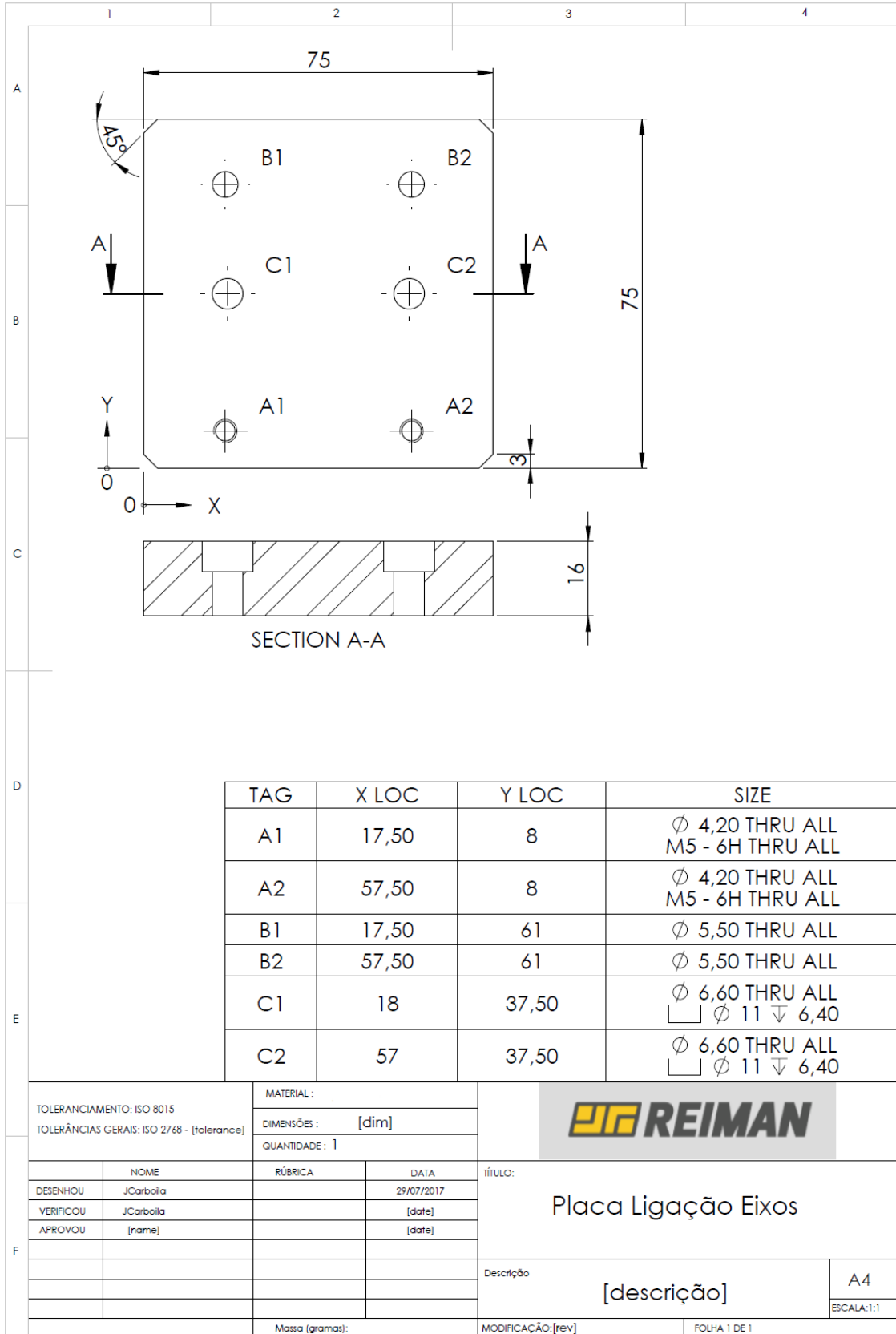
6.7 ANEXO – Suporte Motor



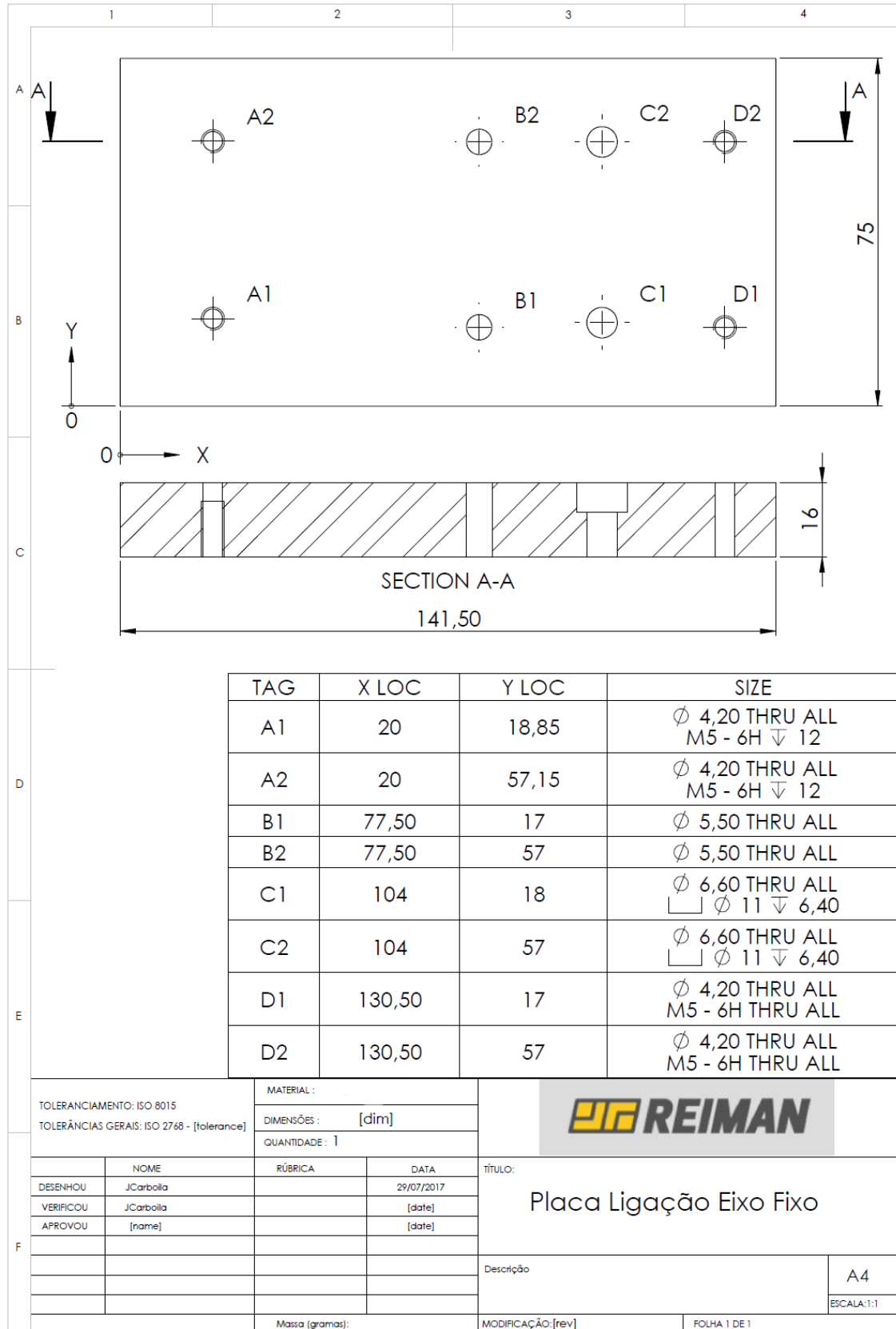
6.8 ANEXO – Fuso eixo YY (maquinação equivalente no eixo YY)



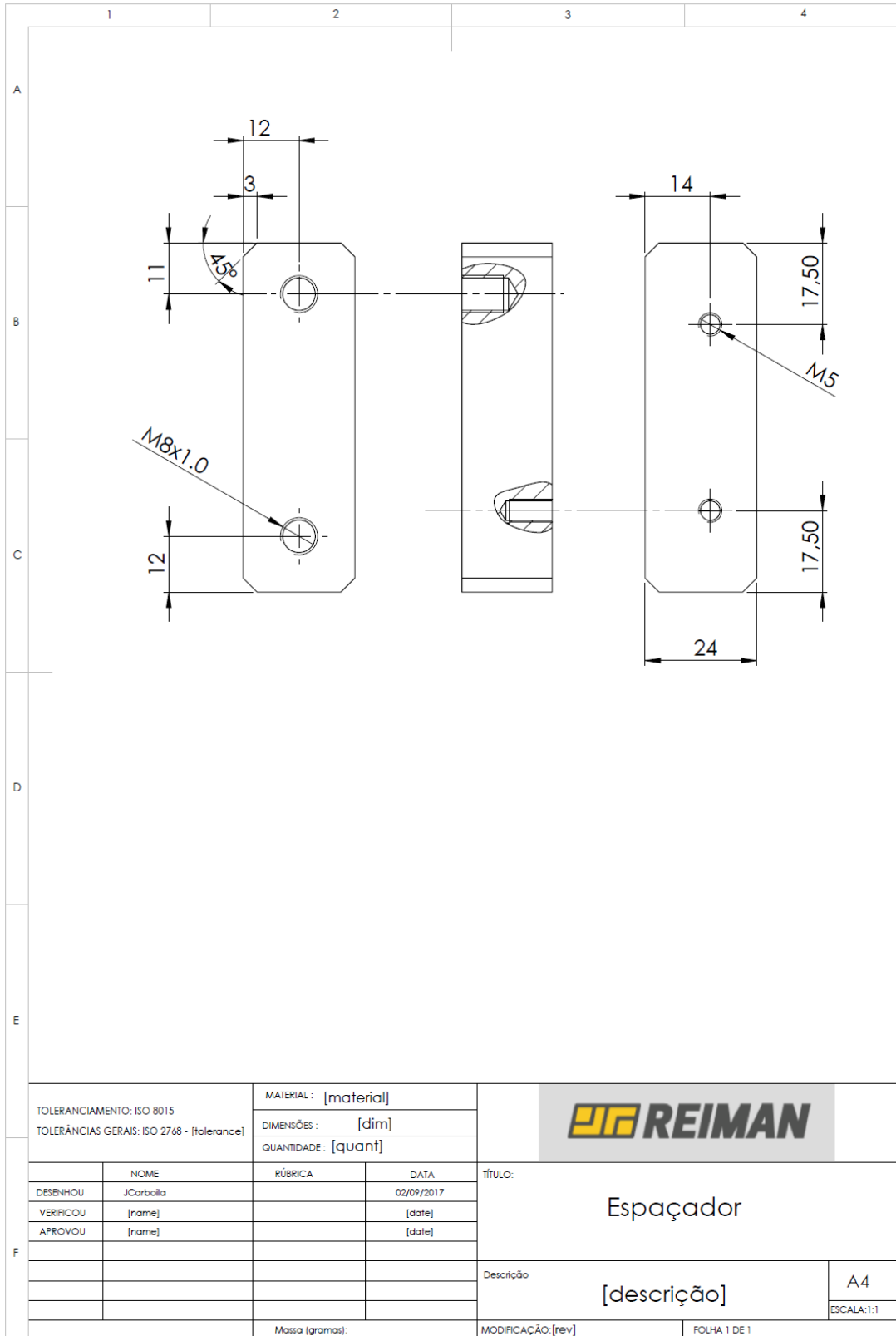
6.9 ANEXO – Placa ligação eixos



6.10 ANEXO – Placa ligação eixo fixo



6.11 - Espaçador



TOLERANCIAMENTO: ISO 8015		MATERIAL : [material]		
TOLERÂNCIAS GERAIS: ISO 2768 - [tolerance]		DIMENSÕES : [dim]		
		QUANTIDADE : [quant]		
	NOME	RÚBRICA	DATA	TÍTULO: Espaçador
DESENHOU	JCarbolla		02/09/2017	
VERIFICOU	[name]		[date]	
APROVOU	[name]		[date]	
F				Descrição [descrição]
		Massa (gramas):	MODIFICAÇÃO: [rev]	FOLHA 1 DE 1

6.12 ANEXO – Maquinações e suportes de fuso de esferas



Table 8.3 Overview of standard shaft ends for EK, BK, FK, EF, BF, FF bearing series

<p>Fixed bearing type E8 Bearing: 70.. For EK, FK bearing units</p>	<p>Fixed bearing type E9 Bearing: 72.. For BK bearing unit</p>	<p>Supported bearing type E10 Bearing: deep groove ball bearing 60.. or 62.. For EF, BF, FF bearing units</p>
<p>Fixed bearing type E81 Bearing: 70.. For EK, FK bearing units</p>	<p>Fixed bearing type E91 Bearing: 72.. For BK bearing unit</p>	

Example: Designation of shaft end, type S3, with the fit diameter $d = 10$: S3-10

When using bearings other than the specified bearing units, it must be checked whether the size of the bearing installation surface is sufficient.

Table 8.4 Dimensions of standard shaft ends for EK, BK, FK, EF, BF, FF bearing series

Shaft end type	Ballscrew nominal ϕ	d	D4	D5	D10	L8	L9	L10	L16	L17	DE	LB	LC	LP	Width \times depth	C	Recess R
E_-08	12	8	6	M8 \times 1	6	41	—	9	6	0,80	5,8	9	19	—	—	5,5	10002475
E_-10	15, 16	10	8	M10 \times 1	8	56	—	10	7	0,90	7,7	20	31	14	2 \times 1,2	5,5	10002475
E_-12	16 ¹⁾	12	10	M12 \times 1	10	59	—	11	8	1,15	9,6	23	34	16	3 \times 1,8	5,5	10002475
E_-15	20	15	12	M15 \times 1	15	70	—	13	9	1,15	14,3	23	36	16	4 \times 2,5	10	10002475
E_-20	25	20	17	M20 \times 1	20	92	—	19	14	1,35	19,0	30	47	20	5 \times 3,0	11	10002476
E_-25	32	25	20	M25 \times 1,5	25	126	115	20	15	1,35	23,9	50	70	36	6 \times 3,5	15 (9) ³⁾	10002476
E_-30	40	30	25	M30 \times 1,5	30	132	132	21	16	1,75	28,6	60	85	45	8 \times 4,0	9	10002476
E_-40	50	40	35 ²⁾	M40 \times 1,5	40	—	173	23	18	1,95	38,0	80	115	56	10 \times 5	15	10002476

Unit: mm

¹⁾ Depending on actual shaft outer diameter $d_{s \min} = 15,5$

²⁾ Tolerance k6

³⁾ For BK 25

It goes without saying that we also machine the shaft ends to your drawings and individual requirements.

Ballscrews

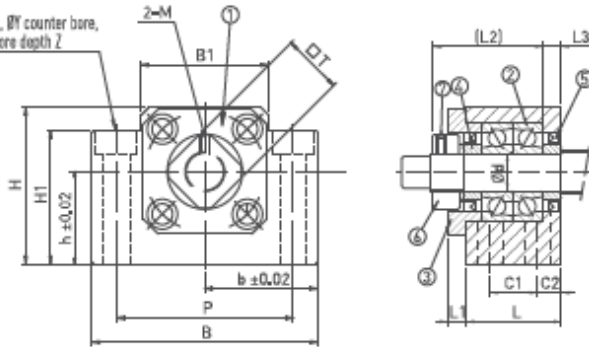
Accessories

8.6 BK/BF bearing series

8.6.1 Fixed bearing BK

The axis height of the fixed bearing is matched to supported bearing BF [Section 8.6.2].
The end machining suited to fixed bearing BK is the E9-ax type [Section 8.1].

2-ØX hole, ØY counter bore, counter bore depth Z



(1) Housing, (2) Bearing, (3) Retaining cover, (4) Support ring, (5) Seal, (6) Clamping nut, (7) Allen set screw

Table 8.27 Bearing unit dimensions

Article number	Shaft nominal Ø	d	L	L1	L2	L3	B	H	b	h
BK25	32	25	42	12	54	9	106	80	53	48
BK30	40	30	45	14	61	9	128	89	64	51
BK40	50	40	61	18	76	15	160	110	80	60

Unit: mm

Table 8.28 Bearing unit dimensions

Article number	Shaft nominal Ø	B1	H1	P	C1	C2	X	Y	Z	M	T
BK25	32	44	70	85	22	10	11	17	11,0	M6	35
BK30	40	76	78	102	23	11	14	20	13,0	M6	40
BK40	50	100	90	130	33	14	18	26	17,5	M6	50

Unit: mm

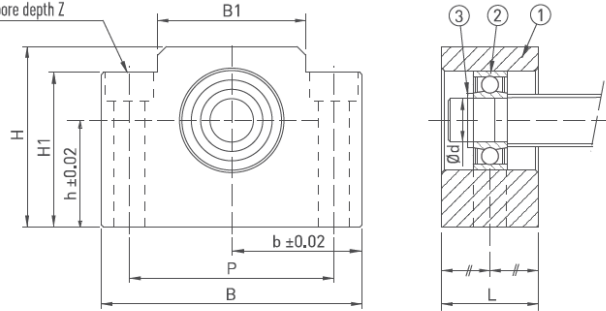
Table 8.29 Technical data of bearing

Article number	Bearing type	C ₃ axial [N]	C _{40%} axial [N]	Max. permissible axial load [N]	Max. speed [n/min]	Lock nut			
						Type	Nut tightening torque [Nm]	Screw size	Screw tightening torque [Nm]
BK25	7205A P0	26,300	20,500	7,000	12,000	RN25	21	M6	5
BK30	7206B P0	33,500	27,000	10,400	7,100	RN30	31	M6	5
BK40	7208B P0	52,000	44,100	18,000	5,300	RN40	71	M6	5

8.6.2 Supported bearing BF

The axis height of the supported bearing is matched to fixed bearing BK (Section 8.6.1).
The end machining suited to supported bearing BF is the E10-xx type (Section 8.1).

2-ØX hole, ØY counter bore,
counter bore depth Z



(1) Housing, (2) Bearing, (3) Circlip

Table 8.30 Bearing unit dimensions

Article number	Shaft nominal Ø	d	L	B	H	b	h	B1	H1	P	X	Y	Z	Bearing	Circlip
BF25	32	25	30	106	80	53	48	64	70	85	11	17	11.0	6205ZZ	S 25
BF30	40	30	32	128	89	64	51	76	78	102	14	20	13.0	6206ZZ	S 30
BF40	50	40	37	160	110	80	60	100	90	130	18	26	17.5	6208ZZ	S 40

Unit: mm

6.13 ANEXO - Exemplo de G-code

Exemplo de G-code para Guia Linear MAS 30 R

```
# GSIMPLE SCRIPT FILE
# www.gsimple.eu

$66 2.05
$65 0 INFO
$127 MM
$83 REIMAN
$85 VFO
$86 Jorge Carboila
$13 Mestrado_ISEP
$12
$1 1
$2 MSA_30_R
$58 1
$95 0 3.13843 473.70831 369.34248 124
$5 0 -350.000 -300.000 0.000
$96 0.000 0.000 0.000
$29 25.00000
$55 10.00000
$61 3
$67 1.500
$68 5.000
$69 5.000
$70 15.000
$71 25.000
$72 0.200
$74 0.200
$73 0.200
$75 1.250
$76 0.500
$98 127
$118 0.010000
$21 ON
$92 ON
$36 OFF 200.000 500 2 50.000
$41 ON 3.000
$82 ON 150
```

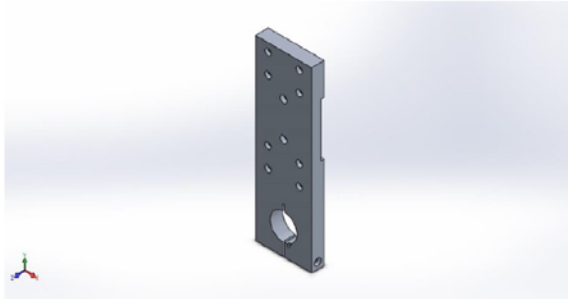
\$91 OFF

\$125 ON

\$50 AUTO

\$60 1 -1 0.000000 0.000000 20.400000 0.000000 UNNAMED [1]
\$60 2 -1 -0.705788 -0.705788 -0.000000 0.000000 UNNAMED [1]
\$60 3 -1 -3.800000 -3.800000 -3.800000 -6.200000 UNNAMED [1]
\$60 4 -1 -3.800000 -3.800000 -3.094211 -3.094212 UNNAMED [1]
\$60 5 -1 -3.800000 -6.200000 -3.094211 -6.905788 UNNAMED [1]
\$60 6 -1 -0.705788 -9.294212 0.900000 -10.900000 UNNAMED [1]
\$60 7 -1 -3.800000 -19.700000 0.900000 -15.000000 UNNAMED [1]
\$60 8 -1 -3.800000 -19.700000 -3.800000 -24.500000 UNNAMED [1]
\$60 9 -1 2.400395 -26.000000 -2.300000 -26.000000 UNNAMED [1]
\$60 10 -1 2.900395 -25.500000 6.500309 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 11 -1 7.000309 -26.000000 13.399691 -26.000000 UNNAMED [1]
\$60 12 -1 0.900000 -10.900000 0.900000 -15.000000 UNNAMED [1]
\$60 13 -1 -3.800000 -24.500000 -2.300000 -26.000000 UNNAMED [1]
\$60 14 -1 2.400395 -26.000000 2.900395 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 15 -1 7.000309 -26.000000 6.500309 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 16 -1 24.200000 -19.700000 19.500000 -15.000000 UNNAMED [1]
\$60 17 -1 21.105788 -9.294212 19.500000 -10.900000 UNNAMED [1]
\$60 18 -1 24.200000 -19.700000 24.200000 -24.500000 UNNAMED [1]
\$60 19 -1 17.999605 -26.000000 22.700000 -26.000000 UNNAMED [1]
\$60 20 -1 17.499605 -25.500000 13.899691 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 21 -1 19.500000 -10.900000 19.500000 -15.000000 UNNAMED [1]
\$60 22 -1 24.200000 -24.500000 22.700000 -26.000000 2
\$60 23 -1 17.999605 -26.000000 17.499605 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 24 -1 13.399691 -26.000000 13.899691 -25.500000 UNNAMED [1]
\$60 25 -1 -3.094211 -3.094212 -0.705788 -0.705788 2.800000 UNNAMED [1]
\$60 26 -1 -0.705788 -9.294212 -3.094211 -6.905788 2.800000 UNNAMED [1]
\$60 27 -1 24.200000 -6.200000 23.494211 -6.905788 UNNAMED [1]
\$60 28 -1 21.105788 -0.705788 20.400000 0.000000 UNNAMED [1]
\$60 29 -1 24.200000 -3.800000 23.494211 -3.094212 UNNAMED [1]
\$60 30 -1 24.200000 -3.800000 24.200000 -6.200000 UNNAMED [1]
\$60 31 -1 21.105788 -0.705788 23.494211 -3.094212 2.800000 UNNAMED [1]
\$60 32 -1 23.494211 -6.905788 21.105788 -9.294212 2.800000 UNNAMED [1]
\$128

6.14 ANEXO – Relatório elementos finitos :: Baixo > Cima



Description
No Data

Simulation of Suporte_Kress

Date: 1 de dezembro de 2017
Designer: Solidworks
Study name: Static 1
Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	1
Assumptions	2
Model Information	2
Study Properties	3
Units	3
Material Properties	4
Loads and Fixtures.....	4
Connector Definitions.....	5
Contact Information.....	5
Mesh information	6
Sensor Details	7
Resultant Forces	7
Beams.....	7
Study Results	8
Conclusion	10

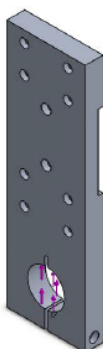


Analyzed with SOLIDWORKS Simulation


Simulation of Suporte_Kress 1

Assumptions

Model Information



Model name: Suporte_Kress
Current Configuration: Default

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Move Face1 	Solid Body	Mass: 1.18593 kg Volume: 0.000439235 m ³ Density: 2700 kg/m ³ Weight: 11.6222 N	D:\Docs\REIMAN\CAD\Carboila\v12\Suporte_Kress.SLDPRT Jul 29 16:49:18 2017



Study Properties

Study name	Static 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (D:\Docs\REIMAN\CAD\Carboila\v12)

Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²




SOLIDWORKS

Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

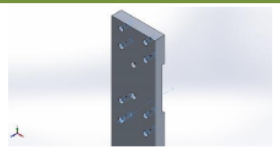
Simulation of Suporte_Kress

3

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: 6063-T1 Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 9e+007 N/m ² Tensile strength: 1.5e+008 N/m ² Elastic modulus: 6.9e+010 N/m ² Poisson's ratio: 0.33 Mass density: 2700 kg/m ³ Shear modulus: 2.58e+010 N/m ² Thermal expansion coefficient: 2.34e-005 /Kelvin	SolidBody 1(Move Face1)(Suporte_Kress)
Curve Data:N/A		

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 8 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.00196294	-604.085	-0.0177552	604.085
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 2 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 302.02 N



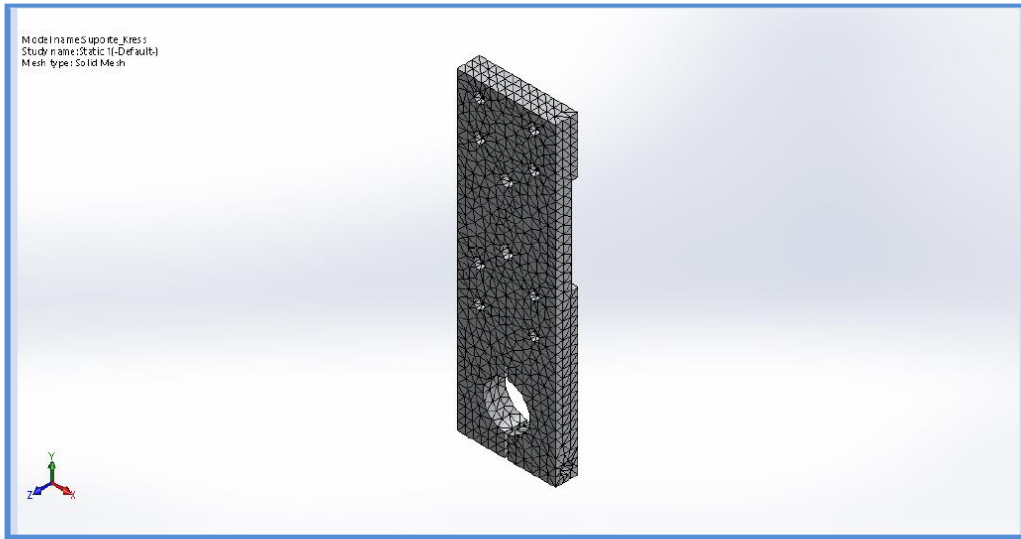
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	7.60345 mm
Tolerance	0.380173 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	20920
Total Elements	12756
Maximum Aspect Ratio	7.8645
% of elements with Aspect Ratio < 3	96.2
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:02
Computer name:	TITOPC





Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-0.00196294	-604.085	-0.0177552	604.085

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

Beams

No Data



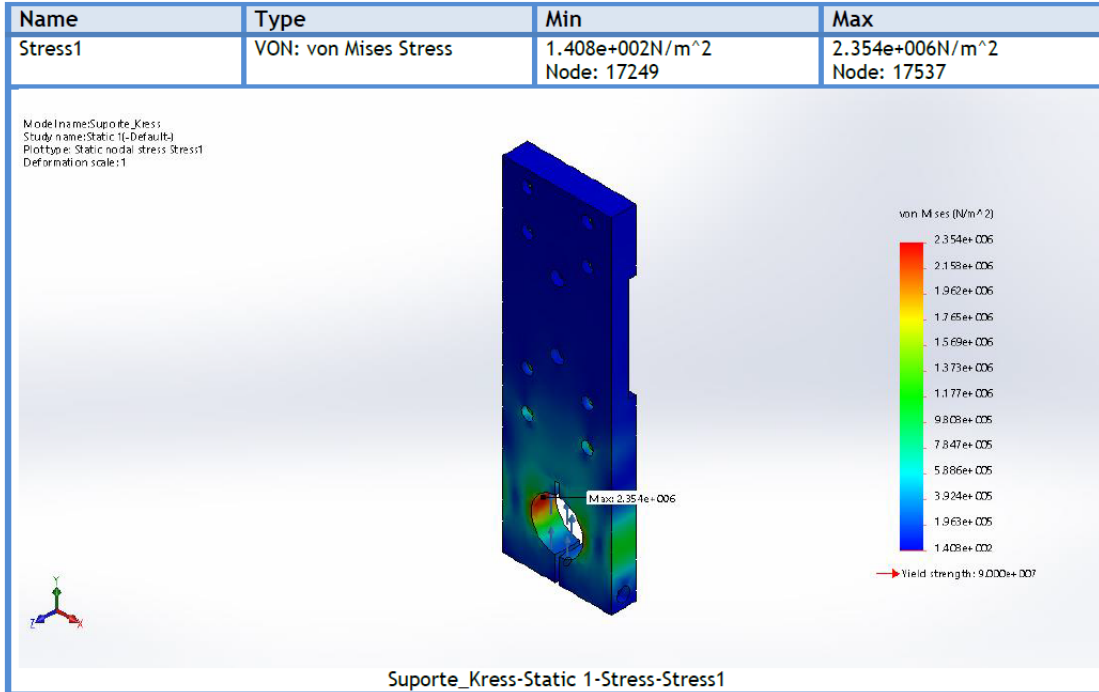
SOLIDWORKS

Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Suporte_Kress

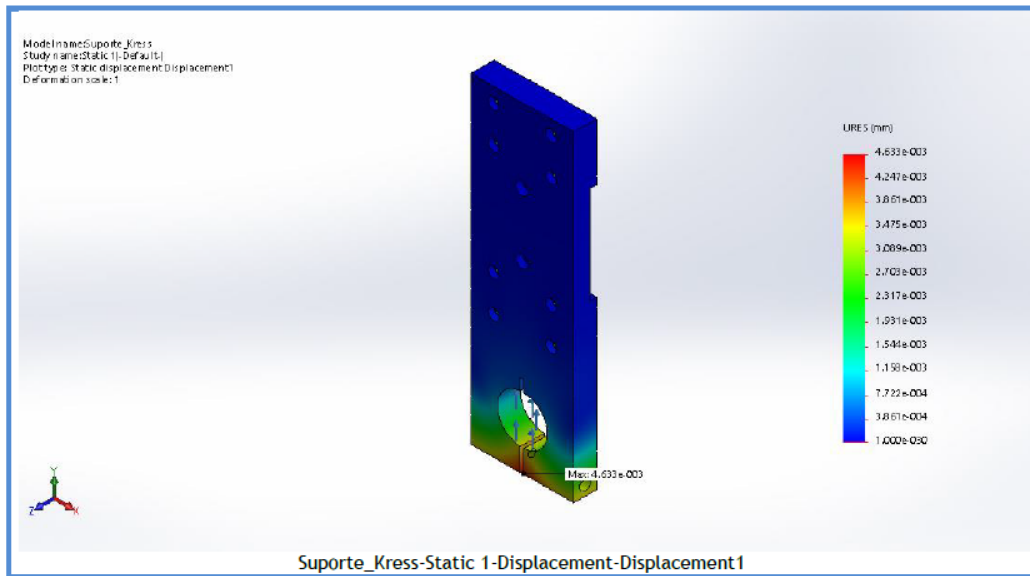
7

Study Results

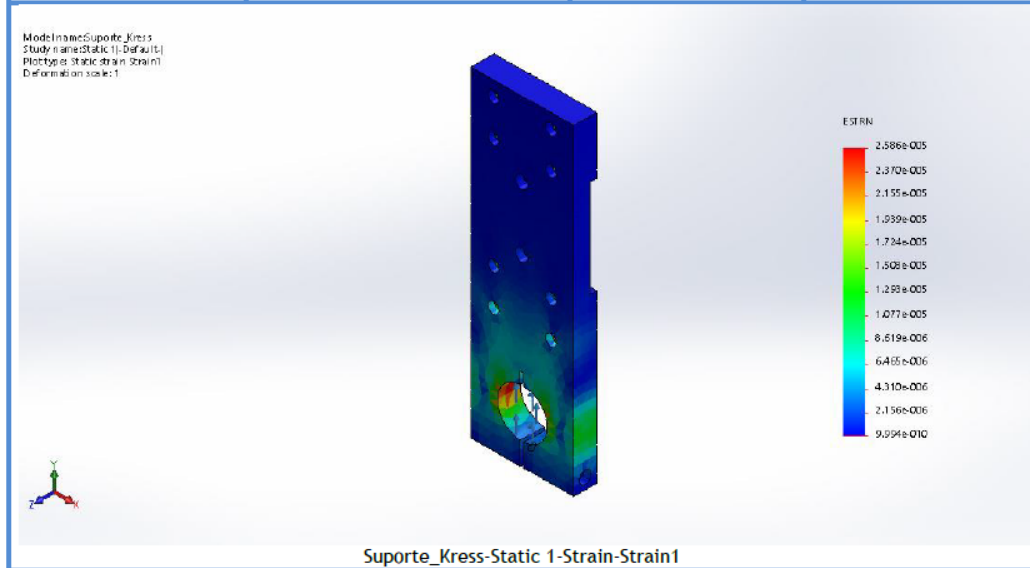


Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.000e+000mm Node: 174	4.633e-003mm Node: 636





Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	9.994e-010	2.586e-005
		Element: 12556	Element: 10236



Conclusion