

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA SERIGRAFÍA TEXTIL EN  
LA EMPRESA ÁGIL LÍNEA DEPORTIVA UBICADA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ  
D.C.**

**DANIEL ESTEBAN CASTELLANOS CÁRDENAS  
JORGE ANDRÉS DAZA MURILLO**

**Proyecto integral para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Orientador  
Miguel Alfonso Morales Granados  
Ingeniero Mecánico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C. Abril de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Garzón

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano General Facultad de Ingeniarías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Dra. María Angélica Acosta Pérez

Las directivas de la universidad América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Éstos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>23</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>24</b>
<b>Objetivos</b>	<b>25</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>27</b>
<b>1.1. Serigrafía</b>	<b>27</b>
<b><i>1.1.1. Proceso Y Elementos De La Serigrafía</i></b>	<b>27</b>
<b>1.2. Automatización</b>	<b>32</b>
<b>1.3. Sistemas neumáticos</b>	<b>32</b>
<b><i>1.3.1. Actuadores neumáticos.</i></b>	<b>32</b>
<b>1.4. Sensores</b>	<b>33</b>
<b><i>1.4.1. Sensores empleados en la industria</i></b>	<b>33</b>
<b><i>1.4.2. Sensores de proximidad o detectores</i></b>	<b>33</b>
<b><i>1.4.3. Sensores de temperatura</i></b>	<b>33</b>
<b>1.5. Actuadores eléctricos</b>	<b>34</b>
<b>1.7. Controladores lógicos programables (PLC)</b>	<b>34</b>
<b>1.8. Método de selección de alternativas</b>	<b>34</b>
<b>2. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE SERIGRAFÍA EN LA EMPRESA Y LAS ALTERNATIVAS PRESENTES EN EL MERCADO</b>	<b>35</b>
<b>2.1. Metodologías de trabajo para serigrafía textil en la industria</b>	<b>35</b>
<b><i>2.1.1. Serigrafía manual</i></b>	<b>35</b>
<b><i>2.1.3. Serigrafía automática</i></b>	<b>43</b>
<b>2.2. Máquinas para el secado de serigrafía</b>	<b>48</b>
<b><i>2.2.1. Túneles de secado con ventilación forzada</i></b>	<b>49</b>
<b><i>2.2.2. Termo fijadora espiral neumática de traslado de doble ubicación.</i></b>	<b>51</b>
<b>3. DISEÑO CONCEPTUAL Y MODO FUNCIONAL DE LA MÁQUINA</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Identificación de las variables de entrada y salida para el diseño</b>	<b>57</b>
<b>3.2. Identificación de sistemas necesarios para cumplir los requerimientos del proceso</b>	<b>59</b>

<b>3.2.1. Sistema de generación y transmisión de potencia</b>	<b>59</b>
<b>3.2.2. Sistema de impresión</b>	<b>60</b>
<b>3.2.3. Sistema de fijación y secado</b>	<b>61</b>
<b>3.2.4. Sistema de control</b>	<b>61</b>
<b>3.2.5. Sistema estructural</b>	<b>62</b>
<b>3.3. Definición del modo funcional de la máquina</b>	<b>62</b>
<b>3.4. Planteamiento de las tres alternativas de solución.</b>	<b>64</b>
<b>3.4.1. Primera alternativa</b>	<b>64</b>
<b>3.4.2. Segunda alternativa</b>	<b>66</b>
<b>3.4.3 Tercera alternativa</b>	<b>68</b>
<b>3.5. Selección de alternativa</b>	<b>69</b>
<b>4.1. Diseño del sistema de impresión</b>	<b>75</b>
<b>4.1.1. Diseño de la racleta de impresión</b>	<b>75</b>
<b>4.2. Diseño del sistema de fijación y secado</b>	<b>159</b>
<b>4.2.1. Diseño del subsistema de calentamiento y transferencia de calor</b>	<b>160</b>
<b>4.2.2. Diseño del subsistema neumático de presión</b>	<b>166</b>
<b>4.2.3. Diseño del subsistema estructural del sistema de fijación y secado</b>	<b>168</b>
<b>4.3. Diseño del sistema de generación y transmisión de potencia</b>	<b>175</b>
<b>4.3.1. Diseño del subsistema de mesas rotatorio</b>	<b>176</b>
<b>4.3.2. Diseño del sistema de transmisión de potencia</b>	<b>195</b>
<b>4.4. Diseño del sistema estructural</b>	<b>201</b>
<b>4.4.1. Diseño de los elementos de conexión sistema de impresión-estructura</b>	<b>202</b>
<b>4.4.2. Diseño de los elementos de conexión sistema de fijación - estructura</b>	<b>207</b>
<b>4.4.3. Selección del perfil estructural para la sujeción de los sistemas de impresión y fijación</b>	<b>212</b>
<b>4.4.4. Diseño de la columna central</b>	<b>226</b>
<b>4.4.5. Selección del perfil rectangular del elemento de apoyo</b>	<b>246</b>

4.4.6. Selección de los perfiles base de la estructura	256
4.5. Diseño del sistema de control	267
4.5.1. Variables a controlar	268
4.5.2. Sistema de control	268
4.5.3. Selección PLC	287
4.5.4. Selección de la fuente de alimentación	288
4.5.5. Selección de los pulsadores de control	290
4.5.5. Conexión al PLC	291
5. ELABORACIÓN DE MANUALES PARA LA MÁQUINA	294
5.1. Manual de instalación	294
5.1.1. Sistema de impresión	294
5.1.2. Sistema de fijación y secado	304
5.1.3. Sistema de generación y transmisión de potencia (Brazos giratorios)	307
5.1.4. Sistema estructural	310
5.2. Manual de operación	316
5.2.1. Manual de seguridad	316
5.3. Manual de mantenimiento	322
5.3.1. Sistema de impresión	323
5.3.2. Sistema de fijación y secado	325
5.3.3. Sistema de generación y transmisión de potencia	326
5.3.4. Sistema estructural	327
6. EVALUACIÓN FINANCIERA Y DE IMPACTO AMBIENTAL	329
6.1. Evaluación de impacto ambiental de la máquina	329
6.2. Evaluación financiera de la máquina	333
6.2.1. Costos de la máquina	333
6.2.2. Análisis financiero	336
7. CONCLUSIONES	342
BIBLIOGRAFÍA	344

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. <i>Características de un marco para serigrafía textil.</i>	28
Figura 2. <i>Características de una racleta para serigrafía manual.</i>	29
Figura 3. <i>Máquina de foto-revelado.</i>	30
Figura 4. <i>Pulpo mecánico para serigrafía textil</i>	31
Figura 5. <i>Pulpo de serigrafía</i>	36
Figura 6. <i>Diagrama de proceso para la serigrafía manual utilizando una máquina tipo carrusel.</i>	37
Figura 7. <i>Máquina de serigrafía PRY-8012G</i>	38
Figura 8. <i>Diagrama de proceso para la máquina de serigrafía semiautomática PRY- 8012G.</i>	40
Figura 9. <i>Máquina de serigrafía IMX-P1</i>	41
Figura 10. <i>Diagrama de proceso para la máquina IMX-P1</i>	42
Figura 11. <i>Brazo automático de serigrafía IMX-1</i>	44
Figura 12. <i>Diagrama de proceso para el brazo de serigrafía automático IMX-1.</i>	45
Figura 13. <i>Máquina de serigrafía GW-200TRS</i>	46
Figura 14. <i>Diagrama de proceso para la máquina en función de tintas de diferente color.</i>	47
Figura 15. <i>Máquina de túnel de secado MINISTAR-2.</i>	49
Figura 16. <i>Diagrama de proceso para la máquina MINISTAR-2.</i>	50
Figura 17. <i>Termo fijadora espiral neumática de traslado de doble ubicación.</i>	51
Figura 18. <i>Diagrama de proceso para la máquina termo fijadora.</i>	52
Figura 19. <i>Diagrama de planta para el espacio de serigrafía textil.</i>	53
Figura 20. <i>Pulpo manual 6 x 4 utilizado en la empresa.</i>	54
Figura 21. <i>Máquina termo fijadora neumática utilizada en la empresa.</i>	55
Figura 22. <i>Diagrama del proceso de serigrafía textil empleado en la empresa.</i>	56
Figura 23. <i>Diagrama de caja negra para el proceso de serigrafía textil.</i>	59
Figura 24. <i>Diagrama de funcionamiento del sistema de generación de potencia</i>	60
Figura 25. <i>Diagrama de funcionamiento del sistema de impresión.</i>	60



Figura 26. <i>Diagrama de funcionamiento del sistema de fijación y secado.</i>	61
Figura 27. <i>Diagrama del flujo del funcionamiento de la máquina automatizada para serigrafía textil.</i>	63
Figura 28. <i>Sistemas en común entre las alternativas.</i>	64
Figura 29. <i>Boceto, primera alternativa</i>	65
Figura 30. <i>Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.</i>	66
Figura 31. <i>Boceto, segunda alternativa.</i>	67
Figura 32. <i>Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.</i>	67
Figura 33. <i>Boceto, tercera alternativa.</i>	68
Figura 34. <i>Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.</i>	69
Figura 35. <i>Conjunto de elementos que componen la racleta.</i>	76
Figura 36. <i>Fuerzas para cilindros neumáticos normalizados DSBC, ISO 15552.</i>	77
Figura 37. <i>Procedimiento experimental para establecer la fuerza de empuje vertical</i>	77
Figura 38. <i>Esquema de las fuerzas que actúan sobre la goma de la gráfica.</i>	79
Figura 39. <i>Diagrama de cuerpo libre de la goma</i>	79
Figura 40. <i>Esquema del conjunto de las placas de la racleta junto a la goma.</i>	81
Figura 41. <i>Planteamiento del comportamiento estructural de la placa de la racleta.</i>	82
Figura 42. <i>Diagrama de cuerpo libre de la racleta.</i>	83
Figura 43. <i>Diagrama de esfuerzo cortante elemento 2.</i>	83
Figura 44. <i>Diagrama de momento flector del elemento 2.</i>	84
Figura 45. <i>Criterios para la deflexión de elementos de máquina.</i>	86
Figura 46. <i>Deflexión sobre el elemento 1.</i>	86
Figura 47. <i>Deflexión sobre la sección crítica del elemento 2</i>	87
Figura 48. <i>Diagrama de las fuerzas actuantes sobre el elemento de unión.</i>	87
Figura 49. <i>Ubicación de los elementos de unión.</i>	88
Figura 50. <i>Elemento de sujeción de la racleta</i>	89

Figura 51. <i>Vista lateral de los elementos que componen la racleta.</i>	90
Figura 52. <i>Peso del elemento 1.</i>	90
Figura 53. <i>Peso del elemento 2.</i>	91
Figura 54. <i>Diagrama del elemento bajo las fuerzas externas.</i>	92
Figura 55. <i>Diagrama de cuerpo libre del elemento:</i>	92
Figura 56. <i>Diagrama de esfuerzo cortante.</i>	93
Figura 57. <i>Diagrama de momento flector máximo.</i>	94
Figura 58. <i>Gráfica de la deflexión máxima del elemento de sujeción de la racleta.</i>	95
Figura 59. <i>Peso de elemento de sujeción de la racleta.</i>	95
Figura 60. <i>Elementos roscados de la pieza de sujeción de la racleta y las fuerzas que lo afectan.</i>	96
Figura 61. <i>Vista isométrica de los cilindros de apoyo de la racleta.</i>	97
Figura 62. <i>Diagrama de cuerpo libre del cilindro de apoyo de la racleta.</i>	98
Figura 63. <i>Diagrama de esfuerzo cortante.</i>	99
Figura 64. <i>Diagrama de momento flector.</i>	99
Figura 65. <i>Deflexión máxima del cilindro de apoyo de la racleta.</i>	101
Figura 66. <i>Peso del cilindro de apoyo de la racleta.</i>	101
Figura 67. <i>Vista lateral del conjunto de elementos de la racleta y el cilindro de apoyo.</i>	102
Figura 68. <i>Gráfica para la selección del diámetro de émbolo adecuado para el cilindro neumático.</i>	105
Figura 69. <i>Ficha técnica cilindro neumático ADN/AEN, ISO 21287</i>	106
Figura 70. <i>Composición subsistema de recolección.</i>	107
Figura 71. <i>Vista lateral para el análisis de la fricción de la espátula con la superficie</i>	108
Figura 72. <i>Diagrama de cuerpo libre de la espátula.</i>	108
Figura 73. <i>Diagrama de esfuerzo cortante de la espátula.</i>	109
Figura 74. <i>Diagrama de momento flector máximo de la espátula.</i>	109
Figura 75. <i>Deflexión máxima de la espátula.</i>	111

Figura 76. <i>Ubicación de los elementos de unión roscados de la espátula de recolección.</i>	111
Figura 77. <i>Disposición de la racleta y la espátula sobre la placa de desplazamiento vertical.</i>	112
Figura 78. <i>Ubicación de las fuerzas de acuerdo al comportamiento de la placa comouna viga.</i>	113
Figura 79. <i>Diagrama de cuerpo libre de la placa de desplazamiento horizontal.</i>	114
Figura 80. <i>Diagrama de esfuerzo cortante de la placa de desplazamiento vertical</i>	115
Figura 81. <i>Diagrama de momento flector máximo.</i>	116
Figura 82. <i>Deflexión máxima de la placa de desplazamiento horizontal.</i>	117
Figura 83. <i>Masa total del elemento móvil</i>	118
Figura 84. <i>Masa total del conjunto de racleta móvil</i>	118
Figura 85. <i>Montaje del conjunto de racleta movil sobre el riel</i>	119
Figura 86. <i>Diagrama del caso de estudio del riel</i>	119
Figura 87. <i>Diagrama de cuerpo libre del riel</i>	120
Figura 88. <i>Diagrama de esfuerzo cortante del riel</i>	121
Figura 89. <i>Diagrama de momento flector</i>	122
Figura 90. <i>Características riel de aluminio</i>	123
Figura 91. <i>Deflexion del rie de aluminio</i>	124
Figura 92. <i>Patín compatible con el riel seleccionado</i>	125
Figura 93. <i>Montaje del patín con la corredera</i>	125
Figura 94. <i>Montaje del conjunto de la placa móvil los rieles de aluminio</i>	126
Figura 95. <i>Unión de la racleta móvil con el patín mediante uniones atornilladas</i>	127
Figura 96. <i>Caso de estudio unión atornillada para el ensamble de patín y racleta móvil</i>	127
Figura 97. <i>Dimensiones del elemento de sujeción de marco</i>	129
Figura 98. <i>Peso del elemento de sujeción de marco</i>	129
Figura 99. <i>Ensamble entre elemento de sujeción de marco y elemento de unión</i>	130
Figura 100. <i>Dimensiones del elemento de unión</i>	130

Figura 101. <i>Pesa del elemento de unión</i>	131
Figura 102. <i>Montaje de la unión roscada para elemento de sujeción de marco y elemento de unión</i>	131
Figura 103. <i>Montaje con unión atornillada</i>	133
Figura 104. <i>Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical de marco</i>	134
Figura 105. <i>Caso de estudio cilindros de apoyo</i>	135
Figura 106. <i>Peso del cilindro de apoyo</i>	137
Figura 107. <i>Gráfica de selección de actuadores neumáticos</i>	137
Figura 108. <i>Características del cilindro neumático</i>	138
Figura 109. <i>Unión cilindro neumático y cilindros de apoyo</i>	139
Figura 110. <i>Planteamiento situación problema elemento de unión</i>	139
Figura 111. <i>Diagrama de cuerpo libre del elemento de unión</i>	140
Figura 112. <i>Diagrama de cuerpo libre corregido el elemento de unión</i>	141
Figura 113. <i>Diagrama de esfuerzo cortante</i>	141
Figura 114. <i>Diagrama de momento flector</i>	142
Figura 115. <i>Deflexión sobre el elemento de unión</i>	143
Figura 116. <i>Peso del elemento de unión</i>	144
Figura 117. <i>Ensamble base de cilindro neumático</i>	144
Figura 118. <i>Situación problema base cilindro neumático</i>	145
Figura 119. <i>Diagrama de cuerpo libre de la base del cilindro neumático.</i>	145
Figura 120. <i>Diagrama de esfuerzo cortante</i>	147
Figura 121. <i>Diagrama de momento flector</i>	148
Figura 122. <i>Deflexión del elemento base del cilindro</i>	149
Figura 123. <i>Ensamble de riel de aluminio</i>	150
Figura 124. <i>Caso de estudio placa de unión</i>	150
Figura 125. <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	151
Figura 126. <i>Diagrama de esfuerzo cortante</i>	152
Figura 127. <i>Diagrama de momento flector de la placa de unión</i>	152
Figura 128. <i>Deflexión de la placa de unión</i>	153

Figura 129. <i>Ubicación de las uniones atornilladas sobre el riel y la base del cilindro</i>	154
Figura 130. <i>Válvula de paso de asiento inclinado</i>	158
Figura 131. <i>Manguera para líquidos</i>	159
Figura 132. <i>Composición plancha termográfica</i>	165
Figura 133. <i>Peso del conjunto de plancha termográfica</i>	166
Figura 134. <i>Grafica de selección de cilindro neumático</i>	167
Figura 135. <i>Grafica de selección de cilindro neumático</i>	168
Figura 136. <i>Montaje de plancha térmica</i>	169
Figura 137. <i>Planteamiento caso de estudio</i>	169
Figura 138. <i>Diagrama de cuerpo libre placa de unión</i>	170
Figura 139. <i>Diagrama de esfuerzo cortante</i>	171
Figura 140. <i>Diagrama de momento flector:</i>	171
Figura 141. <i>Deflexión en la placa de unión</i>	173
Figura 142. <i>Montaje de las uniones atornilladas placa de unión</i>	174
Figura 143. <i>Elemento de unión termo fijadora</i>	175
Figura 144. <i>Planteamiento del problema perfiles de brazos giratorios</i>	176
Figura 145 <i>Diagrama de cuerpo libre brazo giratorio</i>	177
Figura 146. <i>Diagrama de esfuerzo cortante brazos giratorios</i>	177
Figura 147. <i>Diagrama de momento flector</i>	178
Figura 148. <i>Ensamble mesa de trabajo</i>	179
Figura 149. <i>Ensamble de discos de brazos giratorios</i>	180
Figura 150. <i>Ensamble completo brazos giratorios</i>	180
Figura 151. <i>Planteamiento del problema disco inferior brazos giratorios</i>	181
Figura 152. <i>Diagrama de cuerpo libe brazos giratorios</i>	181
Figura 153. <i>Diagrama de esfuerzo cortante</i>	182
Figura 154. <i>Diagrama de momento flector</i>	182
Figura 155. <i>Masa tubo cuadrado de acero 60x60 cm</i>	184
Figura 156. <i>Masa de mesa rectangular en aluminio 53x42cm</i>	184
Figura 157. <i>Masa Conjunto de discos de unión:</i>	184

Figura 158. <i>Servo motor Nema 34</i>	187
Figura 159. <i>Arreglo de disco y placas de fijación</i>	188
Figura 160. <i>Ensamble del conjunto de discos</i>	192
Figura 161. <i>Caso de estudio unión atornillada de discos</i>	192
Figura 162. <i>Montaje de tornillo y buje brazos giratorios</i>	194
Figura 163. <i>Ensamble polea y conjunto de discos</i>	198
Figura 164. <i>Factores de diseño para rodamientos</i>	200
Figura 165. <i>Características de montaje de rodamiento</i>	201
Figura 166. <i>Sujeción de cabezal de impresión</i>	202
Figura 167. <i>Masa del conjunto del cabezal de impresión</i>	203
Figura 168. <i>Uniones atornilladas sistema de sujeción de cabezal de impresión</i>	204
Figura 169. <i>Fijación del cabezal de impresión con el perfil estructural</i>	205
Figura 170. <i>Ensamble sujeción cabezal de impresión con estructura</i>	207
Figura 171. <i>Sujeción de cabezal de fijación</i>	207
Figura 172. <i>Sujeción del sistema de fijación</i>	209
Figura 173. <i>Sujeción del sistema de fijación con el perfil estructural</i>	210
Figura 174. <i>Sujeción del cabezal de fijación con el sistema estructural</i>	212
Figura 175. <i>Ensamble cabezales – estructura principal</i>	213
Figura 176. <i>Sujeción cabezal de impresión</i>	213
Figura 177. <i>Planteamiento del problema perfil estructural cabezal de impresión</i>	214
Figura 178. <i>Diagrama de cuerpo libre perfil estructural cabezal de impresión</i>	214
Figura 179. <i>Diagrama de esfuerzo cortante perfil cabezal de impresión</i>	215
Figura 180. <i>Diagrama de momento flector perfil cabezal de impresión</i>	216
Figura 181. <i>Sujeción cabezal de fijación</i>	217
Figura 182. <i>Planteamiento del problema perfil cabezal de fijación.</i>	217
Figura 183. <i>Diagrama de cuerpo libre, perfil cabezal de fijación</i>	218
Figura 184. <i>Diagrama de esfuerzo cortante, perfil cabezal de fijación</i>	219
Figura 185. <i>Diagrama de momento flector, perfil cabezal de fijación</i>	219
Figura 186. <i>Deflexión sobre cabezal de impresión</i>	221
Figura 187. <i>Deflexión sobre cabezal de fijación</i>	221

Figura 188. <i>Ensamble perfiles y discos estructurales.</i>	222
Figura 189. <i>Planteamiento del problema para disco estructura central</i>	223
Figura 190. <i>Diagrama de cuerpo libre disco estructura central</i>	223
Figura 191. <i>Diagrama de esfuerzo cortante disco estructura central</i>	224
Figura 192. <i>Diagrama de momento flector disco estructura central</i>	224
Figura 193. <i>Masa disco superior e inferior</i>	226
Figura 194. <i>Ensamble de la columna y estructura central con los discos y brazos superiores</i>	227
Figura 195. <i>Planteamiento de problema para el análisis de la columna</i>	228
Figura 196. <i>Simplificación de análisis de la columna</i>	229
Figura 197. <i>Simplificación análisis de carga excéntrica</i>	230
Figura 198. <i>Diagrama de flujo análisis de columnas</i>	232
Figura 199. <i>Comparación para establecer la constante <math>K</math> de una columna partir de una situación</i>	233
Figura 200. <i>Ensamble de elemento de unión de columna y discos estructurales superiores</i>	236
Figura 201. <i>Ensamble de elementos complementarios del sistema estructural</i>	237
Figura 202. <i>Planteamiento del problema disco central estructura</i>	238
Figura 203. <i>Diagrama de cuerpo libre del disco central de la estructura</i>	239
Figura 204. <i>Diagrama de esfuerzo cortante del disco central de la estructura</i>	240
Figura 205. <i>Diagrama de momento flector del disco central de la estructura</i>	240
Figura 206. <i>Inclusión del elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	241
Figura 207. <i>Composición del elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	242
Figura 208. <i>Momento flector sobre las mesas giratorias sin el elemento de apoyo</i>	243
Figura 209. <i>Caso de estudio, análisis del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo</i>	243
Figura 210. <i>Diagrama de cuerpo libre del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo</i>	244

Figura 211. <i>Nuevo diagrama de esfuerzo cortante del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo</i>	245
Figura 212. <i>Nuevo diagrama de momento flector del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo</i>	245
Figura 213. <i>Nueva deflexión del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo</i>	246
Figura 214. <i>Caso de estudio elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	246
Figura 215. <i>Caso de estudio elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	247
Figura 216. <i>Diagrama de esfuerzo cortante del elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	247
Figura 217. <i>Diagrama de momento flector del elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	248
Figura 218. <i>Deflexión del elemento de apoyo de los brazos giratorios</i>	249
Figura 219. <i>Ensamble del elemento de apoyo de los brazos giratorios</i>	250
Figura 220. <i>Caso de estudio de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	250
Figura 221. <i>Diagrama de cuerpo libre de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	251
Figura 222. <i>Diagrama de esfuerzo cortante de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	252
Figura 223. <i>Diagrama de momento flector de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios</i>	252
Figura 224. <i>Composición del elemento de apoyo de los brazos giratorios</i>	254
Figura 225. <i>Vinculación de perfiles de soporte de la estructura principal</i>	257
Figura 226. <i>Caso de estudio perfiles de soporte de la estructura principal</i>	258
Figura 227. <i>Transformación de la carga en componentes rectangulares a partir del ángulo de inclinación del perfil</i>	259
Figura 228. <i>Ensamble perfiles de soporte de la estructura principal</i>	262
Figura 229. <i>Condición de carga de los elementos roscados de la unión del perfil de soporte con el disco de la estructura principal</i>	262



Figura 230. Condición de carga para la unión soldada	263
Figura 231. <i>Unión de columna y disco central de estructura</i>	265
Figura 232. <i>Unión soldada para ensamble de rodamiento</i>	266
Figura 233. <i>Ensamble para la sujeción del cilindro neumático de desplazamiento horizontal.</i>	267
Figura 234. <i>Embobinado y secuencia para realizar los pasos del motor</i>	273
Figura 235. <i>Diagrama de flujo programación del sistema de transmisión de potencia</i>	274
Figura 236. <i>Disposición de los cilindros del sistema de impresión.</i>	275
Figura 237. <i>Diagrama espacio fase sistema de impresión</i>	276
Figura 238. <i>Diagrama de conexión neumática para el cilindro del sistema de impresión</i>	277
Figura 239. <i>Válvula de direccionamiento.</i>	278
Figura 240. <i>Sensor magnético de proximidad de Festo.</i>	279
Figura 241. <i>Hoja de datos sensor magnético de Festo</i>	280
Figura 242. <i>Hoja de datos para la válvula reguladora de caudal</i>	281
Figura 243. <i>Diagrama de flujo programación para el sistema de impresión.</i>	282
Figura 244. <i>Ubicación cilindro F</i>	282
Figura 245. <i>Diagrama de conexión neumática y espacio fase para el cilindro del sistema de fijación</i>	283
Figura 246. <i>Diagrama de flujo programación para el sistema de fijación y secado</i>	284
Figura 247. <i>Características del controlador de temperatura Autonics TC4S</i>	285
Figura 248. <i>Diagrama para la conexión del controlador de temperatura</i>	286
Figura 249. <i>Diagrama de conexión de acuerdo a la aplicación del diseño</i>	287
Figura 250. <i>Imagen de un módulo de automatización CPX-E de Festo</i>	288
Figura 251. <i>Características de la fuente de alimentación</i>	289
Figura 252. <i>Pulsador normalmente abierto 22 mm</i>	290
Figura 253. <i>Conexión de los dispositivos de entrada y salida al PLC.</i>	291

Figura 254. <i>Tiempo de producción por prenda de la máquina de serigrafía (Capacidad máxima).</i>	292
Figura 255. <i>Tiempo de producción por prenda de la máquina de serigrafía (Capacidad mínima).</i>	293
Figura 256. <i>Paso 1 del ensamble</i>	294
Figura 257. <i>Paso 2 del ensamble.</i>	295
Figura 258. <i>Paso 3 del ensamble</i>	295
Figura 259. <i>Paso 4 del ensamble</i>	296
Figura 260. <i>Paso 5 del ensamble</i>	296
Figura 261. <i>Paso 6 del ensamble.</i>	297
Figura 262. <i>Paso 7 del ensamble</i>	298
Figura 263. <i>Paso 8 del ensamble</i>	299
Figura 264. <i>Paso 9 del ensamble</i>	299
Figura 265. <i>Paso 10 del ensamble</i>	300
Figura 266. <i>Paso 11 del ensamble</i>	300
Figura 267. <i>Paso 13 del ensamble</i>	301
Figura 268. <i>Paso 14 del ensamble</i>	302
Figura 269. <i>Paso 15 del ensamble</i>	303
Figura 270. <i>Ubicación y fijación del cilindro de desplazamiento horizontal</i>	303
Figura 271. <i>Paso 16 del ensamble</i>	304
Figura 272. <i>Paso 17 del ensamble</i>	304
Figura 273. <i>Paso 18 del ensamble</i>	305
Figura 274. <i>Paso 19 del ensamble</i>	305
Figura 275. <i>Paso 20 del ensamble</i>	306
Figura 276. <i>Paso 21 del ensamble</i>	307
Figura 277. <i>Paso 22 del ensamble</i>	308
Figura 278. <i>Paso 23 del ensamble</i>	309
Figura 279. <i>Paso 24 del ensamble</i>	310
Figura 280. <i>Visualización del ensamble de los otros soportes.</i>	311
Figura 281. <i>Paso 25 del ensamble.</i>	311

Figura 282. <i>Ensamble de los tres brazos de apoyo</i>	312
Figura 283. <i>Paso 26 y 27 del ensamble</i>	312
Figura 284. <i>Paso 28 del ensamble</i>	313
Figura 285. <i>Paso 29 del ensamble</i>	313
Figura 286. <i>Paso 30 del ensamble</i>	314
Figura 287. <i>Ensamble del cabezal de impresión con la estructura</i>	314
Figura 288. <i>Ensamble del cabezal de fijación con la estructura</i>	315
Figura 289. <i>Paso 32 de ensamble</i>	315
Figura 290. <i>Configuración del controlador térmico</i>	320
Figura 291. <i>Posicionamiento del marco sobre el sistema de impresión.</i>	321
Figura 292. <i>Panel de control con pulsadores de la máquina.</i>	322
Figura 293. <i>Tabla de valoración del impacto ambiental para un proyecto.</i>	330

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. <i>Características generales PRY-8012G</i>	39
Tabla 2. <i>Características generales IMX-P1</i>	42
Tabla 3. <i>Características generales IMX-1</i>	44
Tabla 4. <i>Características generales GW-200TRS</i>	47
Tabla 5. <i>Comparación modo funcional de las máquinas de serigrafía textil según su metodología.</i>	48
Tabla 6. <i>Características generales MINISTAR-2</i>	50
Tabla 7. <i>Características generales Termo fijadora espiral neumática</i>	52
Tabla 8. <i>Variables funcionales del proceso.</i>	57
Tabla 9. <i>Variables operacionales del proceso.</i>	58
Tabla 10. <i>Significado de cada valor de ponderación.</i>	71
Tabla 11. <i>Asignación de la ponderación para cada criterio.</i>	71
Tabla 12. <i>Significado de los valores de satisfacción.</i>	72
Tabla 13. <i>Resultados de la ponderación.</i>	73
Tabla 14. <i>Resultados experimento.</i>	78
Tabla 15. <i>Ponderación</i>	269
Tabla 16. <i>Criterios de evaluación</i>	270
Tabla 17. <i>Valores de satisfacción</i>	271
Tabla 18. <i>Resultados del método Scoring</i>	272
Tabla 19. <i>Consumo eléctrico componentes de la máquina de serigrafía</i>	289
Tabla 20. <i>Señalización necesaria que debe poseer la máquina y sus alrededores</i>	316
Tabla 21. <i>Listado de actividades de mantenimiento a realizar</i>	328
Tabla 22. <i>Matriz para la evaluación del impacto ambiental de la máquina.</i>	332
Tabla 23. <i>Costos de ingeniería para la máquina</i>	334
Tabla 24. <i>Precios para la fabricación de la máquina</i>	334
Tabla 25. <i>Listado de elementos para la fabricación de la máquina.</i>	335
Tabla 26. <i>Sumatoria de los costos de la máquina</i>	336

Tabla 27. <i>Cantidad de prendas impresas en día laboral.</i>	337
Tabla 28. <i>Ingresos de la empresa por serigrafía textil.</i>	337
Tabla 29. <i>Costos de producción diarios.</i>	338
Tabla 30. <i>Costos administrativos de la empresa.</i>	338
Tabla 31. <i>Flujo de caja sin el proyecto.</i>	339
Tabla 32. <i>Tabla de amortización para adquisición de la máquina mediante un crédito</i>	339
Tabla 33. <i>Flujo de caja con el proyecto</i>	340
Tabla 34. <i>Diferencia de flujos de caja</i>	340
Tabla 35. <i>Resultado del valor presente neto.</i>	341

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Goma de serigrafía textil	347
Anexo 2. Tornillos Gutemberto	348
Anexo 3. Características de la tinta Plastisol	349
Anexo 4. Resistencia eléctrica	350
Anexo 5. Perfil tubular cuadrado	351
Anexo 6. Aceros Nicastillo	352
Anexo 7. Norma AWS soldadura	353
Anexo 8. Catalogo electrodo	354
Anexo 9. Gráfica selección de paso para poleas sincrónicas Intermec	356
Anexo 10. Tabla de correas sincrónicas	357
Anexo 11. Selección del buje	358
Anexo 12. Designación de polea	359
Anexo 13. Designación de correas	360
Anexo 14. Selección de rodamiento	361
Anexo 15. Perfil estructural circular	362
Anexo 16. Electroválvulas direccionales 5/2	363
Anexo 17. Programación del motor	364
Anexo 18. Programación del sistema de impresión	366
Anexo 19. Programación sistema de fijación	369
Anexo 20. Ficha de conexión del relé SSR con el controlador TC4S	370
Anexo 21. Ficha Técnica fuente de alimentación	371
Anexo 22. Catálogo de señales para la seguridad industrial	372
Anexo 23. Recomendaciones	375

## RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño de una máquina automatizada de serigrafía textil para la empresa Ágil Línea deportiva. Esto con la intención de mejorar los tiempos de operación, la calidad del producto final y darle a la empresa la oportunidad de ser más competitiva en su mercado. Como primer paso se estudia la situación actual de las máquinas de serigrafía textil presentes en el mercado, estudiando las características de funcionamiento. Esto con el propósito de plantear el modo funcional de la máquina a diseñar, enfocándose en las variables de entrada y de salida; y los sistemas necesarios para transformarlas. Seguido de esto, se plantean las alternativas de diseño de la máquina para seleccionar la más adecuada.

Una vez es seleccionada la mejor alternativa, se realiza el diseño en detalle de cada uno de los sistemas que la componen, dimensionando las piezas cumpliendo los criterios de falla.

Luego de obtener los planos y las piezas que componen la máquina, se elaboran los manuales que esta requiere, tales como el de operación, seguridad, mantenimiento e instalación.

Finalmente se realiza una evaluación de impacto ambiental que pueda presentar la máquina y un estudio financiero que muestra a grandes rasgos la rentabilidad que esta pueda representar para la empresa.

Palabras clave: Serigrafía textil, diseño, automatización.

## INTRODUCCIÓN

Ágil Línea Deportiva es una empresa ubicada en el barrio del 7 de agosto de la ciudad de Bogotá D.C. dedicada a la confección de prendas textiles, con un recorrido de más de 10 años trabajando en su respectivo sector productivo.

Teniendo en cuenta el crecimiento del sector textil en Colombia, correspondiente al 4,8%, las empresas se han visto en la necesidad de mejorar sus equipos y hacer sus procesos más eficientes, esto con el fin de afrontar los diferentes retos que trae consigo el incremento en la demanda de los productos relacionados con esta industria.

Una de las etapas de mayor relevancia en el proceso de confección de prendas, es aquella que se conoce como serigrafía textil. Considerando que la empresa presenta producciones mínimas de alrededor de 3000 prendas mensuales y máximas de hasta 7000 que deben pasar por esta, la ejecución de la misma debe ser lo más efectiva posible. Sin embargo, la empresa realiza esta actividad de manera manual por medio de un operario, empleando dos diferentes máquinas para las etapas de impresión y secado en las que se invierten aproximadamente 90 segundos por prenda. Además, este proceso demanda exigencia física por parte del operario, puesto que esta actividad requiere de una buena presión al momento de transferir la tinta a la superficie de trabajo y condiciona al mismo a permanecer de pie durante extensos periodos de tiempo; estos factores llevados a numerosas producciones pueden verse reflejados en una baja calidad del producto final, un aumento de tiempos operacionales y en algunos casos costos adicionales por contratación de personal externo a la nómina común de la empresa.

A pesar que en el mercado se encuentran diferentes alternativas de máquinas que pueden satisfacer esta necesidad, la mayoría de ellas se enfocan únicamente en la etapa de impresión de prendas y generan elevados costos de adquisición, que empresas pequeñas y medianas no pueden solventar.



Teniendo en cuenta las características de los equipos de trabajo y el tiempo que invierte el operario en el proceso, se estima una capacidad de producción de 320 prendas a lo largo de un día laboral de 8 horas, esto les permite cumplir con la demanda actual que presenta la empresa. Sin embargo, las estadísticas (de 100 prendas devuelven 20 por imperfecciones) de devolución de prendas por baja calidad, los costos adicionales por daño de prendas en este proceso y por contratación de personal externo, sugieren que la empresa no tiene las competencias para ser más eficiente en la entrega de sus productos.

A partir de lo mencionado anteriormente, el propósito es diseñar una máquina automatizada económicamente asequible que permita aumentar la eficiencia de producción en el proceso de serigrafía en un 50%, pasando de 320 prendas estimadas a 480 fijas en el mismo lapso de tiempo, garantizando la calidad de las mismas. Esto último le daría a la empresa la posibilidad de ser más competitiva en su sector, puesto que le permite abarcar producciones más grandes e incursionar en nuevos mercados.

Para dar solución a la problemática planteada, se establecen los siguientes objetivos:

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Diseñar una máquina automatizada para serigrafía textil en la empresa Ágil Línea Deportiva.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar el proceso de serigrafía textil en la empresa, así como las diferentes metodologías de trabajo y alternativas de solución presentes en el mercado.
- Elaborar el diseño conceptual y el modo funcional de la máquina automatizada.
- Desarrollar el diseño detallado de la alternativa seleccionada.
- Elaborar manuales de instalación, operación, seguridad y mantenimiento.
- Realizar las evaluaciones de impacto ambiental y análisis financiero.

El desarrollo de este proyecto se va a centrar específicamente en la elaboración de un diseño para una máquina automatizada de serigrafía textil en la empresa Ágil Línea Deportiva; dejando a disposición de la compañía la correspondiente fabricación e implementación de la máquina en su proceso productivo.

Se hace entrega de las memorias de cálculo, planos detallados de la máquina, sus respectivos manuales, así como la evaluación ambiental y su análisis financiero.

Para el diseño de la máquina automatizada para serigrafía textil, se utilizará una metodología de análisis del proceso realizado en la empresa y de las variables que intervienen en el mismo, determinando los parámetros funcionales y operacionales.

El diseño debe satisfacer las necesidades de la empresa y le permitirá a esta tener un avance tecnológico que haga más eficiente sus procesos productivos.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Serigrafía

La serigrafía se conoce como la reproducción de imágenes sobre diferentes tipos de materiales. Su principio de funcionamiento consiste en el esparcimiento y transferencia de tinta a lo largo de la superficie de un tejido especial que se encarga de permitir o restringir el paso de la misma hacia el área de trabajo

#### 1.1.1. *Proceso Y Elementos De La Serigrafía*

El proceso de serigrafía comprende tres etapas consecutivas para su ejecución, estas son: el revelado del diseño, la impresión y el secado. Además, para un correcto desarrollo de esta actividad se deben disponer como mínimo de los siguientes elementos:

1.1.1.a. Marco. El marco según Acuña, es aquel que se encarga de la sujeción y adecuada tensión de la malla donde va a estar contenido el diseño a imprimir. [1]

Como se puede observar en la figura 1, los marcos son fabricados generalmente en madera puesto que su costo es relativamente bajo, son livianos y se puede fijar la malla fácilmente, no obstante, en procesos industriales donde se requiere de un óptimo registro al momento de la impresión, los marcos son fabricados en forma de cilindros de acero que permiten una eficiente tensión de la malla dándole mayor nitidez al diseño. Las dimensiones de estos pueden variar según su aplicación.

## Figura 1.

*Características de un marco para serigrafía textil.*



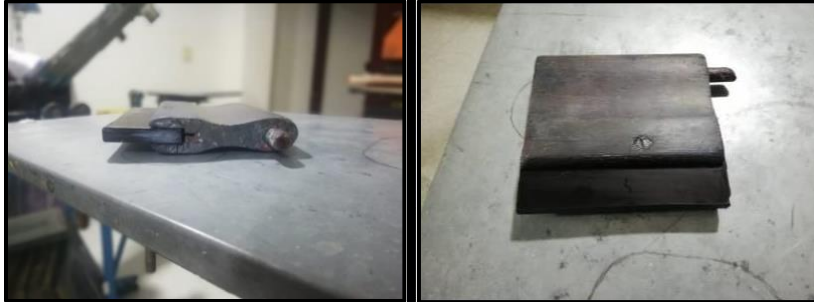
**Nota.** Imagen con las características físicas de un marco para serigrafía.

1.1.1.b. Malla. La malla según Acuña, es un tejido compuesto por un número de hilos sobre centímetro lineal, que van desde los 12 hasta los 200, donde a mayor cantidad de hilos se puede obtener mejor definición en la imagen a imprimir. [1] Las mallas tradicionales eran fabricadas a partir de seda, sin embargo, en la actualidad se hacen a base de hilos de nylon o poliéster.

1.1.1.c. Racleta. Este elemento funciona como un estilo de espátula que permite esparcir la tinta de manera continua a lo largo de la superficie de la malla haciendo presión, está compuesta principalmente por un mango de madera o de acero y un extremo fabricado en goma con un filo determinado para una correcta dispersión de la tinta como se puede observar en la figura 2.

## Figura 2.

*Características de una racleta para serigrafía manual.*



**Nota.** Imagen con las características de una racleta para serigrafía textil.

Las dimensiones de la racleta dependen del tamaño del diseño que se desee imprimir, por eso a partir de lo expuesto por Acuña, “se debe asegurar que la goma sea por lo menos 30 mm más ancha que la imagen, asegurando la completa dispersión de la tinta sobre este, además, el ancho de la goma se ve condicionada por el tipo de impresión implementada, ya sea impresión manual o impresión automática”. [1] En el caso de ser manual, se pueden manejar gomas con espesores entre 30 a 50 mm. Por otro lado, en aplicaciones automatizadas se recomienda trabajar con una goma de espesor aproximado a los 35 mm. Otra variable a considerar es el espesor de la racleta, el cual puede variar desde los 7 a los 9 mm.

1.1.1.d. Tinta De Trabajo. En la serigrafía textil se emplea un tipo de tinta especial para su aplicación, esta se compone principalmente de resinas, pigmentos y disolventes, cada una de ellas para dar el color determinado de una impresión. Su principal característica al ser una suspensión de partículas de PVC plastificante, es que a bajas temperaturas este es capaz de fluir como un líquido viscoso y cuando es expuesto a altas temperaturas, sus propiedades mecánicas cambian y pasa a tener un aspecto flexible y plastificado.

1.1.1.e. Etapa De Revelado. Para poder revelar el diseño en una malla, esta debe ser expuesta a un haz de luz ultravioleta, donde a partir de una película a blanco y negro que contiene la imagen a ser revelada, hace que las partes expuestas a las zonas blancas se endurezcan y las partes negras no sufran ningún cambio, permitiendo de esta manera que en las áreas donde se encontraba el diseño se dé el paso de la tinta.

Para lo anterior, se debe disponer de un cuarto completamente oscuro y una máquina como la que se puede apreciar en la figura 3, la cual emite un haz de luz hacia la malla a trabajar, sobre esta debe hacerse una presión constante durante un transcurso de tiempo determinado para que el revelado sea lo más definido posible.

### **Figura 3.**

*Máquina de foto-revelado.*



**Nota.** Características físicas de una mesa reveladora.

1.1.1.e Etapa De Impresión. Para la etapa de impresión se disponen de diferentes metodologías a seguir para realizar esta actividad. En algunos casos se hace mediante precisión, utilizando una mesa como apoyo y posicionando el marco manualmente para realizar el debido esparcido de tinta. En otros casos, se emplean mecanismos de sujeción como bisagras para fijar el marco y de esta manera posicionar el elemento a imprimir sobre una mesa, teniendo mayor precisión. En casos donde se presentan una gran demanda, se emplean máquinas de diferentes

formas y configuraciones que facilitan la ejecución de esta actividad como la que se muestra a continuación.

**Figura 4.**

*Pulpo mecánico para serigrafía textil*



**Nota.** Imagen de las características físicas de un pulpo manual para serigrafía textil.

1.1.1.f. Etapa De Secado. Una vez es realizada la etapa de impresión, la tinta debe pasar por una etapa de secado, donde se va a determinar el color, brillo y textura de la imagen impresa. Para esta etapa se cuentan con diferentes alternativas para su ejecución, desde la más artesanal donde se cuenta con un equipo compuesto de un conjunto de bandejas, las cuales están separadas unas de otras y soportan las superficies impresas exponiéndolas a la temperatura del medio ambiente. Por otro lado, en procesos industriales se cuenta con máquinas de pre-secado y/o secado y fijación que permiten agilizar el proceso.

## **1.2. Automatización**

La automatización según Gutiérrez e Iturralde, se conoce como la aplicación de diferentes tecnologías para controlar o monitorear procesos y máquinas, reduciendo de manera significativa la intervención humana.

## **1.3. Sistemas neumáticos**

La neumática es conocida como la tecnología industrial que utiliza gases para la transmisión de potencia. Según Hannifin, dadas las propiedades físicas del aire como la compresibilidad, difusibilidad, expansibilidad y la elasticidad, es capaz de ejercer acciones sobre diferentes dispositivos que se emplean para controlar procesos industriales. [2]

Para poder emplear los principios físicos sujetos a la transmisión de potencia mediante fluidos, es necesario comprimir el aire, con el propósito de suministrarle energía que posteriormente será transformada para diferentes aplicaciones.

### **1.3.1. Actuadores neumáticos**

Los actuadores son dispositivos que transforman la energía contenida en el aire en un movimiento y así mismo en una fuerza. Ya hablando de los tipos de actuadores neumáticos, se conocen tres tipos, los de simple efecto, doble efecto y los motores neumáticos.

En el caso de los actuadores de doble y simple efecto según Creus, “estos consisten en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que transmite un movimiento al exterior mediante un vástago, al momento de ingresar aire a la cámara cilíndrica, este ejerce una presión sobre el émbolo, desplazando el vástago longitudinalmente y creando de esta manera un movimiento lineal de avance y retroceso”. [3] La principal diferencia entre estos actuadores es el medio de retorno, siendo para el de simple efecto un resorte y para el de doble efecto, otra entrada de aire comprimido por el costado donde se encuentra vástago.



## **1.4. Sensores**

Con el objetivo de lograr el correcto funcionamiento de una máquina o proceso automatizado, es necesario que los sistemas y los componentes que lo conforman se encuentren asociados a lo largo del funcionamiento del mismo mediante el uso de sensores.

### ***1.4.1. Sensores empleados en la industria***

Cuando se trata de la aplicabilidad de los sensores en las máquinas, en la mayoría de los casos se emplean como parte de su sistema de control que rige el funcionamiento de la máquina. Las diferentes acciones que se producen en un sistema automático de una dependen de sus funciones, es por esto que para cada trabajo se tienen diferentes tipos de sensores, de los cuales los más empleados se muestran a continuación.

### ***1.4.2. Sensores de proximidad o detectores***

Según Gutiérrez e Iturralde, estos sensores tienen la función de determinar si un objeto se encuentra en una posición establecida previamente. Este tipo de sensores se puede clasificar en base a si poseen o no contacto con el elemento a controlar. [4]

### ***1.4.3. Sensores de temperatura***

Teniendo en cuenta lo expuesto por Gutiérrez e Iturralde, los sensores de temperatura tienen la función de medir aquella propiedad de la materia relacionada con la presencia de energía en forma de calor. [4] Actualmente existen diferentes tipos de sensores de temperatura que se adaptan a las diferentes necesidades de los sistemas de control y se clasifican de acuerdo a su principio de funcionamiento.

Los rangos de medida son el principal factor de selección para un sensor de temperatura, puesto que, si este se escoge de manera errónea, esto podría conllevar en un error de medición y a un posterior fallo en el proceso.

## **1.5. Actuadores eléctricos**

Según la información de Rodríguez, “son aquellos que solo requieren de energía eléctrica como fuente de poder, son considerablemente versátiles y son parte fundamental de los procesos automatizados y maquinas con sistemas de control. Los actuadores eléctricos más empleados a nivel industrial son los motores eléctricos tales como los de corriente continua (DC), alterna (AC), paso a paso y servomotores”. [5]

## **1.7. Controladores lógicos programables (PLC)**

Según Daneri, “los PLC’S son conocidos como dispositivos electrónicos operados digitalmente, los cuales emplean una memoria programable para el almacenamiento de información que le permite ejecutar funciones lógicas, secuenciales, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas a través de módulos de señales de entrada y salida”. [6]

## **1.8. Método de selección de alternativas**

1.8.1.d. Método de ponderación lineal Scoring. Es empleado comúnmente para selección de los métodos de selección multicriterio, mediante este, lo que se pretende obtener es una suma global producto de cada uno de los atributos a evaluar en el método. [7] El método se divide en:

- Identificación de la meta general del problema
- Identificación de las alternativas.
- Identificar y listar los criterios adecuados para la toma de decisión.
- Asignar una ponderación para cada uno de los criterios.
- Establecer el nivel de satisfacción de las alternativas respecto a cada criterio.
- Realizar la respectiva sumatoria para establecer la alternativa más adecuada.

## **2. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE SERIGRAFÍA EN LA EMPRESA Y LAS ALTERNATIVAS PRESENTES EN EL MERCADO**

### **2.1. Metodologías de trabajo para serigrafía textil en la industria**

Para poder hablar del proceso de serigrafía textil empleado en la empresa, inicialmente se deben conocer las diferentes metodologías que se utilizan para aplicar esta técnica a nivel industrial. Dado que la serigrafía es una técnica ampliamente utilizada, para esta se han desarrollado diferentes metodologías a partir de la aplicación y los parámetros necesarios para su ejecución. A partir de lo mencionado anteriormente, se exponen las metodologías empleadas actualmente, contextualizando las técnicas y equipos que intervienen en estos procesos.

#### **2.1.1. Serigrafía manual**

La serigrafía manual es la técnica más básica empleada en la industria, normalmente utilizada en empresas pequeñas que no poseen grandes producciones o que no cuentan con los recursos para añadir tecnología a este tipo de procesos. En un principio, este tipo de serigrafía solo debe disponer de una mesa de apoyo para las prendas y los materiales necesarios para la serigrafía; ya al momento de hacer la impresión se puede realizar la ubicación del marco ajustándolo visualmente o mediante soportes que faciliten la ubicación del mismo. El tipo de máquina más común en esta clase de serigrafía se muestra a continuación.

2.1.1.b. Máquinas de serigrafía tipo pulpo o carrusel. Este tipo de máquina se caracteriza por poseer marcos o áreas de impresión rotando respecto a un eje o punto central como se muestra en la siguiente figura.

## Figura 5.

### *Pulpo de serigrafía*



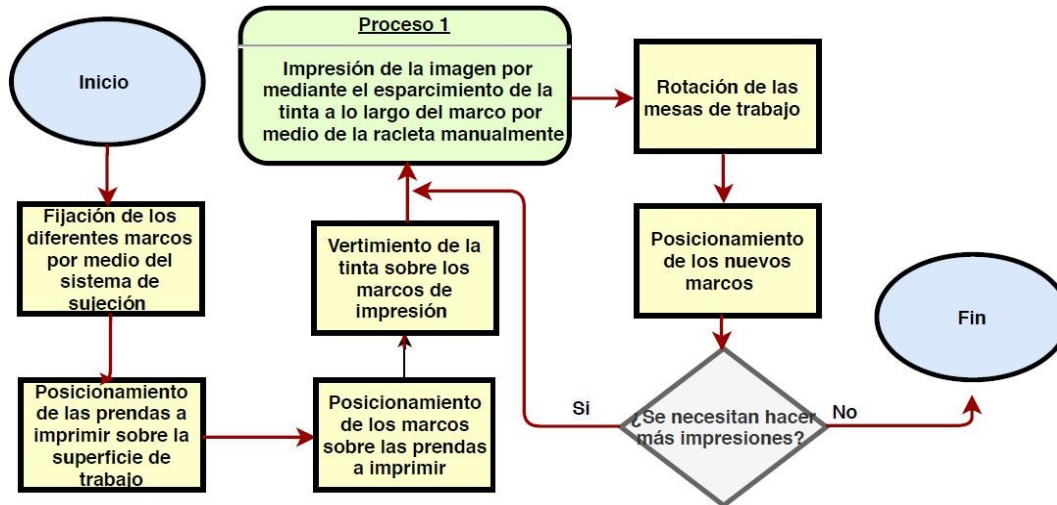
**Nota.** Representación gráfica de un carrusel o pulpo de serigrafía manual con 8 mesas Tomado de: <https://www.cosmos.com.mx/producto/pulpos-para-serigrafia-bwnx.html>.

[Acceso: ago.24,2020].

Inicialmente se da la apertura o el cierre del marco de impresión para posicionar o realizar el esparcimiento de la tinta a lo largo de su superficie, posteriormente se da el giro de las mesas o de los marcos de impresión para iniciar un nuevo proceso o retirar la prenda sobre la cual se imprimió. “La disposición de las áreas de impresión permite aumentar la velocidad con la que se obtiene una producción de un número determinado de prendas, puesto que accede a realizar varias impresiones de manera simultánea”. [8] En el diagrama presentado a continuación, se muestra de manera detallada el proceso de impresión serigráfica utilizando una máquina tipo carrusel o pulpo:

**Figura 6.**

*Diagrama de proceso para la serigrafía manual utilizando una máquina tipo carrusel.*



**Nota.** Diagrama de flujo explicando el proceso de serigrafía empleando una máquina de serigrafía tipo carrusel.

### 2.1.2. Serigrafía semiautomática

La serigrafía semiautomática es una alternativa de operación seleccionada por las empresas cuando estas deben suplir grandes producciones, esta metodología consiste en emplear equipos automatizados que permiten ejecutar el proceso de impresión de manera más veloz y precisa. Normalmente estos equipos tienen una capacidad limitada respecto a la cantidad de prendas que pueden imprimir al mismo tiempo, ya que generalmente solo pueden imprimir una prenda a la vez. Algunos ejemplos de los tipos de máquinas que se pueden encontrar en esta clase de serigrafía son:

2.1.2.a. Máquina de serigrafía semiautomática (PRY- 8012G). La máquina mostrada en la figura 11, cuenta con un sistema que se encarga de la velocidad y el movimiento de la racleta de impresión conformado por cuatro cilindros neumáticos que actúan de manera sincrónica, la frecuencia con la que se da el paso de la racleta está

determinada por un temporizador, el cual hace que la ejecución sea más estable y organizada. A manera general el funcionamiento de la máquina es manipulado por un microordenador que ajusta las diferentes variables del proceso a las características de la producción. [9] Como último aspecto a tener en cuenta es que, el vertimiento de la tinta de impresión sobre la superficie de trabajo se realiza manualmente.

### **Figura 7.**

*Máquina de serigrafía PRY-8012G*



**Nota.** Representación visual de una máquina de serigrafía semi automática. Tomado de: Shanghai Printyoung International Industry Co., Ltd. [En línea]. Disponible en: <http://puruiyanges.singoo.co/pry-6090g8012g-mquina-de-serigrafia-con-microcomputadora-15605033177896858.html>. [Acceso: ago.24,2020].

## Tabla 1.

### *Características generales PRY-8012G*

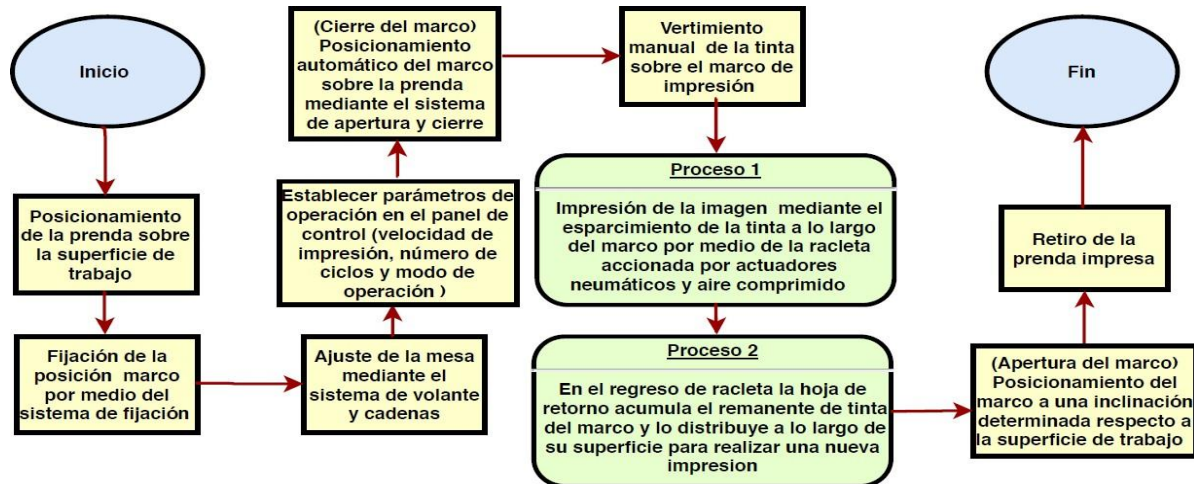
Max. Dimensión de impresión (mm)	800x1200
Max. Dimensión del marco (mm)	1250x1500
Min. Dimensión del marco (mm)	850x900
Max. velocidad de impresión (p/h)	1000
Potencia	3P 380v 3.7 KW
Peso neto (kg)	600
Dimensión total (mm)	1900X1400X1400

**Nota.** Ficha técnica con las características generales de la máquina. PRY-8012G. Tomado de: Shanghai Printyoung International Industry Co., Ltd. [En línea]. Disponible en: <http://puruiyanges.singoo.co/pry-6090g8012g-mquina-de-serigrafia-con-microcomputadora-15605033177896858.html> [Acceso: ago.24,2020].

Para comprender la ejecución de los procedimientos que realiza la máquina a continuación, se muestra el diagrama de proceso de impresión de la máquina de serigrafía PRY-8012G

**Figura 8.**

*Diagrama de proceso para la máquina de serigrafía semiautomática PRY-8012G.*



**Nota.** Explicación del paso a paso para el proceso de serigrafía textil con una máquina semiautomática PRY-8012G.

2.1.2.b. Máquina de serigrafía semiautomática (IMX-P1). Esta máquina se caracteriza por poseer una superficie de trabajo plegable que permite ubicar de manera adecuada la prenda o el área sobre la cual se va a llevar a cabo la impresión. El mecanismo de la mesa consiste en apoyos sobre rieles y rodamientos que facilitan el desplazamiento en una sola dirección.



## Figura 9.

### *Máquina de serigrafía IMX-P1*



**Nota.** Representación gráfica de la máquina de serigrafía IMX-P1. Tomado de: Máquinas de serigrafía Expertprint41. [En línea]. Disponible en:

<https://www.expertprint41.es/producto.php?id=49>. [Acceso: ago.24,2020].

La máquina IMX-P1 opera mediante un motor que le permite regular la velocidad de impresión, por medio de un sistema electrónico incorporado. A manera complementaria, este equipo permite regular los finales de recorrido de la racleta para tener una ejecución del proceso adecuado; con el propósito de llevar datos de la producción, esto le permite al operario llevar un conteo de impresiones realizadas. Para evitar la contaminación generada por agentes externos, la mesa de impresión cuenta con un sistema aspiración que elimina los remanentes de procesos anteriores. [10] Finalmente, el vertimiento de la tinta de impresión sobre la superficie de trabajo se realiza manualmente.

**Tabla 2.**

*Características generales IMX-P1*

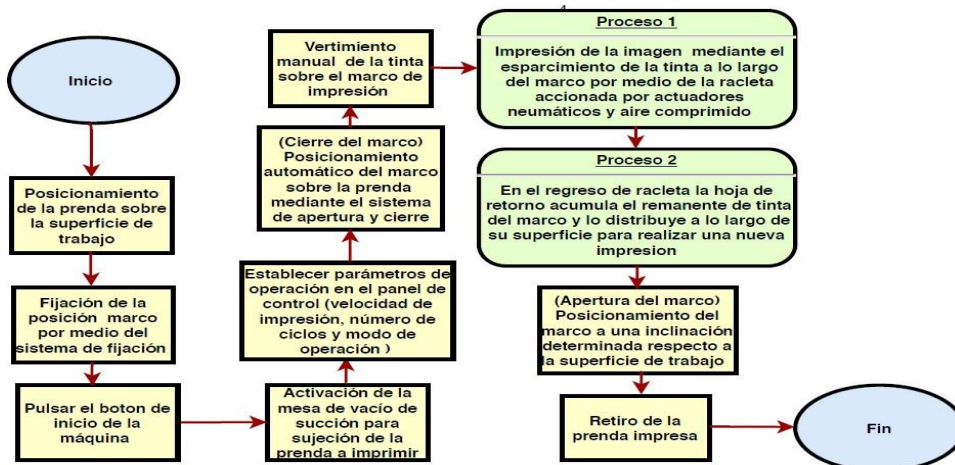
Max. Dimensión de impresión (mm)	600x800
Tamaño de la mesa	2HP
Max. Dimensión de impresión (mm)	550x350
Max. velocidad de impresión (p/h)	400
Potencia	220V 2,5 KW
Peso neto (kg)	550 kg
Dimensión total (mm)	1100X300X1260

**Nota.** Ficha técnica con las características generales de la máquina IMX-P1. Tomado de: Máquinas de serigrafía Expertprint41. [En línea]. Disponible en: <https://www.expertprint41.es/producto.php?id=49>. [Acceso: ago.24,2020].

El diagrama mostrado en la figura 10, permite entender de manera clara el funcionamiento de la máquina de serigrafía semiautomática IMX-P1:

**Figura 10.**

*Diagrama de proceso para la máquina IMX-P1*



**Nota.** Diagrama de flujo explicando el proceso de serigrafía mediante el uso de una máquina de serigrafía IMX-P1.

### **2.1.3. Serigrafía automática**

La serigrafía automática presenta máquinas donde el operario solo interviene al momento de establecer los parámetros del proceso y de posicionar de las piezas a imprimir. Los sistemas y subsistemas que poseen estas máquinas pueden entregar grandes producciones en menor tiempo en comparación a las anteriores metodologías. Sin embargo, la gran mayoría de estas máquinas tienen altos costos y están enfocados principalmente a la etapa de impresión, por lo tanto, se debe adquirir una segunda máquina para poder realizar el secado y fijación de estas prendas. Algunos ejemplos de los tipos de máquinas que se pueden encontrar en esta clase de serigrafía son:

2.1.3.a. Brazo automático de serigrafía (IMX-1). La máquina de la figura 11, cuenta de un sistema de regulación de recorrido y velocidad de impresión, el cual funciona a partir de diferentes sensores y un sistema de regulación de presión controlado por medio de un programador electrónico. Este mismo dispositivo le permite funcionar de forma manual o automática y le brinda la posibilidad de programar el modo de inicio de la máquina. [11] El modo de aplicación de tinta se realiza de manera manual por el operario, depositando la cantidad que este vea necesaria sobre el marco donde se encuentra el diseño.

## Figura 11.

*Brazo automático de serigrafía IMX-1*



**Nota.** Representación gráfica de una máquina de serigrafía automática IMX-1. Tomado de: Máquinas Expertprint41. [En línea]. Disponible en:

<https://www.expertprint41.es/producto.php?id=2>

1. [Acceso: ago.24,2020].

## Tabla 3.

*Características generales IMX-1*

Max. Dimensión de impresión (mm)	400x500
Consumo de aire	9L-6Bar
Max. velocidad de impresión (p/h)	600
Potencia	230V 0,05KW
Peso neto (kg)	75
Dimensión total (mm)	1100X300X1260

**Nota.** Ficha técnica con las características generales de la máquina IMX-1. Tomado de Máquinas Expertprint41. [En línea]. Disponible en:

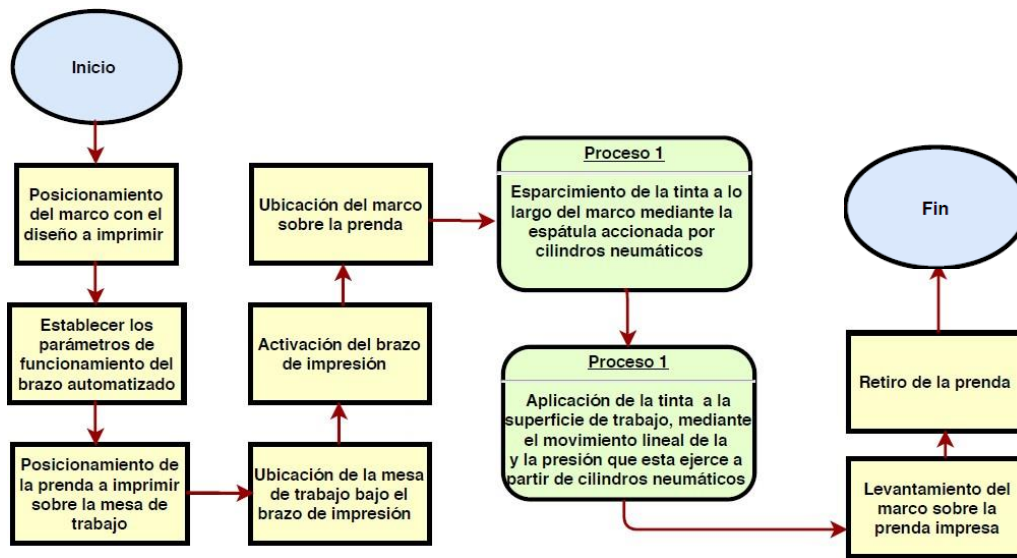
<https://www.expertprint41.es/producto.php?id=21>.

[Acceso: ago.24,2020]

A continuación, se ilustra el modo funcional de la máquina a partir del diagrama de flujo, de la siguiente figura:

**Figura 12.**

*Diagrama de proceso para el brazo de serigrafía automático IMX-1.*



**Nota.** Diagrama de flujo para el proceso de serigrafía con una máquina IMX-1.

2.1.3.b. Máquina de serigrafía automática (GW-200TRS). Como se aprecia en la figura 13, este equipo trabaja bajo el principio de funcionamiento de las máquinas tipo pulpo o carrusel, que permite un aumento en la capacidad de la máquina y resulta conveniente para realizar labores de pre-secado simultáneamente.

**Figura 13.**

*Máquina de serigrafía GW-200TRS*



**Nota.** Representación gráfica de una máquina de serigrafía automática GW-200TRS. Tomado de Dongguan Hoystar Printing Machinery Co., Ltd. [En línea]. Disponible en: <http://www.hongyuan-pad.com/products/rapid-1-color-t-shirt-tag-screen-printing-machine.html>. [Acceso: ago.24,2020]

La máquina de la figura mostrada anteriormente, cuenta con sistema de control conformado principalmente por un controlador lógico programable MITSUBISHI PLC operado y configurado por medio de una pantalla táctil. La mesa de trabajo es la que se encarga de hacer la rotación respecto al eje central de la máquina, por medio de un motor paso a paso manipulado por un control eléctrico contactor CHINT AC. Respecto a la etapa de pre-secado, esta está compuesta por lámparas infrarrojas de alta calidad cuyo sistema puede ser ajustado y cumplir con las temperaturas que le exige el proceso. [12]

**Tabla 4.**

*Características generales GW-200TRS*

Max. Dimensión de impresión (mm)	130x100
Dimensión del marco (mm)	360x250
Max. Dimensión de impresión (mm)	550x350
Max. velocidad de impresión (p/h)	2000
Potencia	220V 4,5 KW
Peso neto (kg)	200
Dimensión total (mm)	1350X1300X1550

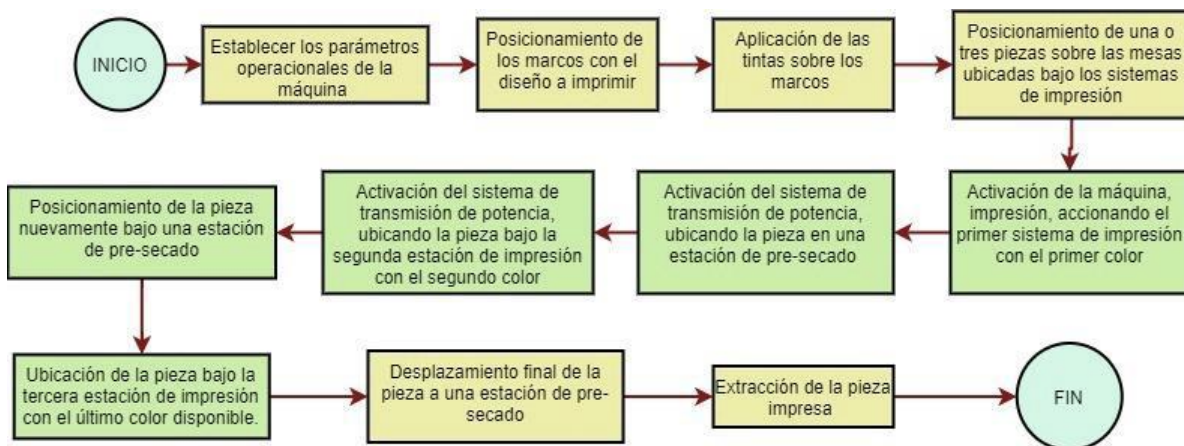
**Nota.** Ficha técnica con las generalidades de la máquina GW-200TRS. Tomado de Dongguan Hoystar Printing Machinery Co., Ltd. [En línea].

Disponible en: <http://www.hongyuan-pad.com/products/rapid-1-color-t-shirt-tag-screen-printing-machine.html>. [Acceso: ago.24,2020]

A continuación, se ilustra el modo funcional de la máquina a partir de la siguiente figura

**Figura 14.**

*Diagrama de proceso para la máquina en función de tintas de diferente color.*



**Nota.** Diagrama de flujo con la explicación del paso a paso para el proceso de serigrafía textil con la máquina GW-200TRS.

**Tabla 5.**

*Comparación modo funcional de las máquinas de serigrafía textil según su metodología.*

	Modo Funcional		
	Serigrafía manual	Serigrafía semiautomática	Serigrafía automática
<b>Posicionamiento del marco</b>	Mecanismo de sujeción con apriete manual y bisagras para la rotación el mismo	Mecanismo de sujeción con apriete manual y bisagras para la rotación el mismo	Mecanismo de sujeción con apriete manual y bisagras para la rotación el mismo
<b>Accionamiento</b>	Manual por ejerción de fuerza humana	En la mayoría de los casos estos son accionados por pedal	Botón de inicio ya programado
<b>Aplicación de tinta</b>	Manual	Manual	Manual
<b>Capacidad operacional</b>	40 prendas / h	de 100 p/h a 1000 p/h	de 200 p/h a 2000 p/h
<b>Tranferencia de tinta a la superficie de trabajo</b>	Presión manual ejercida por operario	Sistemas neumáticos o mecánicos que accionan el movimiento de la racleta	Sistemas neumáticos que accionan el movimiento de la racleta
<b>Establecimiento de variables del proceso</b>	N/A	Manual o mediante panel de control	Mediante panel de control digital o analógico

**Nota.** Tabla comparativa de las máquinas presentes en el mercado.

En la tabla mostrada anteriormente, se puede evidenciar la influencia que ha tenido el crecimiento económico en este tipo de industria, donde las empresas han tenido que buscar nuevas alternativas para poder soportar y abarcar mayores demandas. Teniendo en cuenta que la empresa maneja una demanda de hasta 30 prendas por hora en este proceso, se debe realizar un diseño de una máquina de tipo semi-automática que se adapte a las necesidades del mismo y permita mejorar la capacidad de producción de la empresa para abarcar pedidos más grandes.

## **2.2. Máquinas para el secado de serigrafía**

Con el propósito de culminar de manera adecuada el proceso de serigrafía, se emplean equipos de secado y fijación que complementan a aquellos que se encargan de la parte de la impresión. Teniendo en cuenta que las máquinas de impresión no cuentan con estos equipos incorporados, las empresas se ven en la necesidad de llevar a cabo este proceso por medio máquinas totalmente ajenas al proceso, las cuales aumentan los costos en la organización por su adquisición.



### 2.2.1. Túneles de secado con ventilación forzada

Como se puede apreciar en la figura 15, “esta máquina cuenta con una banda transportadora de fibra de vidrio que se encarga de que las impresiones entren en contacto con el entorno convectivo de la cámara a una temperatura homogénea, la cual, puede ser programable y variar de 0°C a 200°C a una velocidad regulable. Cuenta con resistencias térmicas infrarrojas que se encargan de elevar la temperatura dentro de la cámara y del aire que fluye a través de ella”. [13]

#### Figura 15.

*Máquina de túnel de secado MINISTAR-2.*



**Nota.** Representación gráfica de la máquina túnel de secado para serigrafía MINISTAR-2. Tomado de: Brildor distribuidor. [Enl línea]. Disponible en: <https://www.brildor.com/es/serigrafia/maquinaria-para-serigrafia-textil/secado-para-serigrafia/tunel-de-secado-ministar-2-para-serigrafia.html>

[Acceso: ago.24,2020]

**Tabla 6.**

*Características generales MINISTAR-2*

Tensión V	400
Potencia Kw	9
dimensiones (mm)	2500x1050x1250

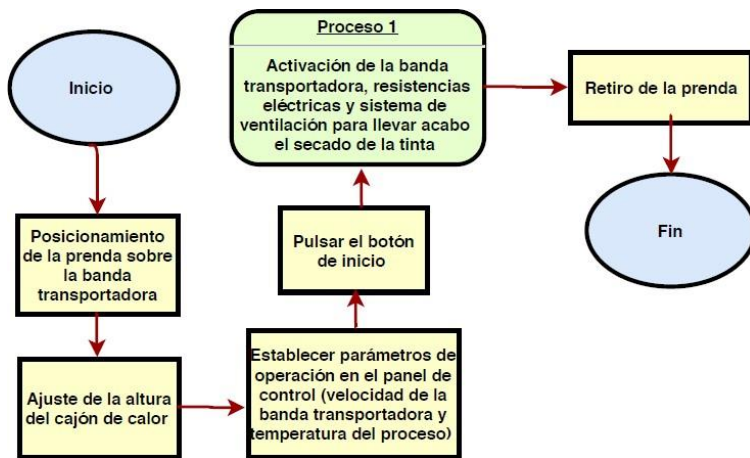
**Nota.** Ficha técnica con las generalidades de la máquina MINISTAR-2. Tomado de: Brildor distribuidor. [En línea]. Disponible en: <https://www.brildor.com/es/serigrafia/maquinaria-para-serigrafia-textil/secado-para-serigrafia/tunel-de-secado-ministar-2-para-serigrafia.html>.

[Acceso: ago.24,2020]

Para comprender la ejecución de los procedimientos que realiza la máquina a se establece el modo funcional de la misma representado en la siguiente figura.

**Figura 16.**

*Diagrama de proceso para la máquina MINISTAR-2.*



**Nota.** Diagrama de flujo para el proceso de fijación y secado con la máquina MINISTAR2.

### **2.2.2. Termo fijadora espiral neumática de traslado de doble ubicación**

Opera como una prensa automática que funciona por medio de aire comprimido, con una cama de prensado doble para una mayor eficiencia de producción, posee un rango de temperaturas que va de 0 a 400°C, cuenta con un controlador digital de tiempo y temperatura y permite trabajar con objetos de hasta 50 mm de espesor. [14]

#### **Figura 17.**

*Termo fijadora espiral neumática de traslado de doble ubicación.*



**Nota.** Representación gráfica de la máquina Termo fijadora espiral neumática. Tomado de Tienda del diseño. [En línea]. Disponible en: <https://www.tiendadeldiseno.com/product/termofijadora-neumatica-de-traslado-de-doble-ubicacion/>. [Acceso: ago.24,2020]

Como valor agregado respecto a otros modelos, la máquina de la figura anterior cuenta con un sistema de giro que le permite operar en dos sentidos de manera alterna.

**Tabla 7.**

*Características generales Termo fijadora espiral neumática*

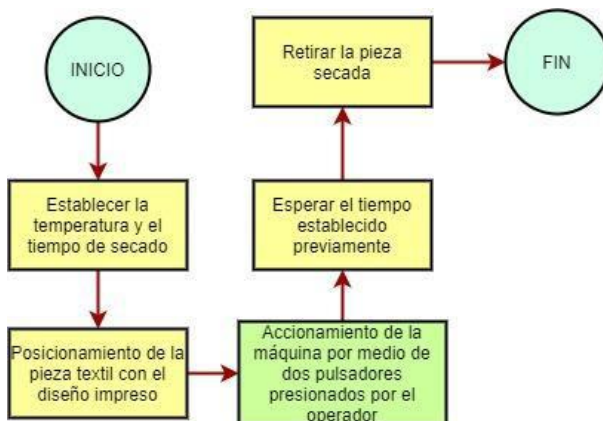
Tensión V	120
Potencia Kw	5,2
dimensiones de trabajo (in)	15x15
Peso neto (kg)	200
Dimensión total (cm)	110X109X90

**Nota.** Ficha técnica con las características generales de la máquina Termo fijadora espiral neumática. Tomado de Tienda del diseño. [En línea]. Disponible en: <https://www.tiendadeldiseno.com/product/termofijadora-neumatica-de-traslado-de-doble-ubicacion/> [Acceso: ago.24,2020].

Al igual que la máquina anterior, esta presenta un diagrama de proceso para el conocimiento del modo funcional, representado en la siguiente figura.

**Figura 18.**

*Diagrama de proceso para la máquina termo fijadora.*



**Nota.** Diagrama de flujo explicación del proceso de secado mediante la termo fijadora neumática.

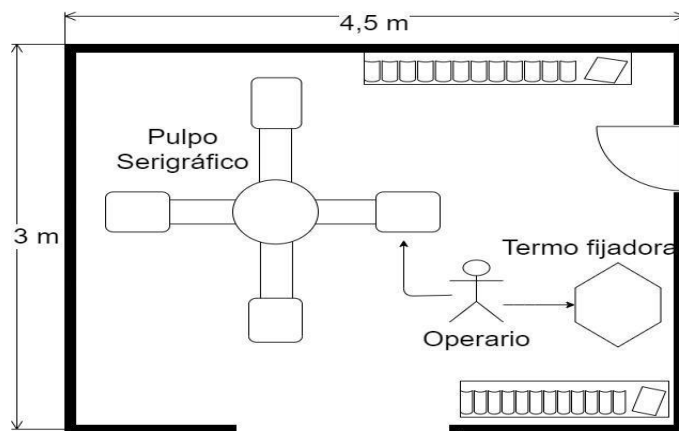
Al igual que en la etapa de impresión, las máquinas que se utilizan en este proceso varían dependiendo del tamaño de la producción y por ende de la velocidad con la que se desea llevar a cabo el proceso, cuando se tiene una producción grande se emplean túneles de secado debido a que pueden ejercer la labor de manera simultánea sobre varias prendas a la vez, cuando las producciones no son muy elevadas y la presión es una variable importante en el proceso, se emplean planchas termo fijadoras.

#### 2.4. Serigrafía textil empleado en la empresa ágil línea deportiva

En el desarrollo de este ítem se realizará la correspondiente contextualización de la situación actual de la empresa en relación a su etapa productiva de serigrafía textil. En este, se hará la caracterización de los equipos y espacios disponibles para la ejecución del proceso. Como se muestra en la siguiente figura, el espacio disponible para el desarrollo de las actividades asociadas a la serigrafía es de 13,5 m<sup>2</sup>, esta área es empleada para albergar las maquinas pertinentes y las materias primas necesarias para el proceso.

**Figura 19.**

*Diagrama de planta para el espacio de serigrafía textil.*



**Nota.** Representación gráfica del espacio disponible para el proceso de serigrafía en la empresa Ágil Línea Deportiva.

El pulpo de serigrafía manual de referencia 6x4, es aquel que se encarga de realizar el proceso de impresión serigráfica en la empresa, cuenta con 6 áreas de trabajo y 4 brazos de impresión como se muestra en la figura 20. El tamaño de las mesas de trabajo es de 0,4 x 0,49m. Tiene la capacidad de sujetar marcos de 0,5x0,6m. Cuenta con sistema de doble rotación, uno para las mesas de soporte y otro para los brazos que sujetan los marcos. Las dimensiones ocupadas por la máquina son de 2,63X 2,63X1,50 m.

### **Figura 20.**

*Pulpo manual 6 x 4 utilizado en la empresa.*



**Nota.** Representación gráfica del carrusel de serigrafía manual presente en la empresa.

La termo fijadora tiene la función de fijar la tinta a la prenda y darle el brillo deseado a la impresión mediante diferentes subsistemas que permiten su funcionamiento. En primera instancia cuenta con un subsistema neumático con dos pulsadores, los cuales, al ser presionados simultáneamente, permiten que una válvula de accionamiento permita el flujo de aire comprimido hacía un actuador cilíndrico de simple efecto. Por otro lado, posee un subsistema eléctrico de resistencias térmicas regido por un sistema de control, que permite establecer el tiempo y la temperatura para la aplicación que se requiera, en un rango de 0°C - 400°C. Esta termo fijadora tiene una bandeja de 0,39 x 0,5 m para el posicionamiento de prendas y las

dimensiones totales las dimensiones que ocupa en el área de trabajo son: 0,57 x 0,5 x 1,47 m.

### **Figura 21.**

*Máquina termo fijadora neumática utilizada en la empresa.*

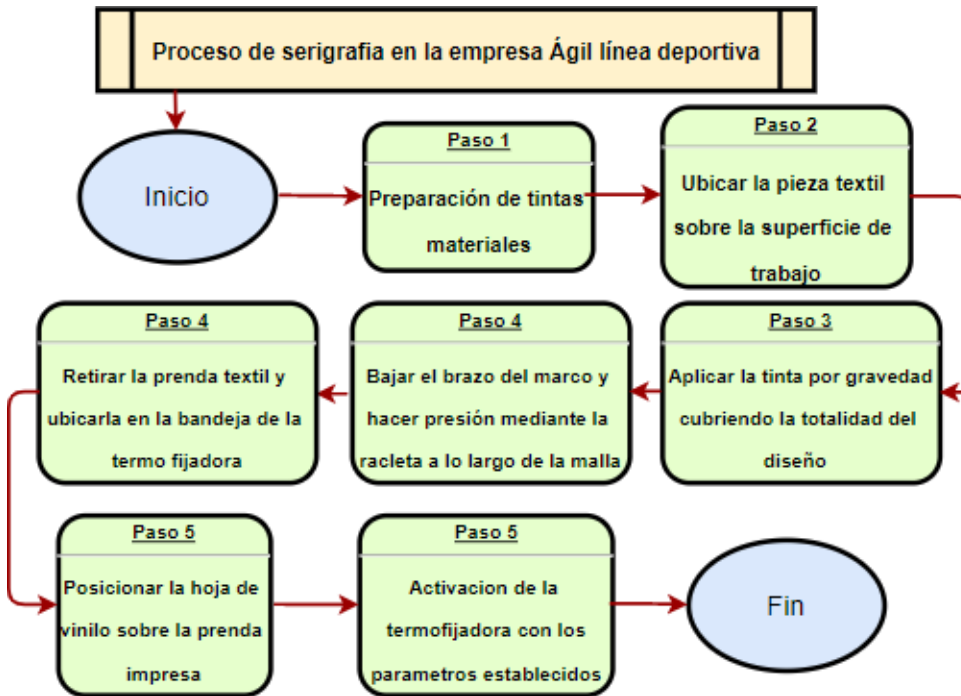


**Nota.** Imagen de la máquina termo fijadora empleada actualmente en la empresa.

A continuación, se hizo el correspondiente seguimiento a la metodología empleada por la empresa en el proceso de serigrafía, para este caso se hará énfasis en las dos últimas etapas del mismo (la impresión y el secado). Al momento de realizar la impresión, el operario debe disponer del marco con el diseño revelado, la tinta que va a manejar, productos químicos para la limpieza del área de trabajo y la racleta con la cual hará la transferencia de la tinta a la superficie a trabajar, posteriormente se realizarán los procedimientos expuestos en la siguiente figura.

**Figura 22.**

*Diagrama del proceso de serigrafía textil empleado en la empresa.*



**Nota.** Diagrama de flujo con la explicación del paso a paso para el proceso de serigrafía manejado en la empresa.

La serigrafía manual tiene una gran desventaja frente a las otras metodologías de trabajo, dado que su ejecución está sujeta a la experiencia y manejo que tenga el operario al momento de aplicar la presión y de manipular los elementos de trabajo. Por ejemplo, en la empresa se pudo evidenciar que en los momentos donde se presentan más errores son al hacer presión sobre la malla con la raqueta; una mala aplicación de la fuerza o tener insuficiente tinta sobre esta puede verse reflejado en una impresión pálida o con imperfecciones.



### 3. DISEÑO CONCEPTUAL Y MODO FUNCIONAL DE LA MÁQUINA

#### 3.1. Identificación de las variables de entrada y salida para el diseño

Para llevar a cabo el diseño es necesario conocer las variables o los factores pertinentes antes, durante y después de la ejecución del proceso de serigrafía. Dichas variables se clasifican en funcionales y operacionales y deben ser tenidas en cuenta para la concepción de la idea de una máquina que permita satisfacer la necesidad planteada.

Las variables funcionales mostradas en la tabla 8, son aquellas que hacen referencia a los parámetros establecidos por la empresa, teniendo que condicionar el diseño a estas variables, los cuales deben ser tenidos en cuenta para realizarlo de manera óptima.

**Tabla 8.**

*Variables funcionales del proceso.*

<b>Variables funcionales</b>	<b>Valor</b>
Voltaje de la fuente (V)	120
Área disponible para el proceso (m <sup>2</sup> )	10
Altura máxima permitida (m)	2,5
Presión suministrada por el compresor (psi)	80-120
Flujo de aire comprimido suministrado por el compresor (cfm)	21,2
Tipo de red eléctrica	Trifásico
Área del marco (cmxcm)	38x50
Capacidad de producción (p/h)	60-100

**Nota.** Tabla con las variables funcionales disponibles para la empresa.

Las variables operacionales del proceso mostradas en la tabla 9, son establecidas por la empresa para que a partir de estas se obtenga un producto de alta calidad.

**Tabla 9.**

*Variables operacionales del proceso.*

<b>Variables operacionales</b>	<b>Valor</b>
Temperatura de secado (°C)	140
Carrera de la racleta (cm)	43
Fuerza de impresión (kgf)	2
Tamaño de la impresión (cm)	32 x 45
Ángulo de impresión de la racleta (°)	45
Tiempo de secado (s)	15
Área de secado (cm)	42 x 51
Presión de secado (psi)	80

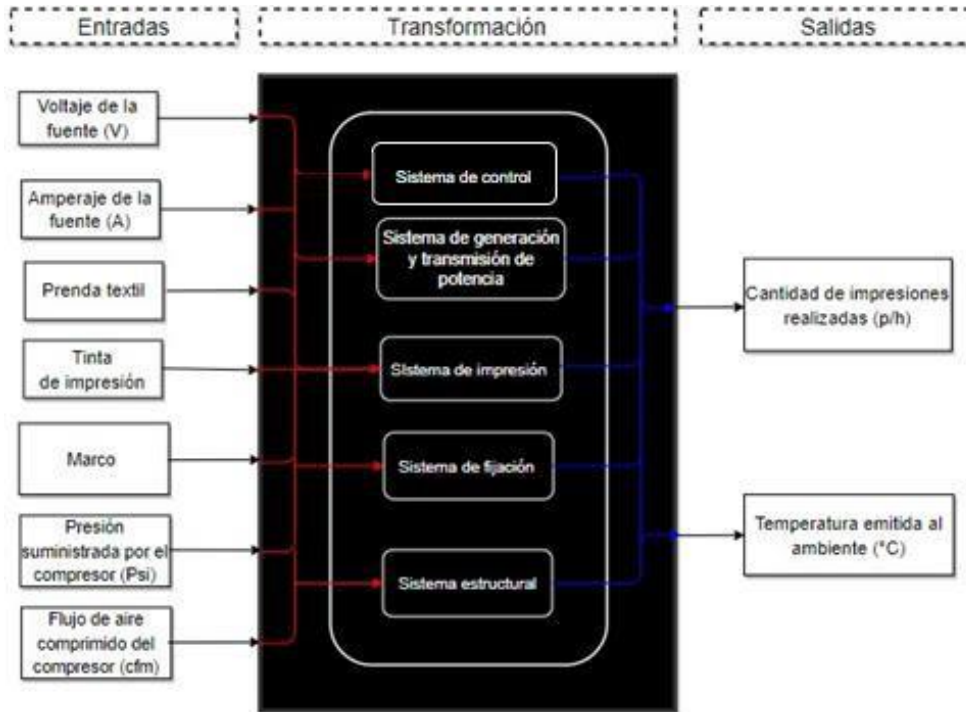
**Nota.** Tabla con variables operacionales de acuerdo a la información obtenida en la empresa.

A manera general, en el proceso de serigrafía textil se deben tener en cuenta ciertas variables para lograr que el proceso sea lo más efectivo posible y permita obtener un producto de calidad. Sin embargo, esto no quiere decir que estas sean las variables a controlar a lo largo del proceso, ya que las mismas se establecerán durante el desarrollo del sistema de control de la máquina.

Teniendo en cuenta los elementos y las variables funcionales necesarias para obtener el producto final establecido, se realiza el diagrama de caja negra de la figura 23, que permite evidenciar las entradas y salidas del proceso de manera general, para posteriormente establecer los sistemas necesarios para llevar a cabo la transformación de las energías asociadas a las variables a lo largo del proceso. Para este caso, las variables de entrada y salida relacionadas con los equipos que permiten su transformación, conforman 3 grupos que se ocupan de realizar las labores de impresión, fijación y el movimiento de las prendas a lo largo de las etapas del proceso, estos tres grupos, apoyados en otros complementarios, representan el conjunto de sistemas que harán parte de la composición de la máquina de serigrafía a diseñar

**Figura 23.**

*Diagrama de caja negra para el proceso de serigrafía textil.*



**Nota.** Diagrama de caja negra con la transformación de variables mediante los sistemas que componen la máquina.

### **3.2. Identificación de sistemas necesarios para cumplir los requerimientos del proceso**

Teniendo en cuenta las variables de entrada y salida del proceso, su comportamiento y los equipos que intervienen en la transformación de las mismas, se establecen los siguientes sistemas que se encargaran de ejecutar el proceso de manera adecuada.

#### **3.2.1. Sistema de generación y transmisión de potencia**

Como se muestra en la figura 24, el sistema de trasmisión y generación de potencia inicialmente se encarga de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de un motor eléctrico, una vez obtenida, esta pasa a través de un sistema de

transmisión que se encarga de llevar la potencia y el movimiento necesario hacia las áreas de trabajo.

### Figura 24.

*Diagrama de funcionamiento del sistema de generación de potencia*



**Nota.** Diagrama con la representación del paso a paso para el funcionamiento del sistema de generación y transmisión de potencia.

### 3.2.2. Sistema de impresión

Como se evidencia en la figura 25, la energía eléctrica se transforma en energía mecánica y permite el funcionamiento del compresor, que se encarga de comprimir aire para emplearlo como medio de transporte de energía. Mediante una red neumática, válvulas y actuadores, se logra dar direccionamiento y utilidad a la energía contenida en el gas para accionar y dar movimiento a la racleta de impresión. La dosificación de la tinta de impresión será manejada a través de una válvula accionada neumáticamente que permitirá o impedirá el paso de la tinta hacia la superficie de trabajo.

### Figura 25.

*Diagrama de funcionamiento del sistema de impresión.*



**Nota.** Diagrama con el procedimiento para el funcionamiento del sistema de impresión.

### 3.2.3. Sistema de fijación y secado

La figura 26 muestra cómo el sistema de fijación une los componentes de una red neumática con actuadores eléctricos para ejercer el proceso de manera adecuada, la energía eléctrica es empleada para dos funciones. La energía eléctrica se emplea para producir aire comprimido que será utilizado para el movimiento de la plancha termo fijadora por medio de actuadores y válvulas de direccionamiento. De manera simultánea, la energía eléctrica proveniente de la fuente, es transformada en energía en forma de calor a través de resistencias eléctricas calentadoras que se encarga de alcanzar la temperatura necesaria para llevar a cabo el proceso.

**Figura 26.**

*Diagrama de funcionamiento del sistema de fijación y secado.*



**Nota.** Diagrama de flujo con el paso a paso para el funcionamiento del sistema de fijación y secado.

### 3.2.4. Sistema de control

El sistema de control es el encargado de medir, controlar variables específicas que garanticen el correcto funcionamiento de la máquina, para este caso, de manera independiente se controlan el sistema de impresión, de secado y el de generación y transmisión de potencia, a partir de la posición de los actuadores neumáticos que intervienen en el proceso y de las áreas de impresión.

### **3.2.5. Sistema estructural**

Se conoce como sistema estructural al conjunto de elementos sobre las cuales se apoyan los equipos que conforman y dan funcionamiento a la máquina de serigrafía textil. Así mismo, se encarga de proteger los componentes indispensables para el funcionamiento.

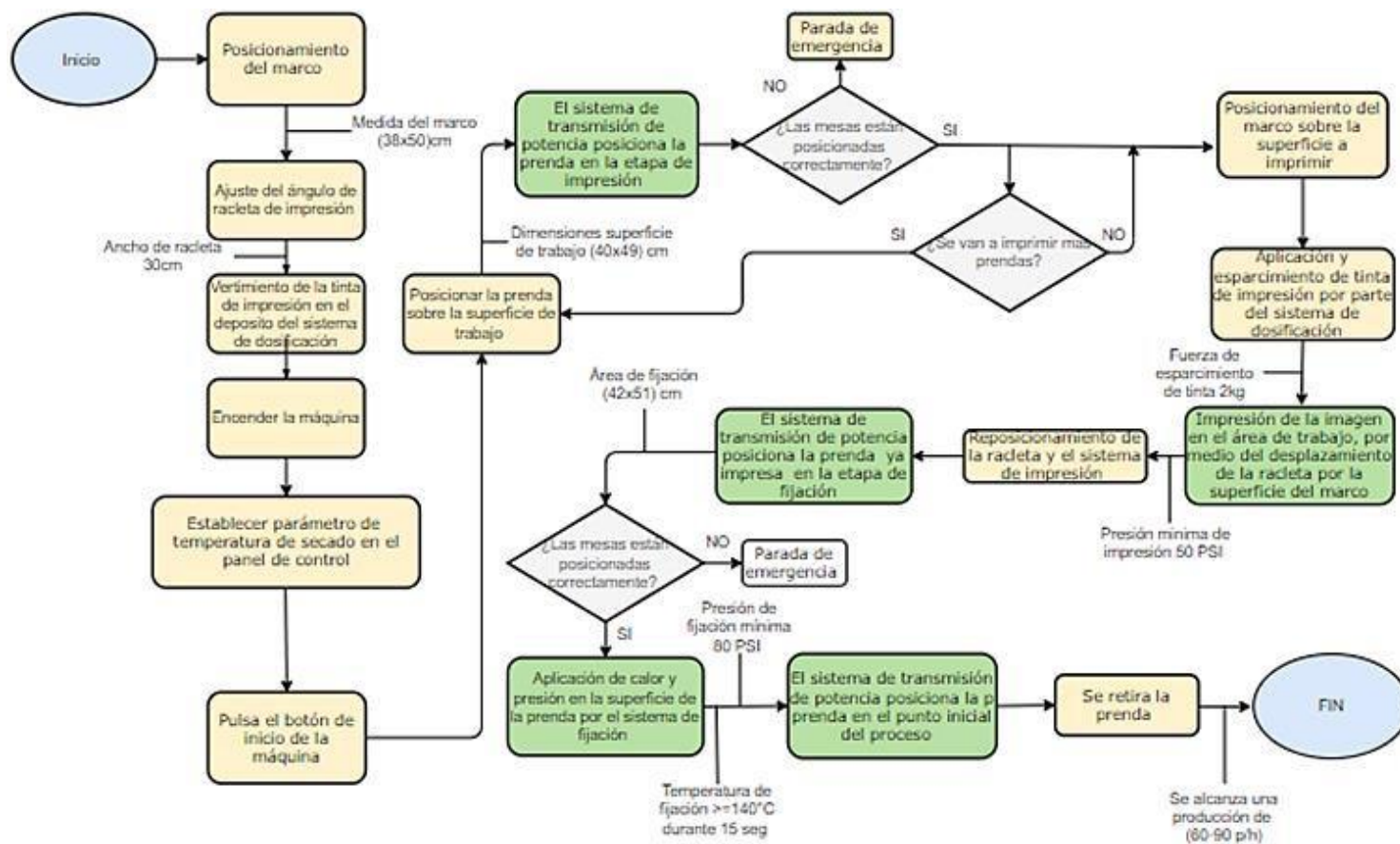
### **3.3. Definición del modo funcional de la máquina**

Teniendo en cuenta las variables funcionales y operacionales referenciadas en las tablas 8 y 9, los sistemas establecidos anteriormente y las características del proceso de serigrafía empleado en la empresa Ágil Línea Deportiva, se elaboró el siguiente diagrama de flujo que representa el modo funcional de la máquina de serigrafía textil automatizada.

El funcionamiento de la máquina representado en la figura 27, a pesar de ser del tipo semiautomático y de estar en la capacidad de realizar operaciones de manera simultánea, se adapta completamente a los requerimientos de la empresa y las características del proceso que allí se emplean, esto debido a que independientemente del diseño a realizar, estas particularidades se mantienen, mientras lo que cambia es la forma de ejecutar el proceso.

**Figura 27.**

*Diagrama del flujo del funcionamiento de la máquina automatizada para serigrafía textil.*



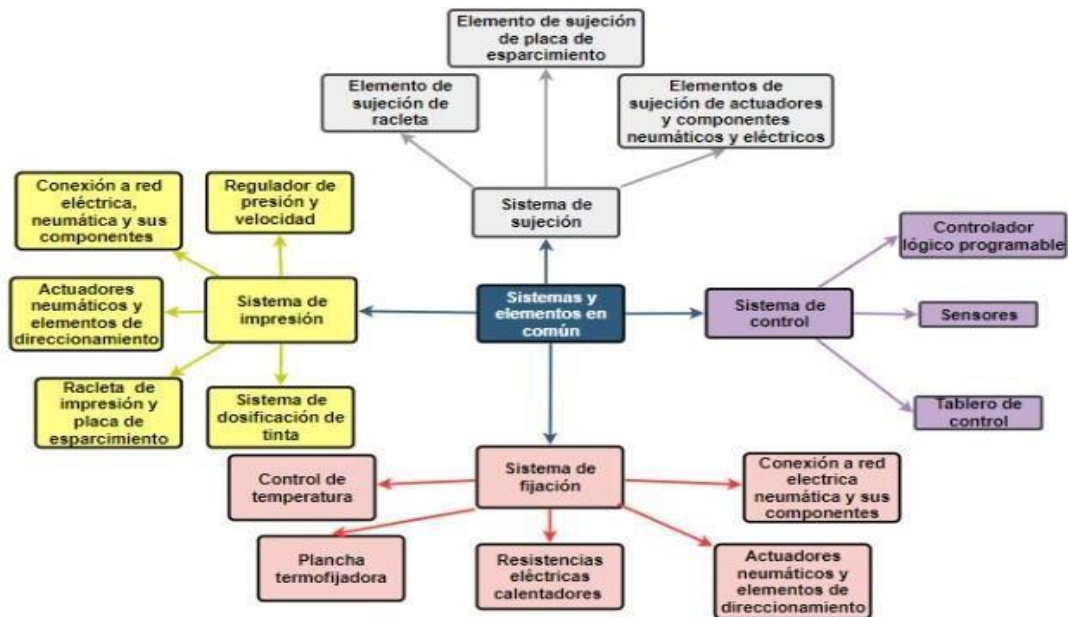
**Nota.** Explicación detallada del modo funcional de la máquina a diseñar

### 3.4. Planteamiento de las tres alternativas de solución

Con el propósito de estudiar la alternativa más adecuada, se plantean tres posibles soluciones a partir del modo funcional establecido anteriormente, partiendo del estudio de las máquinas presentes en el mercado y acomodándose a las necesidades y parámetros requeridos por la empresa, donde se tiene en cuenta el espacio disponible, la viabilidad financiera y la eficiencia con la que esta ejecuta el proceso. Antes de establecer cada una de las alternativas, es de gran importancia resaltar los sistemas en común que estas tienen.

**Figura 28.**

*Sistemas en común entre las alternativas.*



**Nota.** Esquema con los sistemas en común para las alternativas a plantear.

#### 3.4.1. Primera alternativa

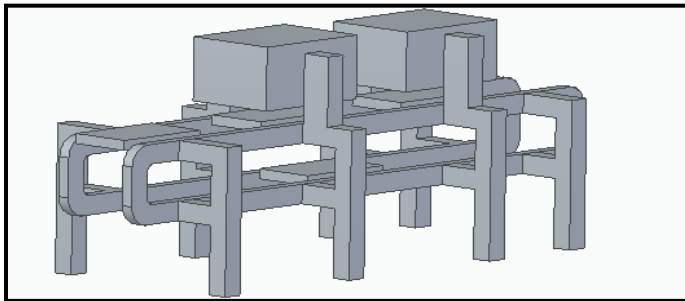
En la alternativa de la figura mostrada a continuación, se plantea un modelo de máquina en línea donde de cuatro estaciones. La primera estación corresponde al área donde el operario debe ubicar la prenda de trabajo. Luego de activar la máquina, un sistema



de transmisión de distribuye el movimiento hacia las áreas de trabajo, haciendo que estas se posicionen para las diferentes etapas del proceso. Mientras la primera prenda está en la estación de impresión, una mesa vacía llega al área de posicionamiento, donde el operario ubicará la siguiente prenda. Cuando la etapa de impresión haya finalizado, esta pasará a la estación de secado y fijación, una tercera mesa vacía se posicionará en la primera estación y de esta manera el proceso tendrá un flujo eficiente para la impresión de numerosas prendas en un corto tiempo.

### **Figura 29.**

*Boceto, primera alternativa*

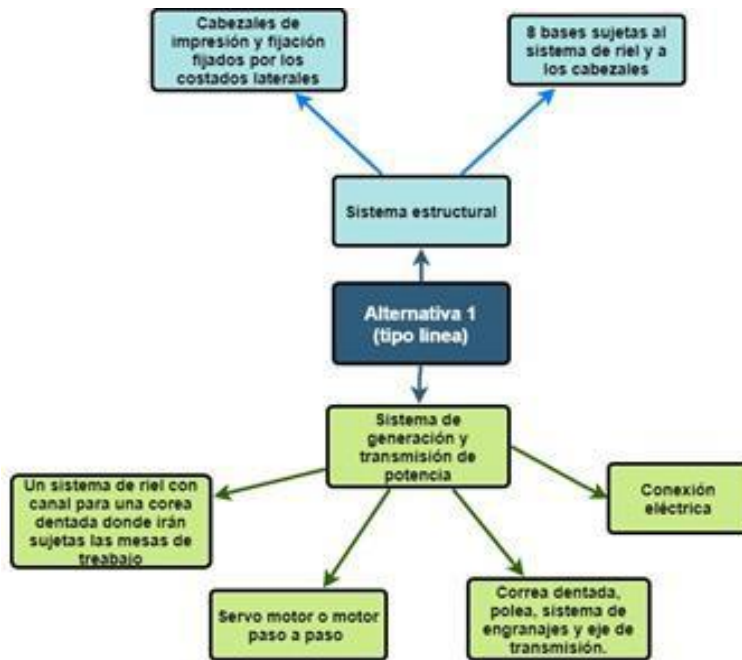


**Nota.** Configuración posible de la primera alternativa planteada.

Por último, esta alternativa difiere de las demás en los elementos y la configuración que componen los sistemas de generación y transmisión de potencia, además del sistema estructural, donde la siguiente figura especifica los elementos que estos contienen:

**Figura 30.**

*Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.*



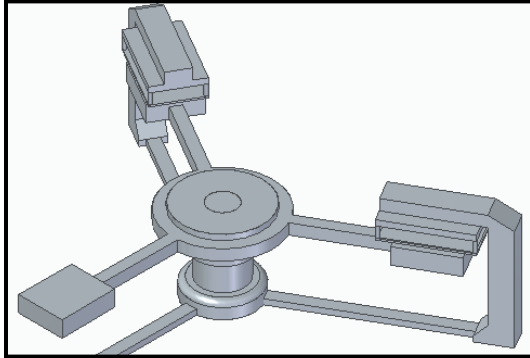
**Nota.** Esquema con los elementos que comprenderían el sistema estructural de la primera alternativa.

### **3.4.2. Segunda alternativa**

El funcionamiento inicialmente consiste en ubicar la prenda sobre la mesa que se encuentra libre, una vez se acciona la máquina, el mecanismo de transmisión ubica la mesa en la parte inferior del sistema de impresión, de manera simultánea, una nueva mesa se dispone para el posicionamiento de la siguiente prenda. Al terminar la etapa de impresión, el sistema de transmisión de potencia ubicará la prenda ya impresa bajo el sistema de fijación y secado, mientras la última mesa libre se ubica en la zona de posicionamiento de prendas y la segunda estará bajo el sistema impresión.

**Figura 31.**

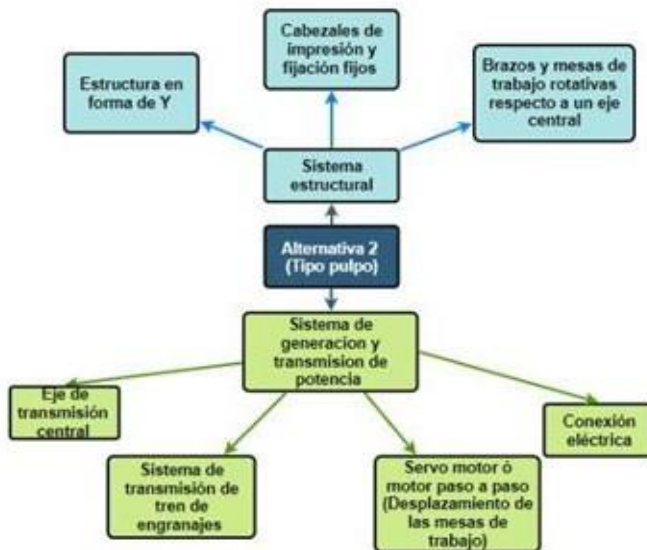
*Boceto, segunda alternativa.*



**Nota.** Configuración posible de la segunda alternativa planteada.

**Figura 32.**

*Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.*



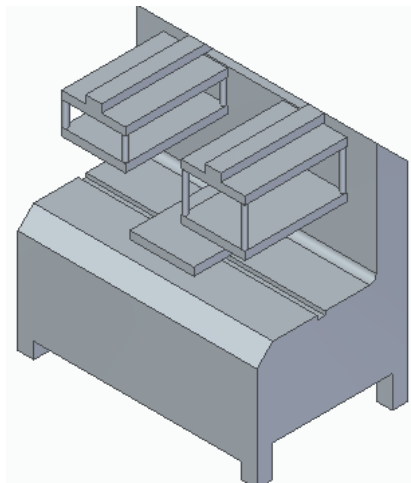
**Nota.** Esquema con los elementos que comprenderían el sistema estructural de la segunda alternativa.

### 3.4.3 Tercera alternativa

La siguiente imagen hace referencia a una máquina que cuenta con una sola mesa de impresión que linealiza el proceso, la mesa cuenta con un anclaje a una transmisión por correa que le permite desplazarse y ubicarse en cada una de las etapas del proceso; este sistema de transmisión es manipulado por medio de un sistema de control que manipula el movimiento de la banda.

**Figura 33.**

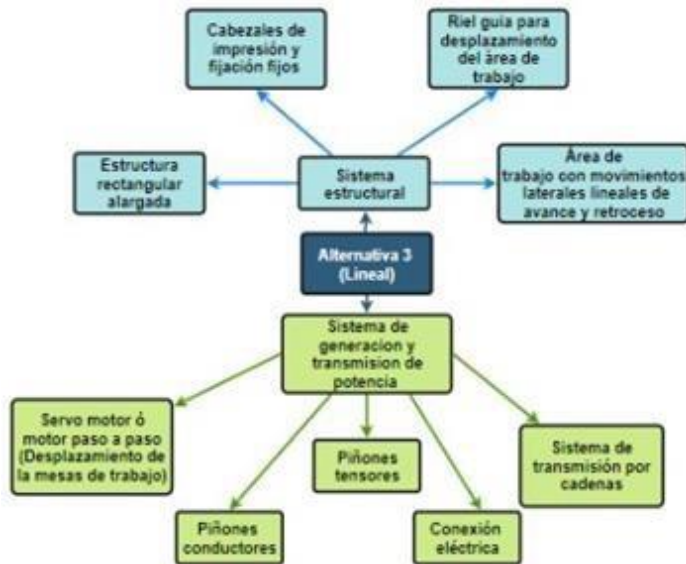
*Boceto, tercera alternativa.*



**Nota.** Configuración posible de la tercera alternativa planteada.

**Figura 34.**

*Elementos que componen el sistema estructural, transmisión y generación de potencia.*



**Nota.** Esquema con los elementos que comprenderían el sistema estructural de la tercera alternativa.

### 3.5. Selección de alternativa

Para la selección de la alternativa, se empleará el método de ponderación lineal Scoring, donde se planteará inicialmente la problemática que se desea solventar, luego de ello se identificarán las alternativas de solución para finalmente según los criterios establecidos se pueda obtener la más adecuada.

Objetivo principal: Identificar cuál es la configuración más adecuada para la máquina automatizada de serigrafía textil.

Identificación de alternativas: Tal como se pudo evidenciar en el apartado 3.4, las alternativas son:

- Alternativa número 1: Configuración en línea.
- Alternativa número 2: Configuración en carrusel.
- Alternativa número 3: Configuración de desplazamiento lateral.

Planteamiento de criterios: Para las alternativas anteriormente mencionadas, se les evaluará a partir de los siguientes criterios:

- Facilidad del mantenimiento: Al momento de diseñar una máquina, se debe tener en cuenta la facilidad con la que el mantenimiento se va a realizar, se pueden reducir significativamente.
- Área ocupada: La máquina se debe adecuar de la mejor manera al espacio disponible para esta labor en las instalaciones de la empresa.
- Facilidad para su fabricación: Partiendo del alcance económico de la empresa, este criterio es de gran importancia, entre menores costos se generen para la fabricación de esta, más rentable sería la posible implementación de esta máquina.
- Eficiencia de producción: La idea principal de esta máquina es que ejecute su ciclo de la manera más eficiente posible.
- Instalación de la máquina: Se debe tener en cuenta la facilidad de la instalación para de esta manera cualquier operario tenga la capacidad de realizar esta tarea.

Asignación de la ponderación para cada criterio: según el método de ponderación lineal Scoring, se debe asignar un valor de 1 a 5 a cada criterio donde el significado de cada valor se muestra en el siguiente cuadro

**Tabla 10.**

*Significado de cada valor de ponderación.*

1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

**Nota.** Análisis multicriterio. Tomado de: R. Hugo. V. Constantino. *Análisis multicriterio*. [En línea]. Disponible: [https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc\\_aplicado\\_administracion.pdf](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf) . [Acceso: ago.30,2020]

**Tabla 11.**

*Asignación de la ponderación para cada criterio.*

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>
Facilidad de mantenimiento	4
Área ocupada	5
Facilidad para su fabricación	5
Eficiencia de producción	5
Instalación de la máquina	4

**Nota.** Análisis multicriterio. Tomado de: R. Hugo. V. Constantino. *Análisis multicriterio*. [En línea]. Disponible: [https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc\\_aplicado\\_administracion.pdf](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf) . [Acceso: ago.30,2020]

Una vez se han asignado los valores ponderados a cada criterio, se les debe establecer un valor de satisfacción entre 1 y 9, donde cada valor representa lo siguiente.

**Tabla 12.**

*Significado de los valores de satisfacción.*

1	Extra bajo
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Poco bajo
5	Medio
6	Poco alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Extra alto

**Nota.** Análisis multicriterio

Tomado de: R. Hugo. V.

Constantino. *Análisis*

*multicriterio.* [En línea].

Disponible:[https://feparunsa.files](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf)

[s.wordpress.com/2012/07/amc\\_](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf)

[aplicado\\_administracion.pdf](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf).

[Acceso: ago.30,2020]

Al asignar el valor de satisfacción a cada alternativa en referencia a cada criterio, se realiza la siguientes sumatoria, donde el valor resultante mayor corresponderá a la alternativa a seleccionar.



$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

- $S_j$ = Score para alternativa j.
- $r_{ij}$ = Rating de la alternativa j en función del criterio i.
- $w_i$ = Ponderación para cada criterio i.

Los resultados de la selección de la alternativa se pueden evidenciar en el siguiente cuadro:

**Tabla 13.**

*Resultados de la ponderación.*

Criterios	Ponderación $W_i$	Configuración en línea $r_{i1}$	Configuración en carrusel $r_{i2}$	Configuración desplazamiento lateral $r_{i3}$
Facilidad de mantenimiento	5	5	6	6
Área ocupada	5	6	5	7
Facilidad para su fabricación	4	4	7	5
Eficiencia de producción	5	9	8	3
Instalación	4	4	6	5
Total	23	28	32	26

**Nota.** Resultados del análisis Scoring. Tomado de: R. Hugo. V. Constantino. *Análisis multicriterio*. [En línea]. Disponible:

[https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc\\_aplicado\\_administracion.pdf](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf). [Acceso: ago.30,2020]

Según los datos obtenidos en el anterior cuadro, la mejora alternativa según los criterios establecidos es la segunda (configuración en carrusel).

## **4. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

En este capítulo se realizará el diseño en detalle de cada uno de los sistemas involucrados en el funcionamiento del diseño seleccionado, donde se encontrarán los cálculos pertinentes para el dimensionamiento de los elementos y la selección de materiales e instrumentos que conforman la máquina. Así mismo, se realiza la elaboración de los planos correspondientes a cada una de los elementos que componen los sistemas mencionados en el capítulo anterior.

### **4.1. Diseño del sistema de impresión**

#### ***4.1.1. Diseño de la racleta de impresión***

Teniendo en cuenta las características de la racleta básica referenciada en la figura 2 y la sección 1.1.1.C, los elementos que componen el conjunto de la racleta tienen la función de sujetar la goma, brindarle el ángulo adecuado y proporcionar la fuerza necesaria para lograr la capacidad establecida en la figura 27.

4.1.1.a. Selección de la goma de la racleta. La selección del material y el dimensionamiento de la goma de la racleta de impresión, se establece a partir de las dimensiones de los diseños que se quieren manejar y del tipo de serigrafía que se va a emplear. Teniendo en cuenta que se trata de una máquina semi - automática el catálogo de gomas para serigrafía textil de la empresa Unitex Marathon, recomienda manejar una goma con dureza 75° A shore, cuyas dimensiones son: 50x9x300 mm. (Ver anexo 1)

4.1.1.b. Diseño del sistema de sujeción de la goma. El sistema de sujeción de la racleta consiste en un conjunto de elementos que se encargan de sujetar la goma de impresión serigráfica. A partir de las características del material y la geometría de la goma de la racleta, se dimensionan los elementos y se establecen los materiales adecuados, teniendo en cuenta las funciones descritas a continuación y las características del montaje referenciado en la figura 35.

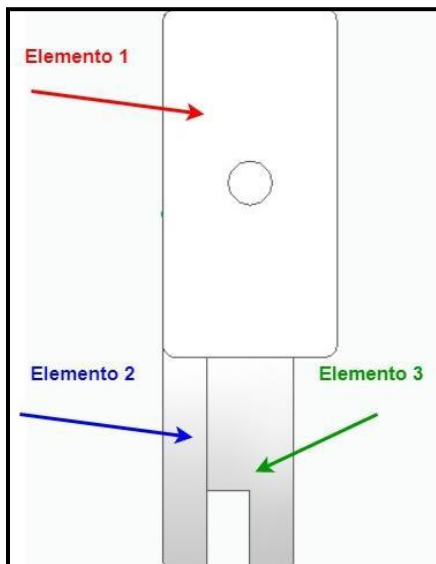
Elemento 1: Tiene la función de unir las dos placas que van a sujetar la goma serigráfica, proporcionándole el ángulo requerido y transfiriendo la fuerza de los elementos superiores.

Elemento 2: Placa plana para el agarre de la goma.

Elemento 3: Placa de agarre con ranura en L para ubicación de la goma.

### Figura 35.

*Conjunto de elementos que componen la racleta.*



**Nota.** Conjunto de elemento que componen la racleta.

Para realizar el análisis y diseño de los elementos, se estableció que en primera instancia la fuerza de empuje horizontal será igual a la proporcionada por un cilindro neumático a una presión de 6 bar. A partir de este valor se dimensionarán los elementos que realizan la sujeción de la goma y conforman la racleta de impresión, para posteriormente, teniendo en cuenta las geometrías calculadas, recalcular la fuerza de empuje horizontal.

### Cilindro normalizado DSBC, ISO 15552

Diámetro de émbolo: 32mm

Carrera del vástago: 400mm

### Figura 36.

*Fuerzas para cilindros neumáticos normalizados DSBC, ISO 15552.*

Fuerzas [N] y energía de impacto [J]	32	40	50	63	80	100	125
Diámetro del émbolo	32	40	50	63	80	100	125
Fuerza teórica a 6 bar, avance	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Fuerza teórica a 6 bar, retroceso	415	633	990	1682	2721	4418	6881

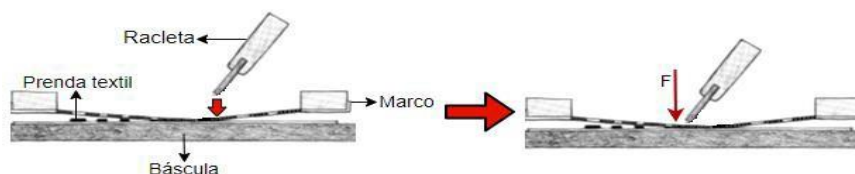
**Nota.** En esta tabla se muestran las fuerzas teóricas obtenidas por Festo de los cilindros normalizados DSBC, ISO 15552. Tomado de: Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/DSBC\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/DSBC_ES.PDF). [Acceso: sept.5,2020]

Para establecer la fuerza de empuje vertical que debe ejercer la racleta para imprimir una prenda textil en una sola pasada, se empleó el siguiente proceso experimental:

Como se muestra en la figura mostrada a continuación, se posiciono una prenda textil sobre una báscula, posteriormente se ubicó el marco de impresión y se aplicó la tinta sobre la superficie de este, luego se le indico al operario que realizara el proceso de transferencia de tinta hacia la prenda en un solo recorrido, mediante la báscula se pudo establecer la carga máxima que ejercía el operario mientras realizaba el recorrido, estableciendo así, la fuerza necesaria para el proceso.

### Figura 37.

*Procedimiento experimental para establecer la fuerza de empuje vertical.*



**Nota.** Representación gráfica del procedimiento experimental de la fuerza vertical.

El procedimiento descrito anteriormente, se llevó a cabo en cinco ocasiones donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 14.**

*Resultados experimento.*

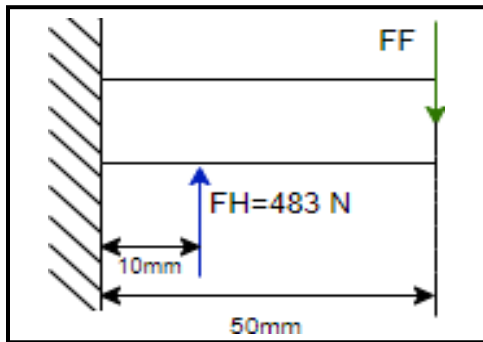
Medición	Fuerza (Kgf)
1	15
2	13
3	18
4	16
5	15
Promedio	15,4

**Nota.** Tabla con los datos obtenidos de la cantidad de fuerza necesaria para transferir la tinta a la pieza textil por parte de un operario.

A partir de la fuerza promedio calculada, se establece que para realizar el proceso de impresión con las características ya mencionadas es necesaria una fuerza de empuje vertical de 150,92 N. Para determinar la fuerza que ejerce la goma sobre los elementos que le brindan sujeción, esta se analiza como una viga empotrada en uno de sus extremos como se muestra a continuación:

### Figura 38.

Esquema de las fuerzas que actúan sobre la goma de la gráfica.

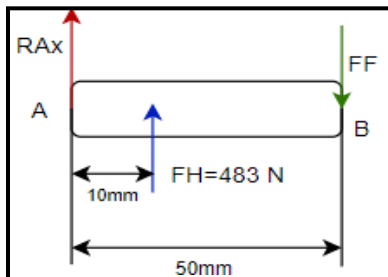


**Nota.** Representación gráfica de las fuerzas que actúan sobre la goma de la raqueta.

Teniendo en cuenta que el elemento se analizó como una viga, únicamente se tienen en cuenta las cargas y las reacciones paralelas al área de sección transversal del elemento, en este caso en dirección del eje X si se observa a la goma en su posición de trabajo. Realizando el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

### Figura 39.

Diagrama de cuerpo libre de la goma



**Nota.** Representación gráfica del conjunto de fuerzas y reacciones presentes en la goma de la raqueta.

Donde:

FH = Fuerza de empuje horizontal.

RX = Reacción en la dirección X.

FF = Fuerza de fricción.

Planteando la ecuación de sumatoria de fuerzas en X y teniendo en cuenta que la goma y la raqueta se desplazan a una aceleración conocida sobre el mismo eje se tiene:

$$\sum Fx = Ma$$

$$Rx + FH - FF = Ma$$

Así mismo para la sumatoria de momentos respecto al punto A se obtuvo:

$$\sum MA = 0$$

$$-(FF \times 0,05m) + (FH \times 0,001m) = 0$$

Remplazando los valores conocidos se obtiene que:

$$-(0,05mFF) + (483N \times 0,001m) = 0$$

$$4,83Nm = 0,05mFF$$

$$\frac{4,83Nm}{0,05m} = FF$$

$$FF = 96,6N$$

Remplazando la magnitud FF en la ecuación de sumatoria en X junto con los demás valores conocidos.

$$Rx + 483N - 99,6N = 2,21E^{-3}N$$



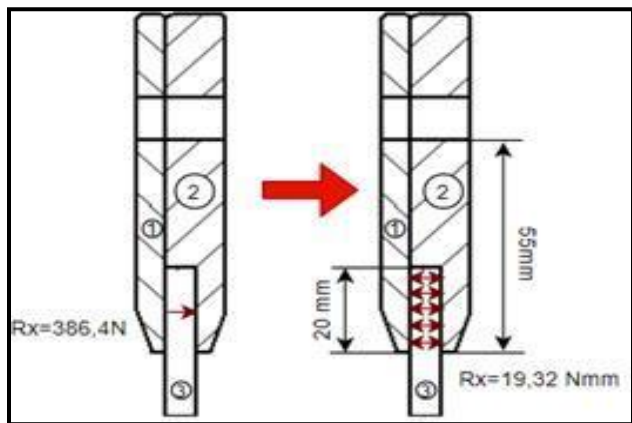
$$R_x = 2,21E^{-3}N - 483N + 99,6N$$

$$R_x = -386,4N$$

La fuerza x actúa sobre los elementos que sujetan la goma ya sea como una carga puntual o distribuida de la siguiente manera.

**Figura 40.**

*Esquema del conjunto de las placas de la racleta junto a la goma.*

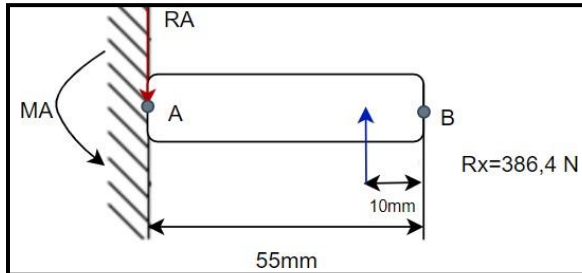


**Nota.** Representación gráfica de la fuerza que la goma ejerce sobre las placas de la racleta para su diseño.

Para el diseño del elemento 1 y 2 se analiza el elemento 2 como una viga a partir de la unión atornillada que mantiene a los elementos mencionados unidos.

**Figura 41.**

*Planteamiento del comportamiento estructural de la placa de la racleta.*



**Nota.** Diagrama con la fuerza puntual que actúa sobre la placa del elemento.

Donde:

Rx = Carga distribuida ejercida por la goma sobre la cara del elemento 2.

RA= Reacción en el punto A del elemento.

MA= Momento en el punto A generado por la carga externa (Rx).

Planteando las ecuaciones de equilibrio se tiene que:

$$\sum Fy = 0$$

$$Rx - RA = 0$$

$$Rx = RA = 386,4 N$$

Para el momento en el punto A generado por la carga Rx:

$$MA = Rx \times 45mm$$

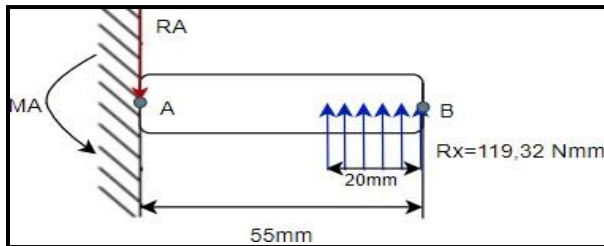
$$MA = 386,4N \times 45mm$$

$$MA = 17388 Nmm$$

Ubicando la carga  $R_x$  como una carga distribuida sobre el elemento para realizar el diagrama de esfuerzo cortante se tiene que:

**Figura 42.**

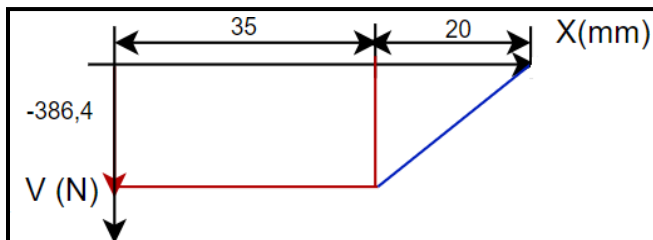
*Diagrama de cuerpo libre de la raqueta.*



**Nota.** Representación gráfica de las fuerzas y reacciones que actúan sobre el elemento.

**Figura 43.**

*Diagrama de esfuerzo cortante elemento 2.*



**Nota.** Gráfica de esfuerzo cortante a partir de las fuerzas que actúan sobre el elemento.

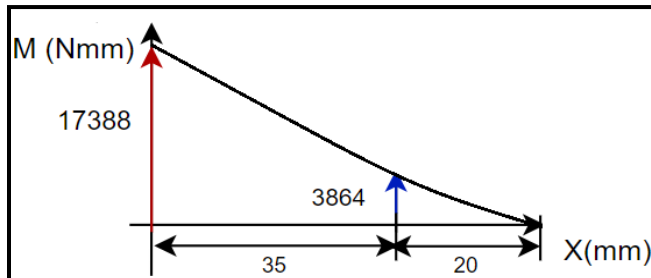
Realizando el diagrama de momento flector a partir del método de las áreas se obtiene:

$$M1 = 35mm * 386,4N = 13524 Nmm$$

$$M_2 = \frac{20\text{mm} * 386,4\text{N}}{2} = 3864 \text{ Nmm}$$

**Figura 44.**

*Diagrama de momento flector del elemento 2.*



**Nota.** Gráfica del momento flector máximo que se presenta en el elemento.

Mediante el momento flector máximo se procede a determinar el espesor del elemento de la siguiente manera:

Para los componentes del sistema de impresión salvo las uniones atornilladas. Se estableció el aluminio 6061-O como material para los elementos debido a su durabilidad, bajo mantenimiento, fácil manipulación, resistencia a la corrosión y baja densidad que le permite tener un peso de 1/3 menor al del acero.

**Nota.** «Los esfuerzos de fluencia de los materiales que conforman los elementos contenidos en el presente documento, son calculados a partir del factor de diseño de resistencia a la fluencia establecido en el código LRFD para el dimensionamiento de elementos estructurales, el cual establece que, para el análisis de los esfuerzos a flexión sobre un elemento tipo viga de aluminio, se emplea la ecuación de la escuadría ( $S=I/C$ ), que dicta que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria». [15]

Para el diseño del elemento se tienen en cuenta las propiedades de aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E^7pa)$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{17,388Nm}{49,5E^6pa} = 3,5127E^{-7}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 2,6505E^{-3}m = 2,650mm$$

Donde:

$\sigma_y$  = Limite elástico del aluminio 6061-O

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible

$M_{fmax}$  = Momento flector máximo

$S$  = Modulo de sección

$I$  = Momento de inercia

$C$  = cantidad de material

Para manejar espesores de placa de aluminio comerciales, se establecieron espesores de 19mm para el elemento 2 y de 12,7mm para el elemento 1, esto tomando de referencia la figura 40.

Con estos espesores, se analizaron las deflexiones sobre el elemento 1 al ser este el más crítico y sobre la sección de menos espesor del elemento 2.

**Nota.** A lo largo del documento, para evaluar si las deflexiones de los elementos en cuestión son permisibles, se analiza el valor obtenido en cada uno mediante los siguientes criterios según el caso.

### Figura 45.

*Criterios para la deflexión de elementos de máquina.*

18. Check to determine whether some part of the component may deflect excessively. If that is an issue, complete an analysis of the deflection of the element as designed to this point. Sometimes there are known limits for deflection based on the operation of the machine of which the element being designed is a part. In the absence of such limits, the following guidelines may be applied based on the degree of precision desired:

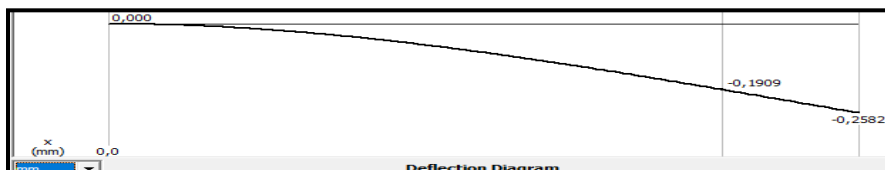
**Deflection of a Beam Due to Bending**

General machine part:	0.000 5 to 0.003 in/in of beam length
Moderate precision:	0.000 01 to 0.000 5 in/in
High precision:	0.000 001 to 0.000 01 in/in

**Nota.** Factores de baja, media y alta precisión para la deflexión máxima de los elementos de máquina. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, "Diseño de elementos de máquinas," 944, vol. 4, pp. 280–291, 2004.

### Figura 46.

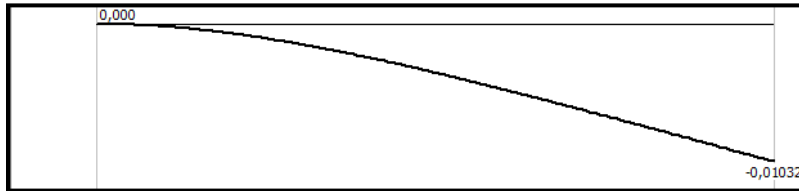
*Deflexión sobre el elemento 1.*



**Nota.** Resultado de la comprobación de la deflexión mediante el software MD Solid. Tomado de MD Solid.

**Figura 47.**

*Deflexión sobre la sección crítica del elemento 2*



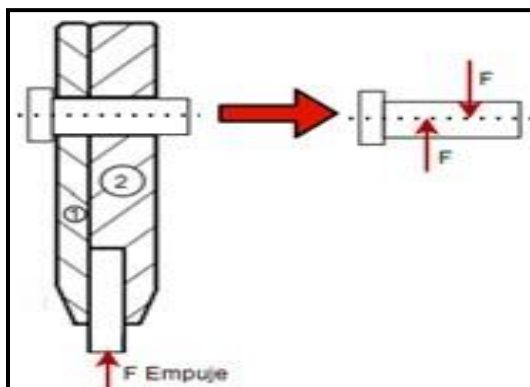
**Nota.** Resultado de la comprobación de la deflexión mediante el software MD Solid. Tomado de MD Solid.

Aplicando un criterio de media precisión para las deflexiones sobre los elementos en cuestión, se establece que las dimensiones son las adecuadas dado que se encuentran dentro del rango permitido.

4.1.1.c. Cálculo de la unión atornillada. Teniendo en cuenta las características de la unión, el elemento que ejecuta la acción se encuentra sometido un esfuerzo cortante generado por la fuerza de empuje.

**Figura 48.**

*Diagrama de las fuerzas actuantes sobre el elemento de unión.*



**Nota.** Representación gráfica del elemento de unión de la racleta.

A partir del caso de estudio mostrado en la imagen anterior y de las siguientes propiedades de tornillos de cabeza hexagonal se establece al área necesaria para la unión, en base de las características del material de la unión (Ver anexo 2)

$$\sigma_y = 500E^6pa$$

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{150,92N}{500E^6pa} = 3,0184E^{-7}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

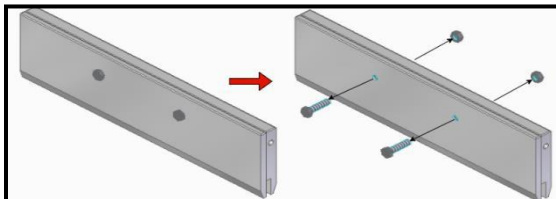
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,0184E^{-7}m^2}{\pi}} = 3,0996E^{-4}m = 0,30996mm$$

$$\phi = 2r = 0,61993mm$$

De acuerdo al diámetro obtenido, es válido afirmar que con un tornillo de cabeza hexagonal de rosca M6 y 25mm de longitud (Ver anexo 2) se puede realizar la unión. Sin embargo, para evitar el desplazamiento angular de los elementos que se puede generar al estar unidos en un solo punto, se emplean dos tornillos de las mismas características como se muestra a continuación.

**Figura 49.**

*Ubicación de los elementos de unión.*



**Nota:** Ubicación de los elementos roscados.

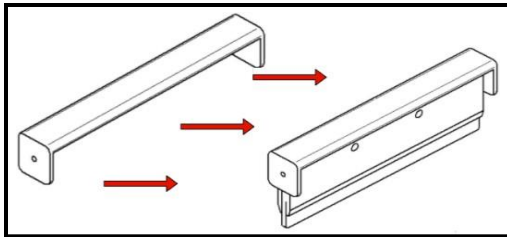


#### 4.1.1.d. Diseño de mecanismo de variación de Angulo de impresión

Para variar el ángulo de la racleta de impresión de acuerdo a las características del proceso se diseña el siguiente elemento.

**Figura 50.**

*Elemento de sujeción de la racleta.*



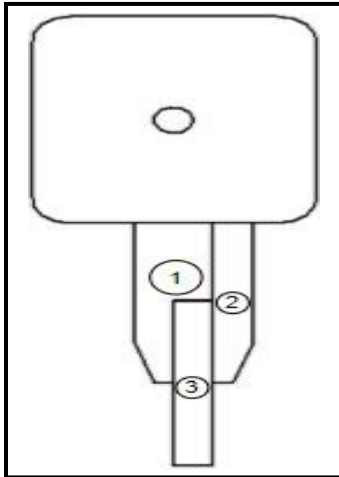
**Nota:** Representación gráfica del elemento de unión de la racleta.

Como se evidencia en la figura mostrada anteriormente, el elemento de variación de ángulo de racleta (elemento 4) estará unido con el ensamble de las piezas que le brindan sujeción a la goma (elementos 2 y 3), de manera que permita el movimiento de estos últimos respecto al eje axial del elemento de unión.

Para el análisis y diseño de este elemento, es necesario determinar la fuerza ejercida por la masa de los elementos a los cuales este les brinda sujeción.

## Figura 51.

*Vista lateral de los elementos que componen la racleta.*



**Nota.** Esquema de los elementos que componen la racleta.

Estableciendo las masas de cada elemento

## Figura 52.

*Peso del elemento 1.*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,391 kg	144011,913 mm <sup>3</sup>	51712,08 mm <sup>2</sup>

**Nota:** Peso del elemento 1 de la racleta fabricado en aluminio. Tomado del Software Solid Edge.

### Figura 53.

*Peso del elemento 2.*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,689 kg	253993,622 mm <sup>3</sup>	57581,17 mm <sup>2</sup>

**Nota.** Peso del elemento 2 de la raqueta fabricado en aluminio. Tomado del Software Solid Edge.

Cálculo de la masa del elemento 3:

La masa del elemento 3 (Goma) equivale al 0,166Kg

Por lo tanto, la masa total de los tres elementos en conjunto equivale a

$$m_t = 1,246kg$$

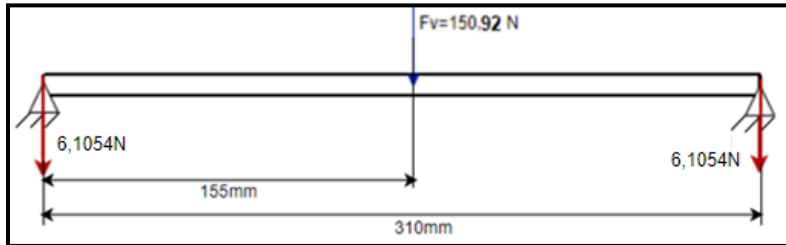
La fuerza que ejerce la masa total sobre el elemento de sujeción será:

$$F_t = m_t * g = 1,246kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 12,2108N$$

Para el análisis del elemento de sujeción, esta carga se distribuye en dos puntos sobre los cuales se apoyan los elementos de sujeción de goma. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y analizando el elemento como una barra apoyada en sus extremos se obtiene:

**Figura 54.**

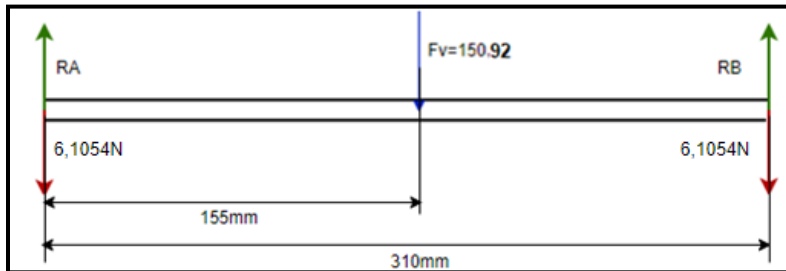
*Diagrama del elemento bajo las fuerzas externas.*



**Nota.** Representaciones gráficas del elemento bajo las fuerzas que actúan sobre este.

**Figura 55.**

*Diagrama de cuerpo libre del elemento:*



**Nota.** Diagrama de fuerzas y reacciones que actúan sobre el elemento.

Donde:

RA = Reacción en el punto A.

RB = Reacción en el punto B.

Fv = Fuerza de empuje vertical.

FA-FB = Fuerza ejercida por la masa de los elementos que brindan sujeción a la goma.

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\sum Fy = 0$$

$$RA + RB - 6,1054N - 6,1054N - 150,92N = 0$$

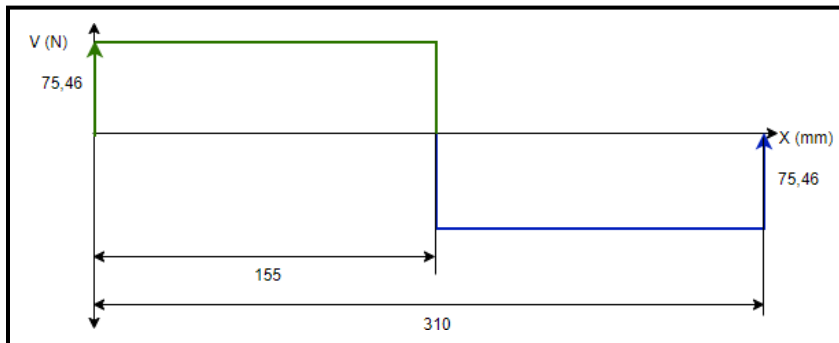
$$RA + RB = 163,1308N$$

Teniendo en cuenta que el elemento es simétrico y que las cargas ejercidas por la masa de los elementos 1, 2 y 3 están distribuidas en partes iguales en dos puntos

$$RA = RB = \frac{163,1308N}{2} = 81,5654N$$

**Figura 56.**

*Diagrama de esfuerzo cortante.*



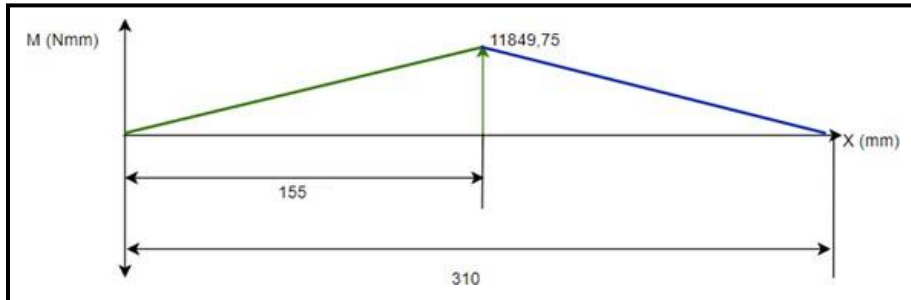
**Nota.** Gráfica con el esfuerzo cortante máximo del elemento.

Realizando el diagrama de momento flector a partir del método de las áreas se obtiene:

$$M1 = M2 = 155mm * 75,46N = 11849,75 Nmm$$

**Figura 57.**

*Diagrama de momento flector máximo.*



**Nota.** Gráfica con el momento flector máximo sobre el elemento.

4.1.1.e. Diseño del elemento de sujeción. Mediante el momento flector máximo se procede a determinar el espesor del elemento de la siguiente manera:

Para el diseño del elemento se tiene en cuenta el esfuerzo admisible del aluminio 6061-o:

$$\sigma_y = 55 \text{Mpa} = 5,5E7 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7 \text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{11,84975 \text{Nm}}{49,5E6 \text{pa}} = 2,3938E^{-7}$$

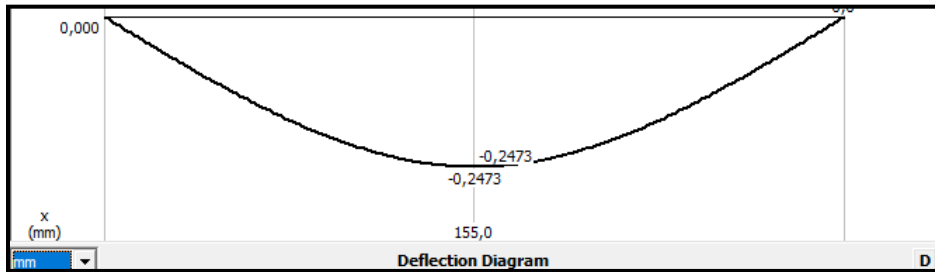
$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 8,4743E^{-3}m = 8,4743mm$$

Llevando el espesor calculado a un valor más comercial, se establece que el espesor del elemento será de 19mm para evitar una deflexión considerable sobre el elemento.

**Figura 58.**

*Gráfica de la deflexión máxima del elemento de sujeción de la racleta.*



**Nota.** Deflexión máxima que presenta el elemento. Tomado de MDsolids

Dado que la deflexión se encuentra dentro del rango, el espesor establecido es adecuado para las condiciones de carga del elemento.

A partir de las dimensiones establecidas y las encontradas mediante el análisis, se establece la masa del elemento.

**Figura 59.**

*Peso de elemento de sujeción de la racleta.*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,534 kg	196903,979 mm <sup>3</sup>	38435,18 mm <sup>2</sup>

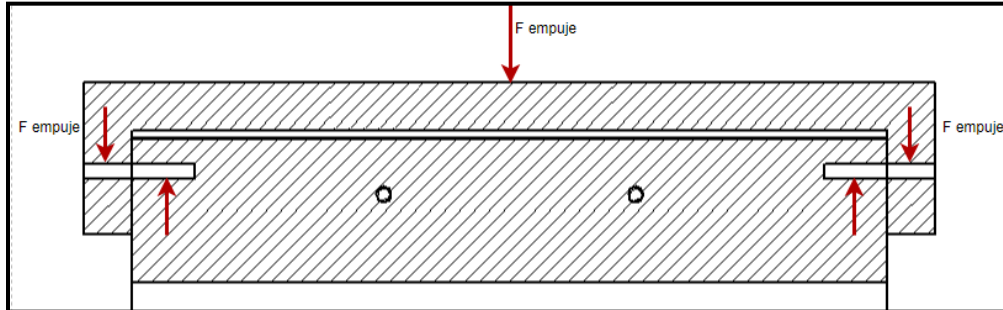
**Nota.** Peso del elemento fabricado en aluminio. Tomado del software Solid Edge.

Como se muestra en la siguiente figura, los elementos roscados que permiten la unión del elemento de variación de ángulo con los elementos de sujeción, deben estar en la

capacidad de soportar la fuerza de desplazamiento vertical, teniendo en cuenta esto se plantea el siguiente caso de estudio.

**Figura 60.**

*Elementos roscados de la pieza de sujeción de la racleta y las fuerzas que lo afectan.*



**Nota.** Disposición de los elementos roscados que unen la racleta y su elemento de sujeción y las respectivas fuerzas que actúan sobre ellos.

A partir del caso de estudio mostrado en la imagen anterior y de las siguientes propiedades de tornillos de cabeza hexagonal del anexo 2, se establece al área necesaria para la unión.

$$\sigma_y = 500E^6pa$$

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{150,92N}{500E^6pa} = 3,0184E^{-7}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,0184E^{-7}m^2}{\pi}} = 3,0996E^{-4}m = 0,30996mm$$



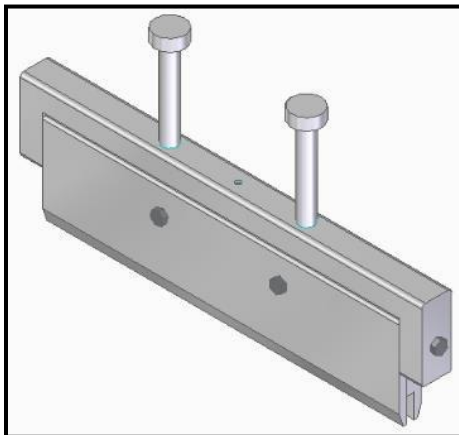
$$\phi = 2r = 0,61993mm$$

A partir del diámetro obtenido, es válido afirmar que con un tornillo de cabeza hexagonal de rosca M6, con las características encontradas en el anexo 2 y una longitud de 30 mm se satisface la condición de carga. Sin embargo, para garantizar la correcta sujeción de los componentes de la racleta es necesario emplear dos tornillos en cada uno de los costados.

4.1.1.f. Cálculo de cilindros de apoyo de la racleta. Con el propósito de evitar el pandeo en el vástago del cilindro neumático, producto del esfuerzo de compresión y la carga horizontal generada por el desplazamiento en este sentido, se incorporan dos cilindros de apoyo en el mecanismo de desplazamiento vertical como se muestra en la siguiente figura.

#### **Figura 61.**

Vista isométrica de los cilindros de apoyo de la racleta.

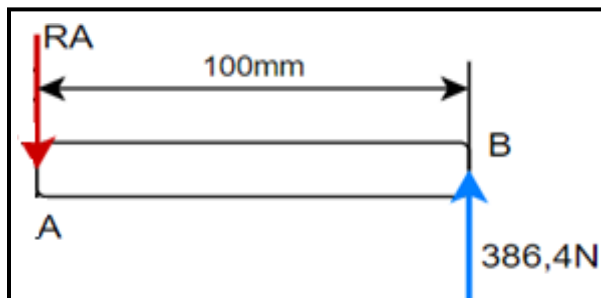


**Nota.** Ubicación de los elementos de apoyo para el movimiento de la racleta.

Como se muestra en la siguiente figura, para cada uno de los cilindros de apoyo se plantea analizarlos como una viga empotrada al extremo; en la parte libre del elemento, actúa la fuerza de reacción que se genera en los apoyos de los elementos de sujeción de la racleta, esto debido a que es la fuerza más grande que actúa en el ensamble de la racleta y actúa paralelo al área de sección transversal de los cilindros.

**Figura 62.**

*Diagrama de cuerpo libre del cilindro de apoyo de la racleta.*



**Nota.** Fuerzas y reacciones que actúan sobre el elemento.

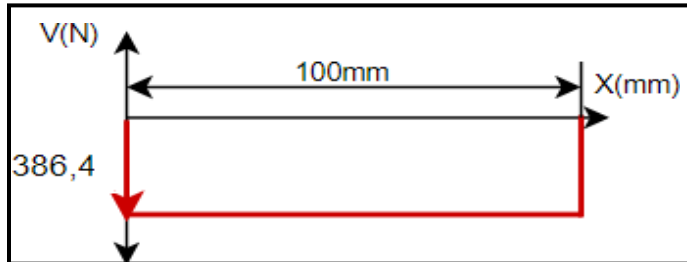
$$\sum Fy = 0$$

$$-RA + 386,4N = 0$$

$$386,4N = RA$$

**Figura 63.**

*Diagrama de esfuerzo cortante.*



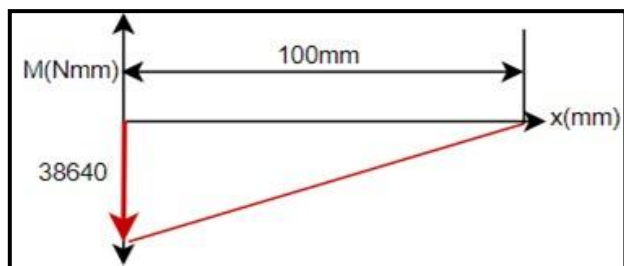
**Nota.** El esfuerzo cortante máximo que actúa sobre la pieza posee un comportamiento uniforme.

Realizando el diagrama de momento flector a partir del método de las áreas se obtiene:

$$M1 = 100mm * 386,4N = 38640 Nmm$$

**Figura 64.**

*Diagrama de momento flector.*



**Nota.** El momento flector máximo del elemento es de 38640 Nmm.

Para el diseño del elemento se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O.

$$\sigma_y = 55Mpa = 5,5E7pa$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E^7pa)$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{Mf_{max}}{S}$$

$$S = \frac{Mf_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{38,640Nm}{49,5E^6pa} = 7,8060E^{-7}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{\pi r^4}{4}}{r}$$

$$r = 9,9795E^{-3}m = 9,9795mm$$

$$\emptyset = 19,9591mm$$

Teniendo en cuenta que se emplearán dos cilindros de apoyo, el diámetro encontrado anteriormente se divide en dos para tener una distribución de este valor en los dos elementos, por lo tanto, el diámetro de cada uno de los cilindros será:

$$\emptyset = \frac{19,9591mm}{2} = 9,9795mm$$

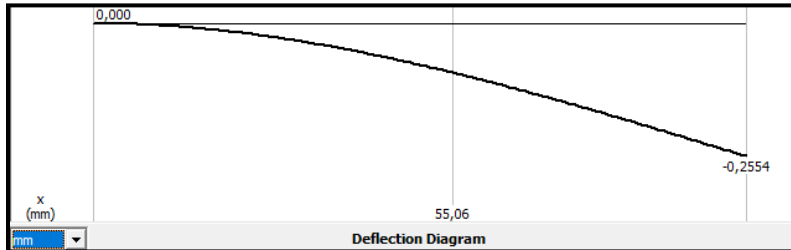
Llevando el diámetro del cilindro de apoyo a un valor más comercial, se asigna un diámetro de 12,7mm para estos elementos.

A partir de las dimensiones del elemento, se calculó la deflexión sobre el mismo bajo la condición de carga, es decir en el proceso de impresión.

Corroborando la deflexión calculada se obtiene:

## Figura 65.

*Deflexión máxima del cilindro de apoyo de la racleta.*



**Nota.** De acuerdo al criterio de media precisión, dicha deflexión es aceptable para el elemento.

A partir de las dimensiones encontradas se establece la masa de un solo cilindro.

## Figura 66.

*Peso del cilindro de apoyo de la racleta.*

Sistema de coordenadas: Espacio modelo	Masa: 0,042 kg	Volumen: 15339,808 mm <sup>3</sup>	Área de superficie: 5105,09 mm <sup>2</sup>
---	-------------------	---------------------------------------	--

**Nota.** Peso del elemento fabricado en aluminio 6061-O. Tomado del software Solid Edge.

Teniendo en cuenta que son dos cilindros de apoyo la masa total sería:

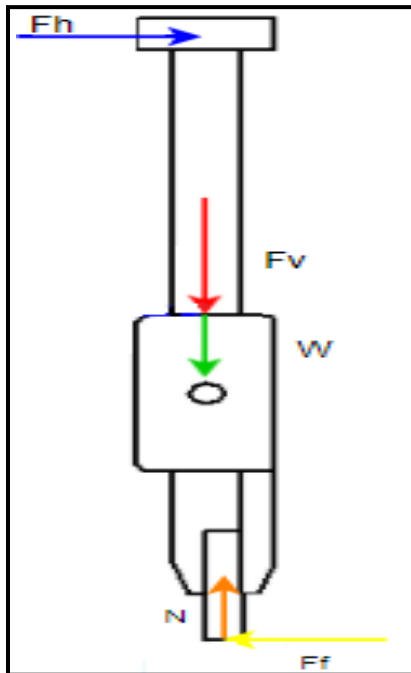
$$m_t = 0,042kg * 2 = 0,084kg$$

Con el dimensionamiento de los elementos que conforman el sistema de sujeción de la racleta, se procede a recalcular la fuerza de fricción a partir de la fuerza ejercida por la masa de estos elementos sobre la malla de impresión y las cargas externas necesarias para el proceso.

Inicialmente, se analiza el ensamble de todos elementos anteriormente tratados como un solo elemento durante el proceso de impresión de la siguiente manera:

## Figura 67.

Vista lateral del conjunto de elementos de la racleta y el cilindro de apoyo.



**Nota.** En esta imagen se representan todas las fuerzas que actúan sobre los diferentes elementos al realizarse el movimiento horizontal.

Donde:

$F_h$  = Fuerza de empuje horizontal

$F_v$  = Fuerza de empuje vertical (151N)

$w$  = Fuerza ejercida por el peso total del ensamble

$N$  = Fuerza normal del ensamble

$F_f$  = Fuerza de fricción entre el ensamble y la malla de impresión

Estableciendo las ecuaciones de equilibrio durante el proceso de impresión se obtiene.

$$\sum F_x = Mta$$

$$Fh - FF = Mta$$

$$Fh = Mta + FF$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$-Fv - W + N = 0$$

$$N = Fv + W$$

La fuerza W estará dada por

$$W = MT * g$$

Donde:

$MT$  = Masa total del ensamble

$g$  = Fuerza de gravedad

$$MT = M_{\text{racleta}} + M_{\text{cilindros}} + M_{\text{elemento de sujeción}} + M_{\text{elemento 1 - 2}}$$

$$MT = 0,166kg + 0,084kg + 0,529kg + 1,838kg = 2,617kg$$

$$W = 2,617kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 25,6466N$$

Por lo tanto:

$$N = 151N + 15,3566N = 176,6466N$$

Con el valor de la fuerza normal y el coeficiente de fricción entre los materiales se obtiene la siguiente fuerza:

$$FF = N * \mu$$

$\mu$  = Coeficiente de fricción entre los materiales.

$N$  = Fuerza normal.

$$FF = 176,6466N * 0,8 = 141,31728N$$

Con la fuerza de fricción obtenida, se determina la nueva fuerza de empuje, que representa la fuerza mínima necesaria para mover el ensamble.

$$Fh = Mta + FF$$

$$Fh = 2,617kg * \frac{1 m}{75 s^2} + 141,31728N = 141,3521N$$

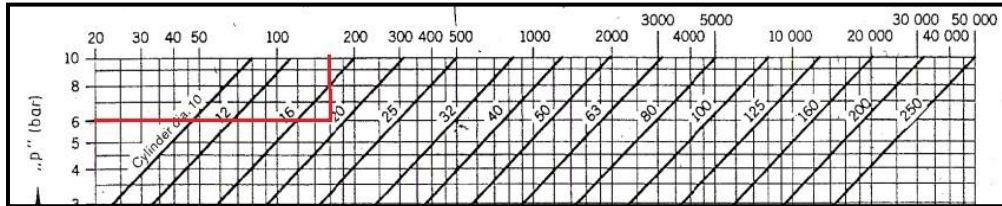
A partir de la fuerza de empuje horizontal establecida (141,3172N) y la presión disponible que suministra el compresor de la empresa (4-8 Bar), se establece que el cilindro seleccionado previamente, referenciado en la figura 36 es adecuado debido a que su fuerza teórica de avance es mayor a la fuerza necesaria para la aplicación.

A partir de la fuerza de empuje vertical establecida (151N) y la presión disponible que suministra el compresor de la empresa (4-8 Bar), se selecciona el cilindro neumático adecuado para esta aplicación.



**Figura 68.**

*Gráfica para la selección del diámetro de émbolo adecuado para el cilindro neumático.*



**Nota.** Para poder entrar a esta gráfica es necesario la presión de trabajo del sistema y la fuerza que va a ejercer.

Enfrentando la presión disponible con la fuerza necesaria para el proceso, se obtiene que el cilindro adecuado posee 20 mm de diámetro de embolo, a partir de esta característica y la carrera necesaria para el proceso (70mm), mediante el catálogo de cilindros compactos ADN/AEN, ISO 21287 de Festo se seleccionó el cilindro neumático descrito en la siguiente figura.

**Figura 69.**

*Ficha técnica cilindro neumático ADN/AEN, ISO 21287*

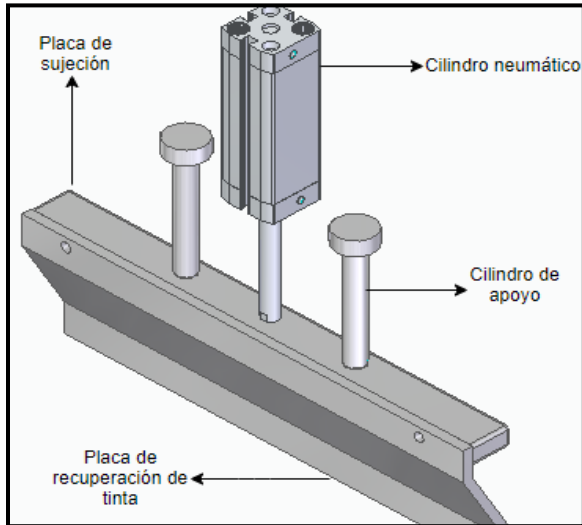
Característica	Valor
Carrera	1 ... 300 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Basado en la norma	ISO 21287
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados PPS: amortiguación de fin de recorrido neumática autorregulable
Posición de montaje	indistinto
Construcción	Émbolo Vástago Tubo perfilado
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	0,6 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	141 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	141 ... 188 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	30 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	21 g
Peso básico con carrera de 0 mm	131 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	6 g
Tipo de fijación	a elegir: con taladro pasante con rosca interior con accesorios
Conexión neumática	M5
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Material de la culata	Aluminio anodizado
Material del vástago	Acero de aleación fina
Material de la camisa del cilindro	Aleación forjable de aluminio Anodizado deslizante

**Nota.** Estos datos técnicos corresponden a la marca Festo. Tomado de catálogo de Festo.[Enlínea].Disponible:[https://www.festo.com/cat/esco\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/ADN\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/esco_co/data/doc_es/PDF/ES/ADN_ES.PDF) . [Acceso: sept.15,2020]

4.1.1.g. Diseño subsistema de recuperación de tinta. El sistema de recuperación permite evitar el desperdicio de tinta de impresión mediante el mecanismo referenciado en la siguiente figura.

**Figura 70.**

*Composición subsistema de recolección.*

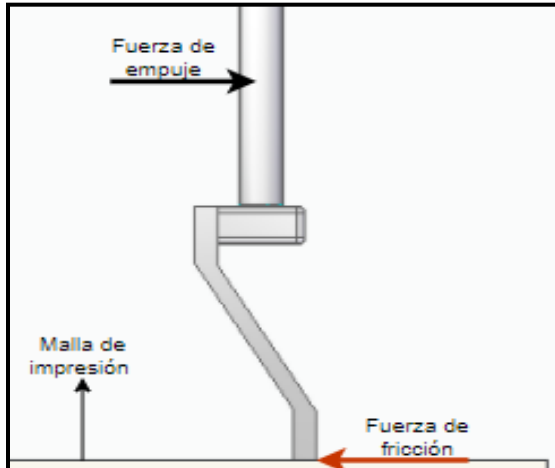


**Nota.** elementos que conforman el mecanismo de recuperación de tinta.

Una vez se realice la impresión de la pieza textil, el cilindro neumático de la figura mostrada anteriormente, posiciona el extremo de la placa de recuperación de tinta sobre la superficie de la malla de impresión y sin ejercer presión al retroceder recupera el remanente de tinta que se deposita en la superficie del área de impresión. Teniendo en cuenta el funcionamiento del mecanismo, dado que la placa de sujeción referenciada en la figura 67 no soporta presión por parte del cilindro neumático, no es necesario determinar un espesor para el elemento dada su carga, teniendo en cuenta esto se asigna un espesor de  $\frac{1}{4}$ " para esta, en el caso de la placa de recuperación, se debe garantizar que este soporte la fricción que se genera en el proceso de recuperación de tinta, para esto se plantea el siguiente caso de estudio:

### Figura 71.

*Vista lateral para el análisis de la fricción de la espátula con la superficie.*

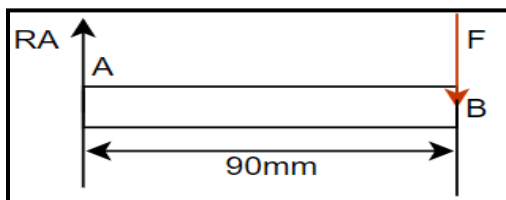


**Nota.** En la imagen se aprecian las fuerzas que actúan sobre todo el sistema.

Analizando la placa de impresión como un elemento empotrado en su extremo se obtiene el siguiente diagrama de cuerpo libre:

### Figura 72.

*Diagrama de cuerpo libre de la espátula.*



**Nota.** Representación gráfica de las fuerzas y reacciones que actúan sobre el elemento para un análisis estructural.

Donde  $F$  es la fuerza de fricción, para analizar el elemento se considera la fuerza de fricción que se ejerce sobre la raqueta en el proceso de impresión ( $141,31728N$ ).

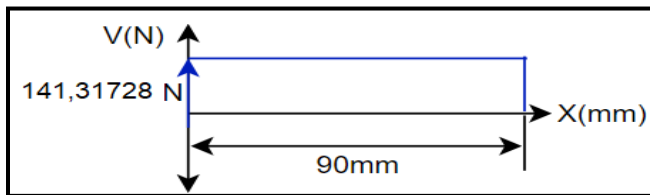
Estableciendo ecuaciones de equilibrio:

$$RA = 141,31728N$$

A partir de la reacción calculada se obtiene el diagrama de esfuerzo cortante

**Figura 73.**

*Diagrama de esfuerzo cortante de la espátula.*



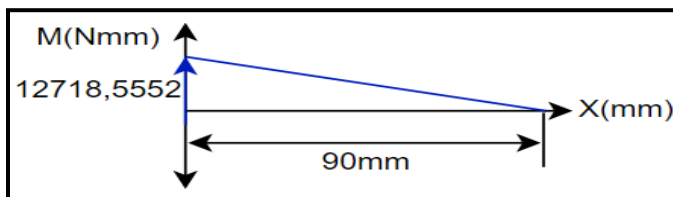
**Nota.** El esfuerzo cortante máximo del elemento corresponde a  $141,317N$ .

$$M = 90mm * 141,31728N = 12718,5552 Nmm$$

A partir del método de áreas se obtiene el diagrama de momento flector y el momento flector máximo:

**Figura 74.**

*Diagrama de momento flector máximo de la espátula.*



**Nota.** El momento flector máximo de la espátula corresponde a  $12718,55 Nmm$ .

Para el diseño del elemento se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55 \text{Mpa} = 5,5E7 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7 \text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{12,7185 \text{Nm}}{49,5E6 \text{pa}} = 2,5693E-7$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 4$$

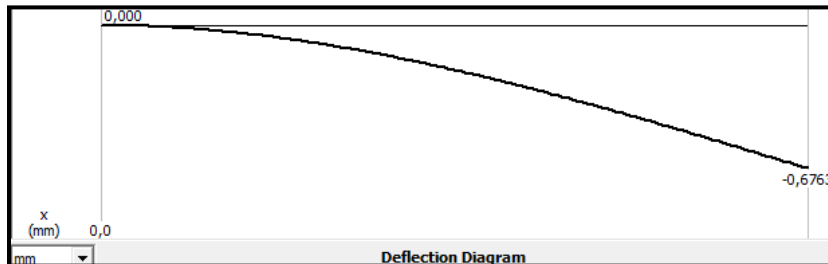
$$2,1386E-3 \text{m} = 2,13868 \text{mm}$$

Llevando el espesor calculado a una medida más comercial, se asigna un valor de 3mm para el espesor del elemento en cuestión.

Analizando la deflexión del elemento bajo las condiciones de carga se obtiene:

**Figura 75.**

*Deflexión máxima de la espátula.*



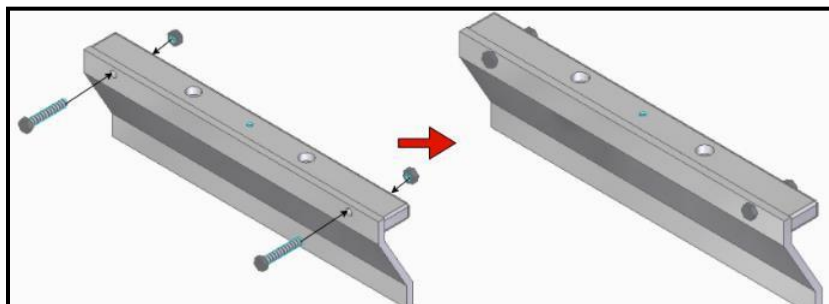
**Nota.** De acuerdo al criterio de deflexión moderada de un elemento de máquina, este valor obtenido es aceptable.

#### 4.1.1.h. Cálculo de la unión atornillada para el ensamble de recolección de tinta

A partir de la consideración de que la placa de recuperación de tinta no ejerce presión sobre la malla de impresión, sino que tan solo se posiciona sobre ella, se emplea el mismo elemento de unión que se empleó para el montaje de la figura 45 solo que su longitud será de 40mm.

**Figura 76.**

*Ubicación de los elementos de unión roscados de la espátula de recolección.*



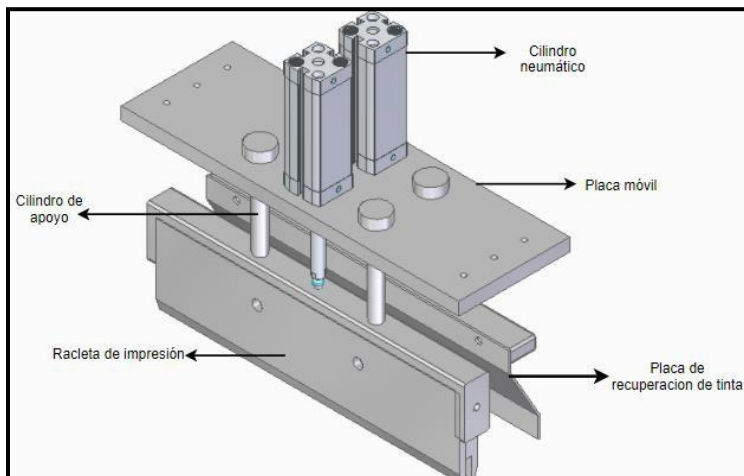
**Nota.** La fuerza que actúa sobre este elemento es la que proviene del cilindro neumático vertical.

Respecto al cilindro neumático que permite el desplazamiento vertical de la placa de recuperación de tinta, teniendo en cuenta que para esta se tienen las mismas condiciones de operación que en el proceso de impresión, el cilindro neumático referenciado anteriormente en la figura 93 se empleará en ambos sistemas.

4.1.1.i. Diseño de la placa móvil. Con el propósito de que los cilindros neumáticos puedan desplazarse a lo largo del área de impresión, se emplea el ensamble de la siguiente figura, que permite que los actuadores estén fijos en un elemento móvil que se desplaza horizontalmente.

### Figura 77.

*Disposición de la racleta y la espátula sobre la placa de desplazamiento vertical.*



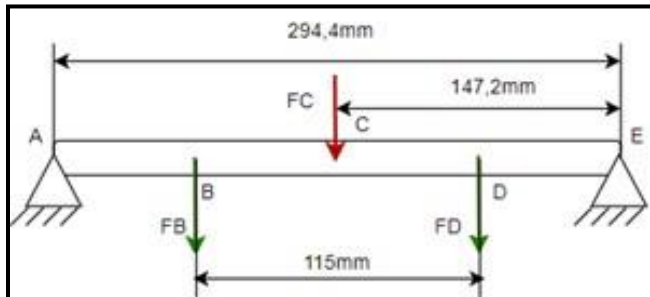
**Nota.** El peso de estos elementos, serán las fuerzas para analizar el esfuerzo al que está sometido la placa.

Teniendo en cuenta que el elemento móvil es simétrico y que la sección con condición de carga más estricta es donde está apoyada la racleta, se analiza este tramo para poder realizar el dimensionamiento y plantear el siguiente caso de estudio.



**Figura 78.**

*Ubicación de las fuerzas de acuerdo al comportamiento de la placa como una viga.*



**Nota.** en esta imagen se aprecian las ubicaciones de las fuerzas y los apoyos del elemento.

Donde las fuerzas sobre elemento estarían dadas por:

$$FB - FD = \left(\frac{MT}{3} + M_{\text{cilindro apoyo}}\right) * g$$

$$FC = \left(\frac{MT}{3} + M_{\text{cilindro neumático}}\right) * g$$

Donde:

MT=Masa elemento de sujeción (0,529kg) +Masa racleta (0,166kg) + Masa placas de sujeción de la goma (1,838kg) =2,533kg

M cilindro apoyo= 0,042kg

M cilindro neumático = 0,341kg

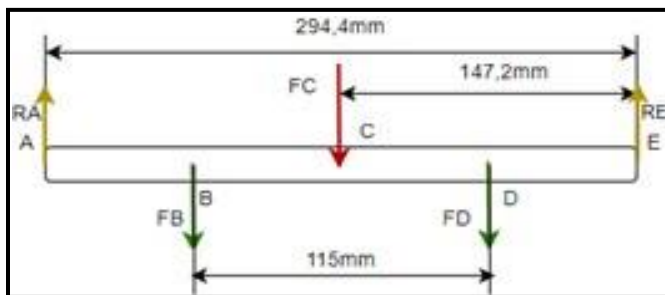
$$FB - FD = \left(\frac{2,533kg}{3} + 0,042kg\right) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 8,6860N$$

$$FC = \left( \frac{2,533kg}{3} + 0,341kg \right) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 11,6162N$$

En el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

**Figura 79.**

*Diagrama de cuerpo libre de la placa de desplazamiento horizontal.*



**Nota.** Representación gráfica de las fuerzas y reacciones presentes sobre el elemento.

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene

$$\sum FY = 0$$

$$RA + RE - FB - FC - FD = 0$$

$$RA + RE = FB + FC + FD$$

$$RA + RE = 28,9882N$$

$$\sum MA = 0$$

$$-(FB \times 89,7mm) - (FC \times 147,2mm) - (FD \times 204,67mm) + (RE \times 294,4mm) = 0$$

$$-(8,6860N \times 89,7mm) - (11,6162N \times 147,2mm) - (8,6860N \times 204,67mm) + (RE \times 294,4mm) = 0$$

$$-(779,1342Nmm) - (1709,90464Nmm) - (1777,7636Nmm) + (RE \times 294,4mm) = 0$$

$$RE \times 294,4mm = 4266,8024Nmm$$

$$RE = \frac{4266,8024Nmm}{294,4mm} = 14,4932N$$

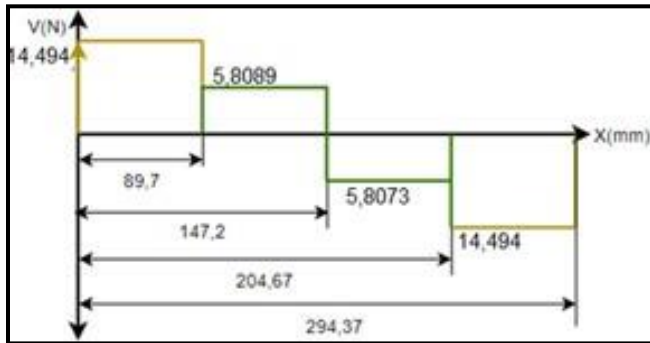
$$RA = 28,9882N - 14,4932N$$

$$RA = 14,49498N$$

A partir de las cargas obtenidas, se obtiene el siguiente diagrama de esfuerzo cortante:

**Figura 80.**

*Diagrama de esfuerzo cortante de la placa de desplazamiento vertical.*



**Nota.** En la gráfica se puede apreciar que el esfuerzo cortante máximo del elemento es de 14,49 N.

$$M1 = 89,7mm \times 14,494N = 1300,1118 Nmm$$

$$M2 = 57,5\text{mm} * 5,8089\text{N} = 334,01175 \text{ Nmm}$$

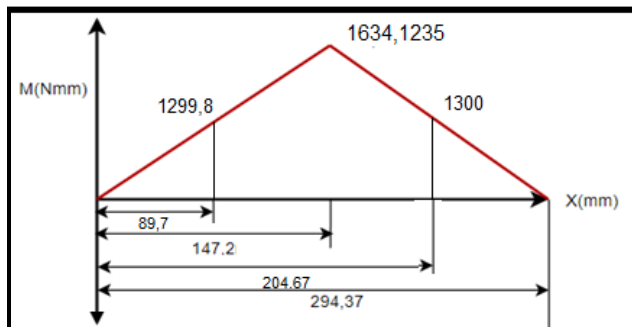
$$M3 = 57,5\text{mm} * 14,494\text{N} = 1300,1118 \text{ Nmm}$$

$$M4 = 89,7\text{mm} * 5,8089\text{N} = 334,01175 \text{ Nmm}$$

A partir de las áreas calculadas se obtiene el diagrama de momento flecto y el momento flector máximo:

**Figura 81.**

*Diagrama de momento flector máximo.*



**Nota.** El momento flector máximo del elemento corresponde a 1634.12 Nmm.

Para el diseño del elemento se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{Mf_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{1,6341Nm}{49,5E^6pa} = 3,30121E^{-8}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

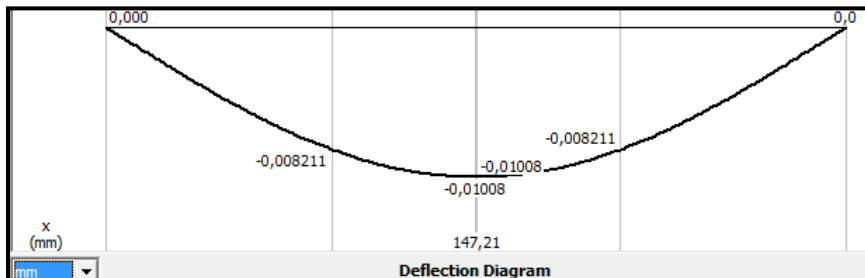
$$h = 2,5695E^{-3}m = 2,569517mm$$

El valor de h representa el espesor mínimo que debe tener el elemento móvil, sin embargo, para trabajar con perfiles y espesores comerciales que permitan realizar roscados para el posicionamiento de los cilindros neumáticos se tomara como base una placa de 12,7 mm para este elemento.

Una vez establecido el espesor del elemento se realiza el análisis de deflexión para este, donde se obtiene:

### Figura 82.

*Deflexión máxima de la placa de desplazamiento horizontal.*



**Nota.** De acuerdo a los criterios de deflexión máxima para elementos de máquina, este valor es adecuado. Tomado de MDSolids.

A partir de las dimensiones encontradas se establece la masa total del elemento móvil

**Figura 83.**

*Masa total del elemento móvil*

<input type="checkbox"/> Definidas por el usuario	Global	Principales	
Sistema de coordenadas: Espacio modelo	Masa: 1,236 kg	Volumen: 455623,288 mm <sup>3</sup>	Área de superficie: 88880,42 mm <sup>2</sup>

**Nota.** Masa total del elemento a partir de las dimensiones. Tomado de MDsolids.

4.1.1.k. Cálculo y selección del riel de desplazamiento. Para analizar el riel de desplazamiento, es necesario determinar el peso total de la placa móvil junto con todos elementos que esta soporta.

**Figura 84.**

*Masa total del conjunto de racleta móvil*

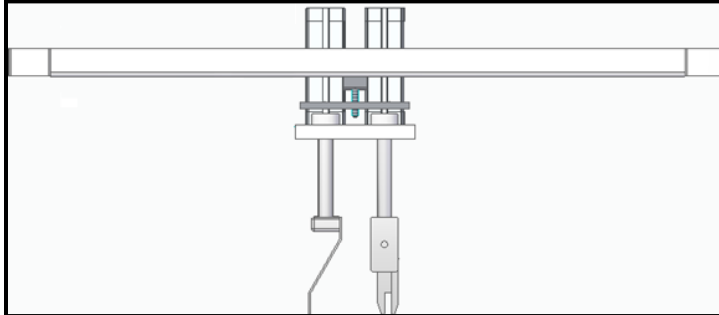
Sistema de coordenadas: Base	Masa: 5,120 kg	Volumen: 1851732,125 mm <sup>3</sup>	
	Masa de sustitución de cantidad: 5,120 kg	<input type="checkbox"/> Usar como la masa del conjunto	

**Nota.** Peso total del conjunto de racleta móvil, para el análisis del riel.

Teniendo en cuenta el movimiento de la racleta se plantea el siguiente montaje:

**Figura 85.**

*Montaje del conjunto de racleta movil sobre el riel*

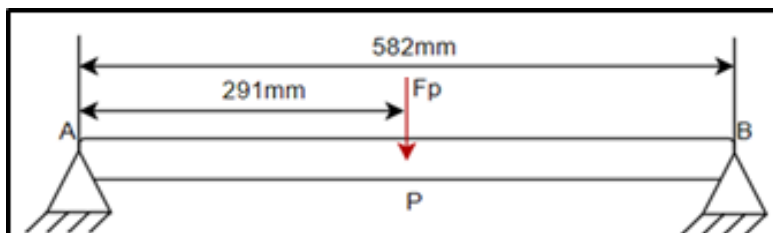


**Nota.** Para analizar adecuadamente el riel, se aplica la carga del conjunto de la racleta en el medio, para obtener la máxima deflexión sobre el elemento.

Analizando el riel como un elemento apoyado en ambos extremos se obtiene el caso de estudio de la siguiente figura.

**Figura 86.**

*Diagrama del caso de estudio del riel.*

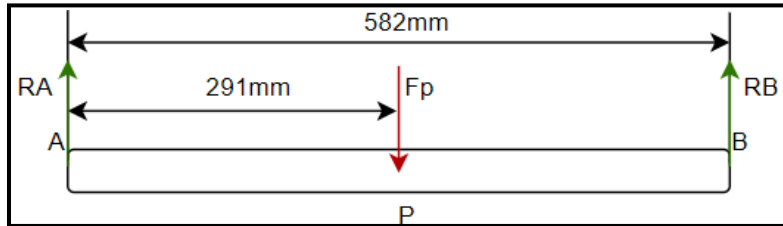


**Nota.** Se analiza el riel como un elemento tipo viga apoyado en sus extremos.

Donde  $F_p$  es la carga ejercida por la masa de la placa móvil y los elementos fijos a esta, a partir de la situación planteada se obtiene el siguiente diagrama de cuerpo libre.

**Figura 87.**

*Diagrama de cuerpo libre del riel*



**Nota.** Por cada apoyo se genera una reacción cuya única componente es en el eje Y.

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\sum FY = 0$$

$$RA + RB - Fp = 0$$

$$RA + RB = Fp$$

Calculando  $Fp$  se tiene que:

$$Fp = M_{conjunto} * g$$

$$Fp = \frac{5,120Kg * 9,8 \frac{m}{s^2}}{2} = 25,088N$$

La carga se divide entre dos debido a que el elemento móvil está apoyado en dos rieles de las mismas características.

Planteando ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$RA + RB = 25,088N$$

$$\sum MA = 0$$



$$-(F_p \times 291\text{mm}) + (R_B \times 582\text{mm}) = 0$$

$$-(25,088\text{N} \times 291\text{mm}) + (R_B \times 582\text{mm}) = 0$$

$$-7300,608\text{Nmm} + (R_B \times 582\text{mm}) = 0$$

$$R_B \times 582\text{mm} = 7300,608\text{Nmm}$$

$$R_B = \frac{7300,608\text{Nmm}}{582\text{mm}} = 12,544\text{N}$$

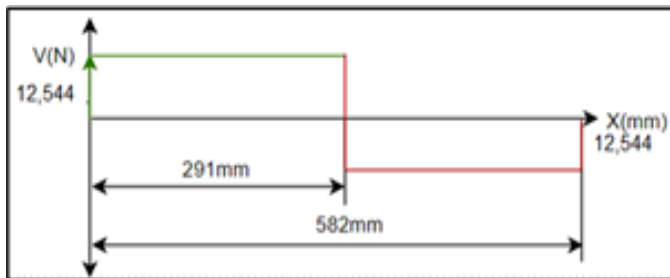
$$R_A + R_B = 25,088\text{N}$$

$$R_A = 25,088\text{N} - R_B \quad 25,088\text{N} - 12,544\text{N} = 12,544\text{N}$$

A partir de las reacciones calculadas se elabora el diagrama de esfuerzo cortante

### Figura 88.

*Diagrama de esfuerzo cortante del riel*



**Nota.** El diagrama de esfuerzo cortante permite observar en qué punto del elemento se concentra un mayor esfuerzo.

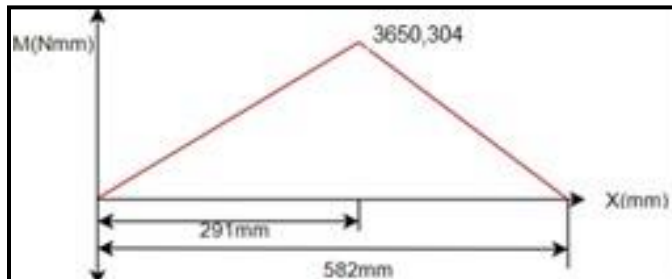
$$M_1 = M_2 = 291\text{mm} \times 12,544\text{N} = 3650,304\text{ Nmm}$$

A partir del método de áreas se establece el diagrama de momento flector de la figura

85

**Figura 89.**

*Diagrama de momento flector*

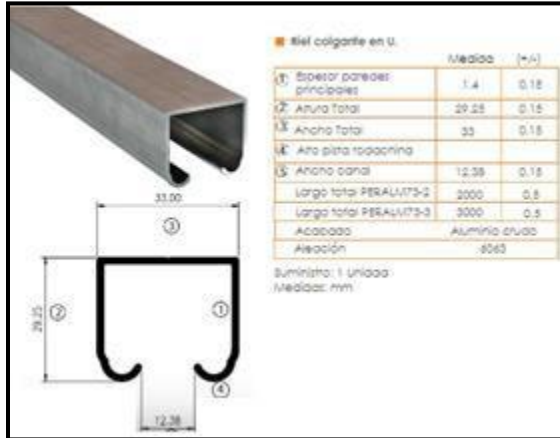


**Nota.** Mediante el diagrama de momento flector se establece el momento máximo sobre el elemento y el punto sobre el cual se genera.

Inicialmente, para establecer el perfil más adecuado se realiza el análisis con un perfil conocido, en este caso se selecciona uno con las siguientes características:

**Figura 90.**

*Características riel de aluminio*



**Nota.** La geometría y las características del riel peralm 73-2se tienen en cuenta para la aprobación de su inclusión en la aplicación y para la selección de elementos de unión atornillados. Tomado de: Madecentro (Bonuit). <https://issuu.com/madecentrocolombiasas/docs/peralm73-2-3>. [Acceso: sept.30,2020]

Teniendo en cuenta el material del riel (aluminio 6063) se establece el esfuerzo admisible

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6\text{pa}$$

Partiendo de que el área de sección transversal del riel es paralela a la dirección de la carga, el esfuerzo real del riel será:

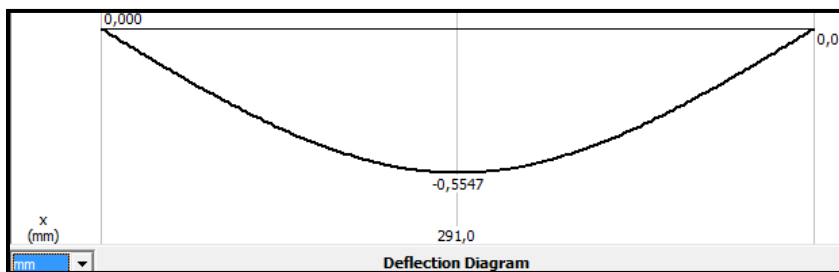
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{25,088N}{(0,0254m * 0,0254m) - (0,0244m * 0,0244m)} = 503775,1004Pa$$

El área de sección transversal se calculó como si se tratara de un perfil tubular cuadrado de 25,4mm x 25,4mm de 1,4mm de espesor.

Puesto que el esfuerzo real sobre el riel es menor al esfuerzo admisible del material, en materia de resistencia el perfil es adecuado para la aplicación. A continuación se establece la deflexión del riel bajo las condiciones de carga

### Figura 91.

*Deflexion del rie de aluminio*



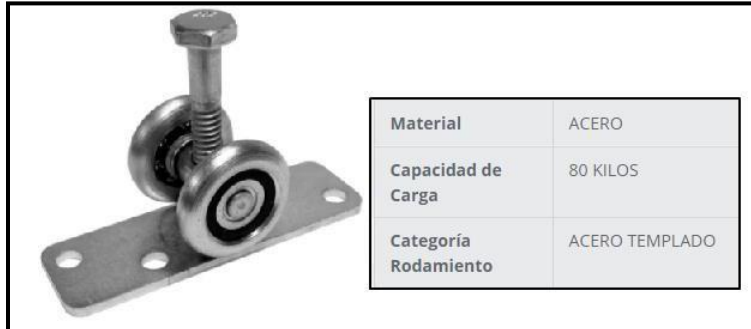
**Nota.** A partir de las características del material, las condiciones de carga y las dimensiones del riel se obtiene la deflexión del elemento. Tomado de MDsolids.

Aplicando criterio de deflexión de media precisión sobre el elemento, se obtiene que las dimensiones del riel y sus características son adecuadas.

El riel debe estar acompañado por un patín que estará sujeto a la placa móvil para que esta pueda desplazarse a lo largo del mismo, en base a esto y teniendo en cuenta la carga del conjunto entre placa móvil y los elementos que esta debe soportar (3,675kg) se seleccionó un patín con las siguientes características.

## Figura 92.

*Patín compatible con el riel seleccionado*



**Nota.** Cada riel posee una serie de ejemplares de patín que son compatibles o no, a partir de su geometría, en este caso el patín adecuado para el riel seleccionado es la corredera Closet -Eco 80. Tomado de: Homecenter (Ducasee Industrial).

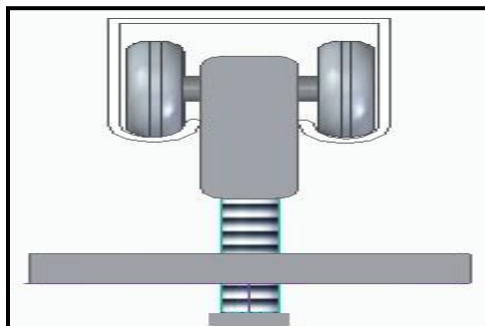
[En línea]. Disponible:

<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/281505/Corredera-Closet-Eco-80/281505> . [Acceso: sept.30,2020]

El montaje entre el patín y el riel seleccionado se muestra en la siguiente figura

## Figura 93.

*Montaje del patín con la corredera*

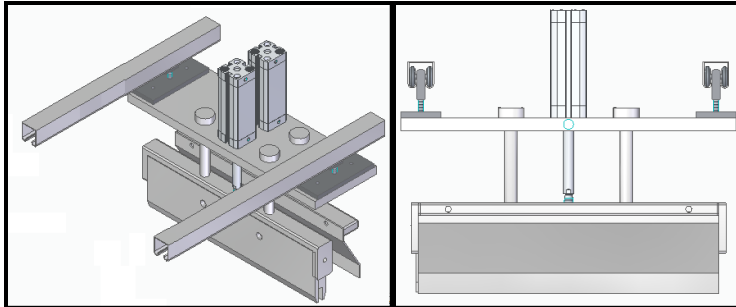


**Nota.** En la figura se evidencia cómo encaja el patín con el perfil del riel seleccionado.

Teniendo en cuenta el montaje del con el riel, el ensamble de la racleta móvil y el riel se referencia en la siguiente figura

**Figura 94.**

*Montaje del conjunto de la placa móvil los rieles de aluminio*



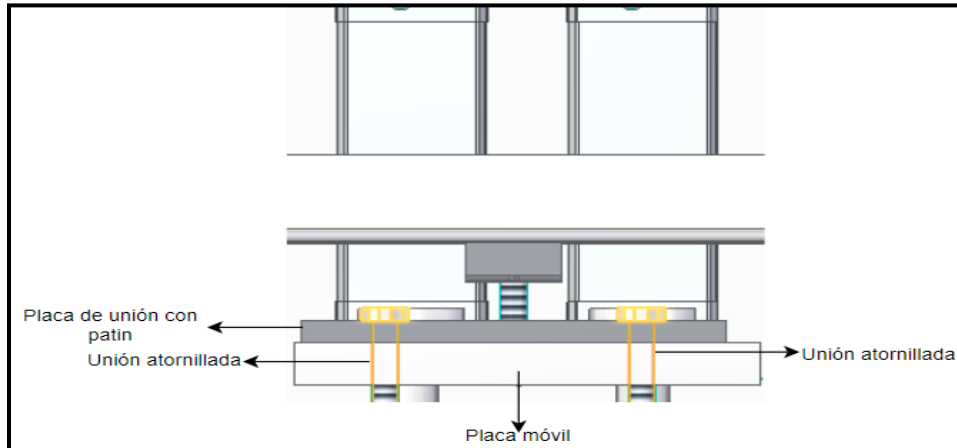
**Nota.** La inclusión del riel y el patín permite el desplazamiento del conjunto a lo largo de la distancia horizontal del perfil, la longitud del riel cubre toda el área de impresión presupuestada.

**Nota.** La inclusión del riel y el patín permite el desplazamiento del conjunto a lo largo de la distancia horizontal del perfil, la longitud del riel cubre toda el área de impresión presupuestada. Si bien el patín seleccionado para el riel cuenta con un tornillo lo suficientemente resistente compara soportar el peso del elemento móvil, se seleccionarán dos uniones atornilladas adicionales para garantizar la sujeción del elemento.

Como se evidencia en la siguiente figura, los elementos de unión roscados, están soportando el peso del conjunto de racleta móvil sometándose a un esfuerzo normal por una carga a tensión. Teniendo en cuenta se plantea el siguiente caso de estudio.

**Figura 95.**

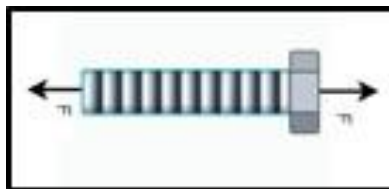
*Unión de la racleta móvil con el patín mediante uniones atornilladas*



**Nota.** El conjunto del patín está provisto con un elemento de unión roscada para realizar la fijación del ensamble, sin embargo, se añaden dos elementos más por patín para evitar desplazamientos angulares y garantizar la correcta sujeción.

**Figura 96.**

*Unión atornillada para el ensamble de patín y racleta móvil*



**Nota.** A partir del montaje se establece que el elemento está sometido a esfuerzo normal de tensión.

Donde F es la carga que ejerce la masa del conjunto de raqueta y placa recuperación (25,088N). Partiendo del caso de estudio planteado y de las características de los elementos roscados (Ver anexo 2) y se establece el diámetro mínimo requerido para la sujeción.

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{25,088N}{500E^{\epsilon}pa} = 5,0176E^{-8}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{5,0176E^{-8}m^2}{\pi}} = 1,2637E^{-4}m = 0,1263mm$$

$$\emptyset = 2r = 0,2527mm$$

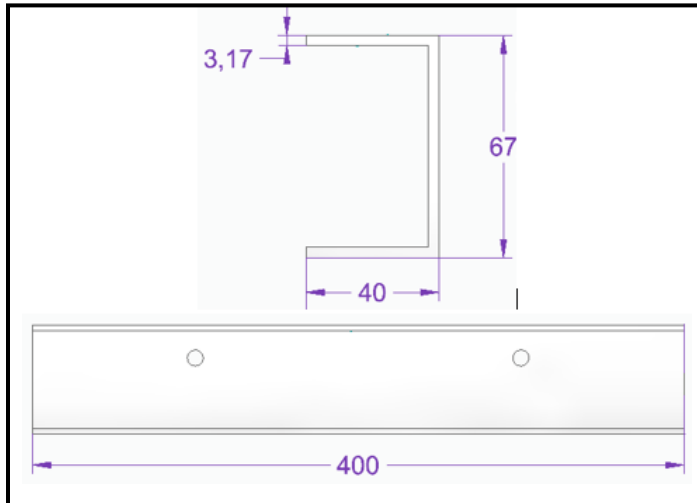
A partir del diámetro obtenido, es válido afirmar que con un tornillo de cabeza hexagonal de rosca M6 (ver anexo 2) y de 25 mm de longitud sería adecuado para la condición de carga. Sin embargo, para garantizar la correcta sujeción del elemento móvil con el patín se emplearán dos uniones de las características ya referenciadas.

4.1.1.1. Dimensionamiento del elemento de sujeción de marco. El elemento que le brinda sujeción al marco de impresión consiste en una lámina de aluminio 6061-O en forma de C con las dimensiones de la siguiente figura.



### Figura 97.

*Dimensiones del elemento de sujeción de marco*



**Nota.** Las unidades de la imagen están dadas en mm y son tomadas a partir del estudio del proceso realizado en la empresa.

Así mismo, se establece el peso del elemento de acuerdo al material como se muestra a continuación.

### Figura 98.

*Peso del elemento de sujeción de marco.*

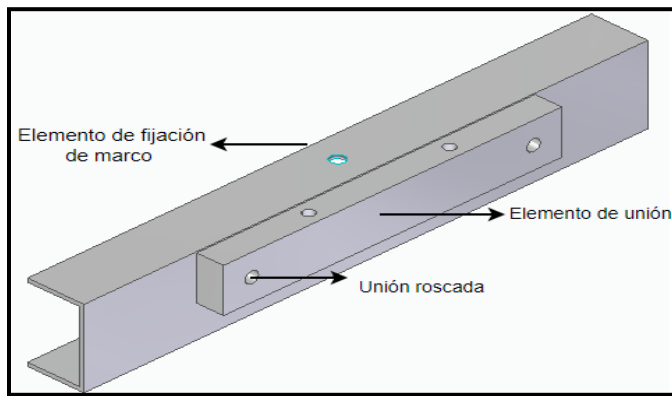
Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,482 kg	177609,966 mm <sup>3</sup>	115783,31 mm <sup>2</sup>

**Nota.** La masa del elemento se establece a partir de las dimensiones establecidas en la figura 93.

Con el propósito de conectar el elemento de fijación de marco con un mecanismo de desplazamiento vertical se emplea un elemento de unión como se muestra en la siguiente figura.

## Figura 99.

*Ensamble entre elemento de sujeción de marco y elemento de unión*

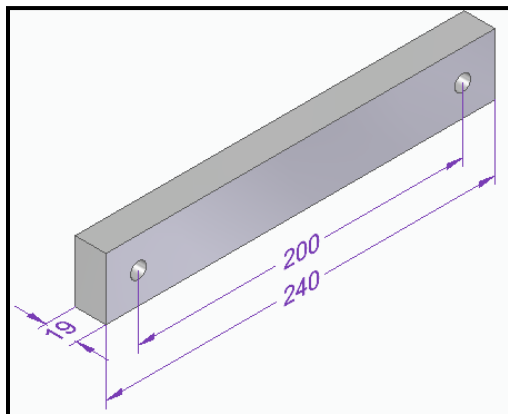


**Nota.** El elemento asocia el mecanismo de desplazamiento vertical del marco con el elemento que realiza la fijación.

El elemento de unión cuenta con las siguientes dimensiones y propiedades.

## Figura 100.

*Dimensiones del elemento de unión*



**Nota.** Las dimensiones del elemento se determinaron a partir de las dimensiones del elemento de sujeción de marco.

## Figura 101.

*Pesa del elemento de unión.*

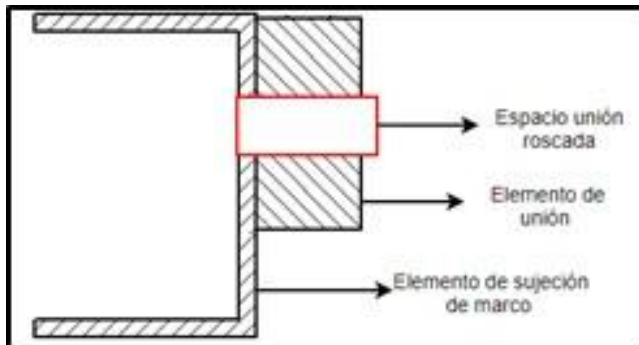
Sistema de coordenadas: Espacio modelo	Masa: 0,053 kg	Volumen: 19597,184 mm <sup>3</sup>	Área de superficie: 52595,33 mm <sup>2</sup>
---	-------------------	---------------------------------------	---

**Nota:** El peso del elemento se establece a partir de las dimensiones del mismo y del material (aluminio 6061-O).

Para el ensamble entre el elemento de unión y de fijación de marco se emplea el montaje de la siguiente figura, donde el elemento de unión se encuentra sometido a esfuerzo cortante generado por la masa del elemento de sujeción de marco.

## Figura 102.

*Montaje de la unión roscada para elemento de sujeción de marco y elemento de unión.*



**Nota.** Dadas las características de la unión, se establece que el elemento roscado está sujeto a esfuerzo cortante.

Analizando el elemento roscado a cortante se obtiene:

$$\tau = \frac{Ft}{A}$$

Donde:

Ft= Fuerza ejercida por las masas del elemento sujetador de marco y el marco de impresión

A=Área de sección transversal del elemento roscado

$\tau$ = Esfuerzo de fluencia del acero ( $320E^6Pa$ )

$$Ft = (M_{marco} + M_{ele. Sujecion marco}) * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$Ft = (0,6kg + 0,482kg) * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$Ft = 10,6036N$$

A partir de la fuerza obtenida y con las características del material (Ver anexo 2)

$$\sigma_y = 500E^6pa$$

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{10,6036N}{500E^6pa} = 2,1207E^{-8}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,1207E^{-8}m^2}{\pi}} = 8,2161E^{-5}m = 0,0821mm$$

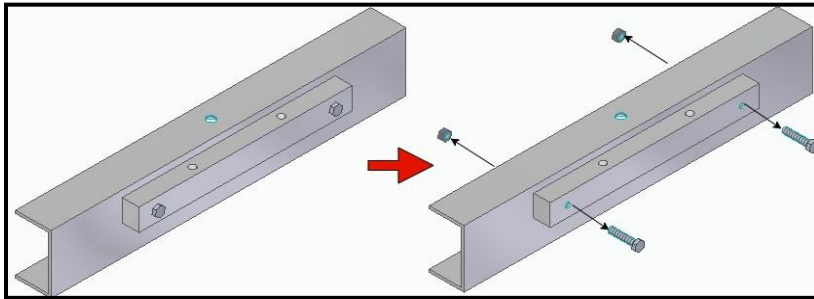
$$\phi = 2r = 0,16432mm$$

Con el diámetro obtenido, mediante una unión atornillada de diámetro de vástago y rosca M6 y 30 mm de longitud, sería suficiente para garantizar la unión a partir del esfuerzo que el tornillo va a soportar, sin embargo, para evitar el desplazamiento

angular de los elementos se emplean dos de estos elementos cuya longitud será de 30mm.como se muestra a continuación.

**Figura 103.**

*Montaje con unión atornillada.*

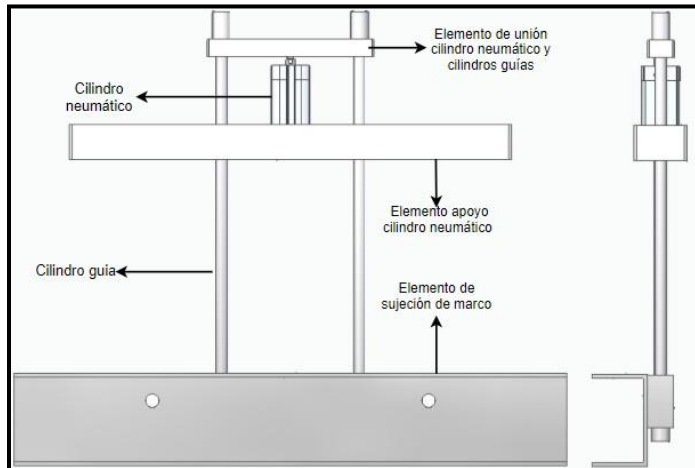


**Nota.** La unión se complementa mediante un par de tuercas de rosca M6.

Con el propósito de elaborar un mecanismo de desplazamiento vertical que permita posicionar el marco de impresión sobre la superficie de trabajo en cada ciclo de trabajo, se plantea el siguiente montaje:

**Figura 104.**

*Ensamble mecanismo de desplazamiento vertical de marco*



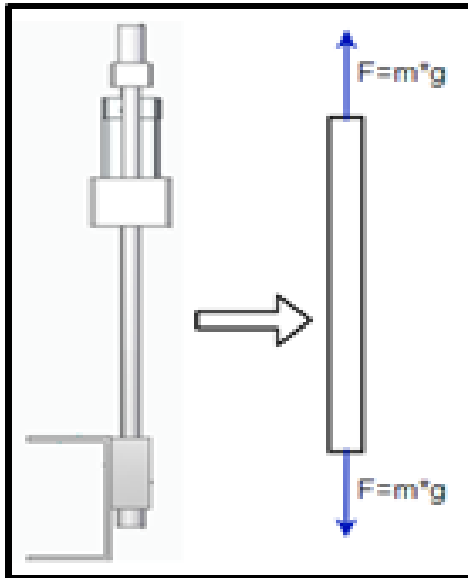
**Nota.** El mecanismo consiste en un cilindro neumático acoplado a dos barras guía que le permiten asociar el movimiento con el elemento de sujeción del marco.

Al estar acoplados, el elemento de sujeción de marco responde a la carrera del cilindro en posición vertical, haciendo que este ascienda y descienda sobre la superficie de trabajo.

4.1.1.m. Dimensionamiento de las barras cilíndricas guía. Además de asociar el recorrido del vástago del cilindro neumático con el elemento de sujeción del marco, las barras se encargan de brindar apoyo y soporte al desplazamiento y la carrera del actuador; teniendo en cuenta que estos elementos están en presencia de cargas ejercidas por la masa de los elementos conectados a estos, se plantea la siguiente situación.

## Figura 105.

*Caso de estudio cilindros de apoyo*



**Nota.** Debido a las características del montaje, la barra cilíndrica de apoyo está sometido a un esfuerzo normal a tensión, producido por la fuerza generada por la masa del marco y los elementos que le brindan sujeción.

Donde:

F= Fuerza de tensión sobre el elemento

M=Masa de total (Masa del marco, masa del elemento de sujeción del mismo y masa del elemento de unión)

g= Fuerza de gravedad

A partir del caso mostrado anteriormente, se obtiene

$$F = m * g$$

$$F = 1,135kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 11,123N$$

A partir de la fuerza determinada y utilizando aluminio 6061-O como material se obtiene:

$$\sigma_y = 55Mpa = 5,5E7pa$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7pa)$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{11,123N}{49,5E6pa} = 2,2470E-7m^2 = 0,22470mm^2$$

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,22470mm^2}{\pi}} = 0,5348 mm$$

Con el propósito de manejar barras de dimensiones comerciales, se utilizan barras de 8 mm de diámetro, a partir de esto la masa de cada cilindro guía sería:



## Figura 106.

Peso del cilindro de apoyo.

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,048 kg	17755,889 mm <sup>3</sup>	8605,61 mm <sup>2</sup>

**Nota.** Las dimensiones se establecen a partir de las dimensiones asignadas para el elemento. Tomado de Solid Edge.

4.1.1.n. Selección del actuador neumático. Para la selección del actuador neumático se tiene en cuenta la fuerza ejercida por la masa de los cilindros guías, el marco de impresión y los elementos de sujeción, los cuales conforman una masa total de 1,231kg.

La masa mencionada anteriormente en términos de fuerza correspondería a:

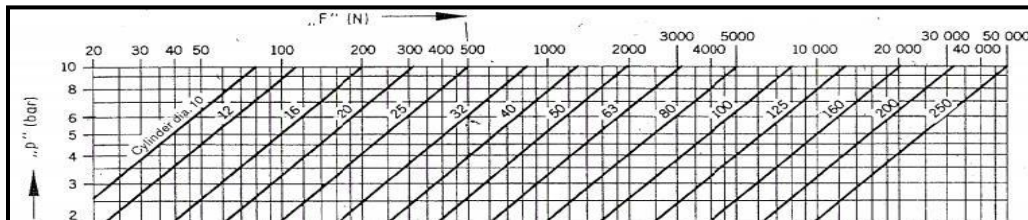
$$F = m * g$$

$$F = 1,231kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 12,0638N$$

Teniendo en cuenta la fuerza calculada anteriormente y la presión que suministra el compresor (4-8 PSI) se establece el actuador adecuado para esta aplicación.

## Figura 107.

Gráfica de selección de actuadores neumáticos



**Nota.** Al enfrentar la presión que otorga la fuente de aire comprimido con la fuerza necesaria para la aplicación se obtiene el diámetro del embolo del cilindro neumático. Tomado de nomogramas de neumática, Miguel Morales.

A partir de la gráfica mostrada anteriormente, se establece que el actuador adecuado para esta aplicación, debido a la baja fuerza que este debe ejercer, posee 10mm de diámetro de embolo como mínimo. Por lo tanto, es válido afirmar que, desde ese diámetro de émbolo en adelante, cualquier actuador de este tipo cumple bajo las condiciones de trabajo establecidas. A partir de esto y teniendo en cuenta la carrera necesaria para el proceso (20 mm), mediante el catálogo de cilindros compactos ADN/AEN, ISO 21287 de Festo se seleccionó el cilindro neumático adecuado, el cual se describe a continuación:

**Figura 108.**

*Características del cilindro neumático.*

Característica	Valor
Carrera	20 mm
Diámetro del émbolo	12 mm
Rosca del vástago	M5
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 21287
Extremo del vástago	Rosca exterior
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	51 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	68 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	9 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	12 g
Peso básico con carrera de 0 mm	77 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	2 g
Tipo de fijación	a elegir: con taladro pasante con rosca interior con accesorios
Conexión neumática	M5

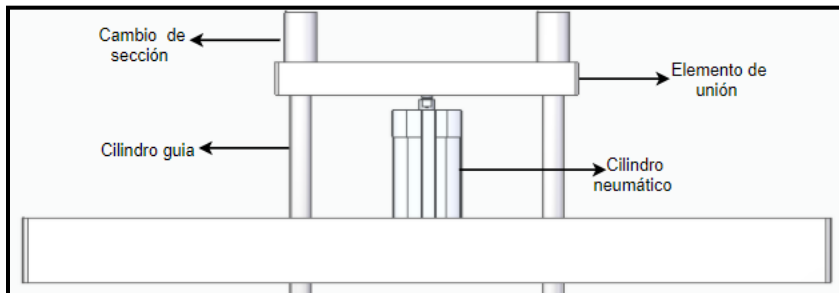
**Nota:** Características de funcionamiento y de montaje del cilindro seleccionado. Tomado de Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_ADN\\_AEN\\_1](https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_ADN_AEN_1).

4.1.1.o. Dimensionamiento del elemento de unión de cilindro neumático y cilindros guía. Con el fin de asociar el movimiento del vástago del cilindro neumático con los elementos guía, se establece el montaje de la siguiente figura, donde el cambio de sección transversal de las barras guía permite que el elemento de unión ejerza una

fuerza sobre el diferencial de área entre los diámetros menor y mayor de dichas piezas, permitiendo que este desplace el marco de impresión en dirección vertical.

**Figura 109.**

*Unión cilindro neumático y cilindros de apoyo*

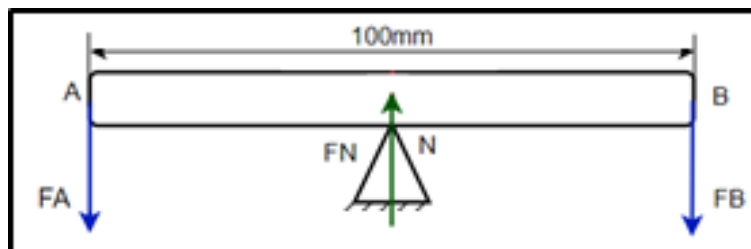


**Nota.** La figura representa las características del montaje con el cual se asocian los movimientos verticales de los cilindros base y el cilindro neumático.

Teniendo en cuenta las masas de las barras y de los elementos que sostienen, así como la fuerza del actuador sobre el elemento de unión se obtiene la siguiente situación:

**Figura 110.**

*Planteamiento situación problema elemento de unión*

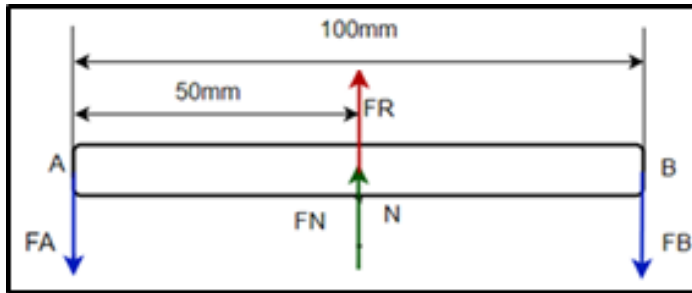


**Nota.** Se analiza el elemento como una viga apoyada en el centro, donde las cargas en sus extremos representan el peso de los cilindros base y los elementos que soportan.

Mediante la situación planteada, se obtiene el diagrama de cuerpo libre:

**Figura 111.**

*Diagrama de cuerpo libre del elemento de unión.*



**Nota.** En el punto en donde se tiene el apoyo se genera la reacción sobre el eje Y.

Donde:

$F_A - F_B$  = Fuerzas ejercidas por las masas de las barras guía, el marco y los elementos de sujeción del mismo distribuida en ambos puntos de manera uniforme:

$$F_A = F_B = \frac{12,0638N}{2} = 6,0319N$$

$F_n$  = Fuerza ejercido por el vástago del cilindro sobre el elemento de unión (68N).

$F_R$  = Fuerza de reacción en el apoyo.

A partir de las fuerzas obtenidas y previamente establecidas, se plantean las siguientes ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-F_A - F_B + F_R + F_N = 0$$

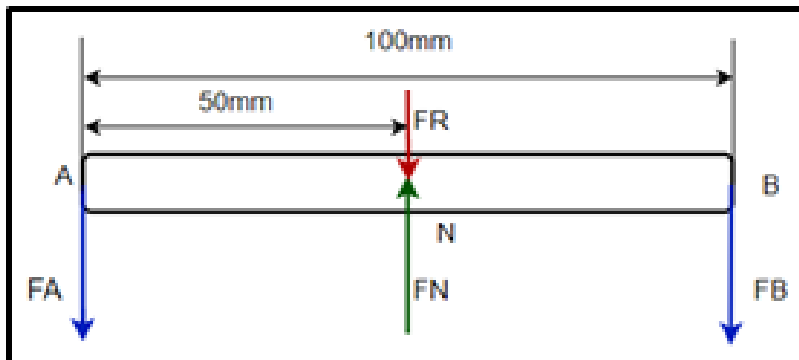
$$F_R = F_A + F_B - F_N$$

$$FR = 6,0319N + 6,0319N - 68N = -55,9362$$

Corrigiendo el sentido de FR:

**Figura 112.**

*Diagrama de cuerpo libre corregido el elemento de unión*

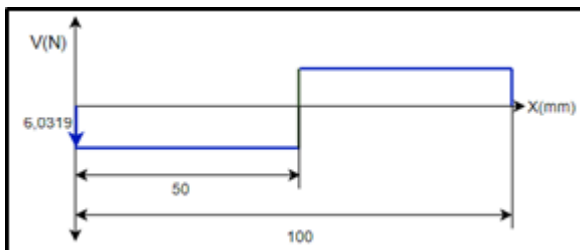


**Nota.** Para realizar el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector de manera adecuada, se posicionan las cargas en el sentido real.

A partir del diagrama anterior se obtienen los siguientes diagramas:

**Figura 113.**

*Diagrama de esfuerzo cortante:*



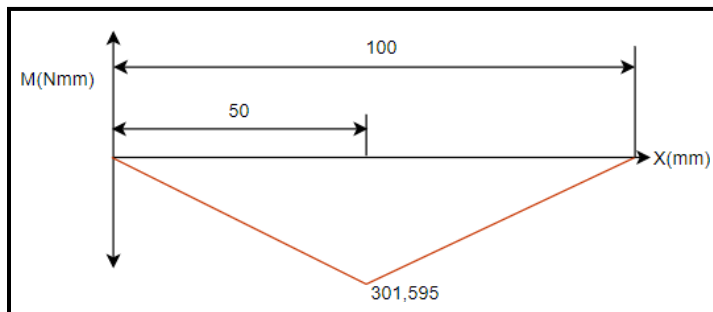
**Nota.** Teniendo en cuenta las fuerzas calculadas se obtiene el diagrama de esfuerzo cortante, estableciendo el punto crítico del elemento.

$$M_1 = M_2 = 50\text{mm} * 6,0319\text{N} = 301,595 \text{ Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector y el momento flector máximo.

**Figura 114.**

*Diagrama de momento flector:*



**Nota.** Mediante el diagrama se obtiene el momento flector máximo para dimensionar el elemento.

Para el diseño del elemento de unión se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E^7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E^7\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E^6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{Mfmax}{\sigma adm} = \frac{0,3015Nm}{49,5E6pa} = 6,0909E^{-7}$$

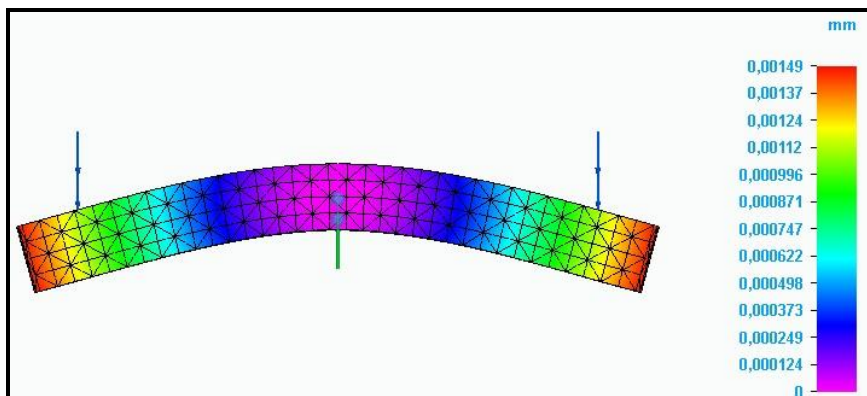
$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 1,3517E^{-3}mm = 1,3517mm$$

Con el fin de lograr un buen acople entre el elemento de unión y el cilindro neumático, se establece un espesor de placa de 12,7 mm, teniendo en cuenta la rosca del vástago del cilindro en cuestión, cuya longitud es de 9 mm, se calcula la deflexión de este mediante el método por elementos finitos:

### Figura 115.

*Deflexión sobre el elemento de unión*



**Nota.** Mediante un análisis por elementos finitos, se establece la deflexión máxima sobre elemento, mediante este criterio establecer si el esfuerzo es permitido o no.

Evaluando la deflexión con un criterio de precisión media, las dimensiones del elemento son las adecuadas, puesto que la deflexión calculada se encuentra dentro del rango.

**Figura 116.**

*Peso del elemento de unión*

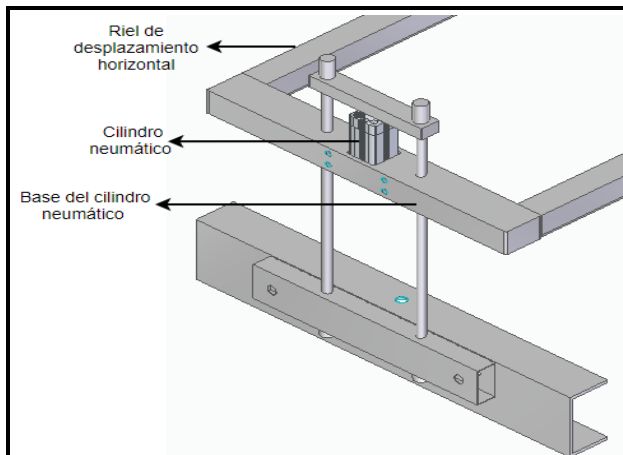
Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	0,075 kg	27511,275 mm <sup>3</sup>	8630,05 mm <sup>2</sup>

**Nota.** A partir de las dimensiones establecidas y las propiedades del material se determina el peso del elemento. Tomado de Solid Edge.

4.1.1.p. Diseño base del cilindro neumático. El elemento en cuestión cumple varias funciones, inicialmente se encarga de hacer de apoyo para el actuador neumático que se encarga de subir y bajar el marco, así mismo, es un punto de apoyo para las barras guía de dicho sistema. Por último, será el elemento que sirva de unión entre el mecanismo del marco y los rieles de desplazamiento horizontal, completando el cabezal de impresión como se muestra a continuación.

**Figura 117.**

*Ensamble base de cilindro neumático*



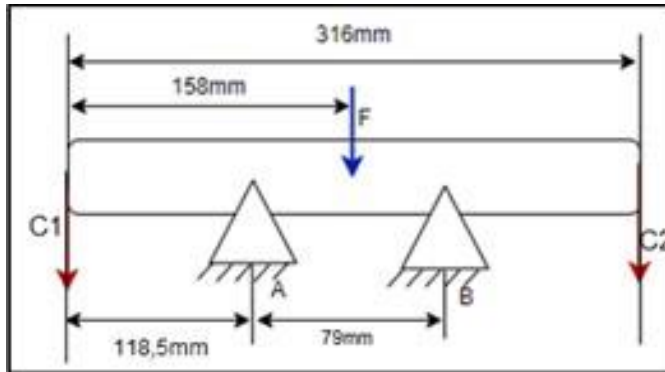
**Nota.** El elemento base de cilindro neumático se conoce como la pieza central del ensamblaje, puesto que en él se apoya el dispositivo que ejerce el movimiento sobre los demás que componentes del mecanismo.



A partir de las características del montaje plantea la siguiente situación problema

**Figura 118.**

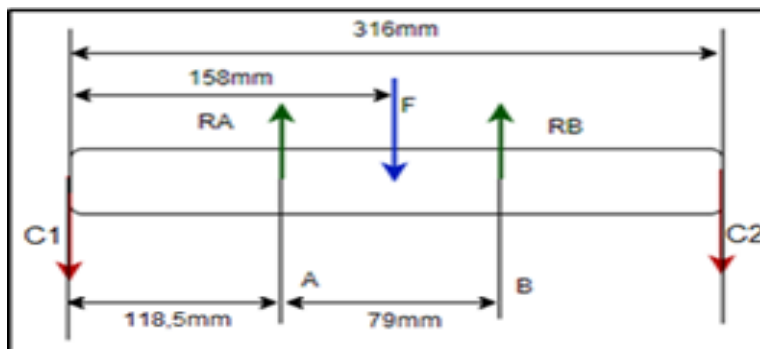
*Situación problema base cilindro neumático*



**Nota.** A partir del ensamble mostrado en la figura 121 se plantea el caso de estudio en el cual se analiza el elemento como una viga apoyada en los puntos A y B.

**Figura 119.**

*Diagrama de cuerpo libre de la base del cilindro neumático.*



**Nota.** En los puntos en donde se apoya el elemento se generan las reacciones cuya componente se encuentra únicamente sobre el eje Y.

Donde:

C1 – C2 = Fuerzas ejercidas por las masas de los rieles de desplazamiento horizontal y los elementos que soporta. Teniendo en cuenta que el peso de los rieles y que su mecanismo de avance está soportado por dos estructuras iguales en dos puntos, la carga real será.

$$C1 = C2 = \frac{M_{riel} + M_{conjunto}}{2} * g = \frac{0,150kg + 5,120kg}{2} * 9,8 \frac{m}{s^2} = 25,823N$$

F = Fuerza ejercido por la masa del cilindro neumático y los elementos que soporta.

$$F = 1,482kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 14,5236N$$

RA-RB = Reacciones en los apoyos

A partir de las fuerzas obtenidas, se plantean las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum FY = 0$$

$$RA + RB - F - C1 - C2 = 0$$

$$RA + RB = F + C1 + C2$$

$$RA + RB = 14,5236N + 25,823N + 25,823N$$

$$RA + RB = 66,1696N$$

$$\sum MA = 0$$

$$(C1 \times 118,5mm) - (F \times 39,5mm) + (RB \times 79mm) - (C2 \times 197,5mm) = 0$$

$$(25,823N \times 118,5mm) - (14,5236 \times 39,5mm) + (RB \times 79mm) - (25,823N \times 197,5mm) = 0$$

$$RB \times 79mm = 2613,6992Nmm$$

$$R_B = \frac{2261,8519 Nmm}{79mm} = 33,0848N$$

$$R_A + R_B = 66,1696N$$

$$R_A = 66,1696N - R_B$$

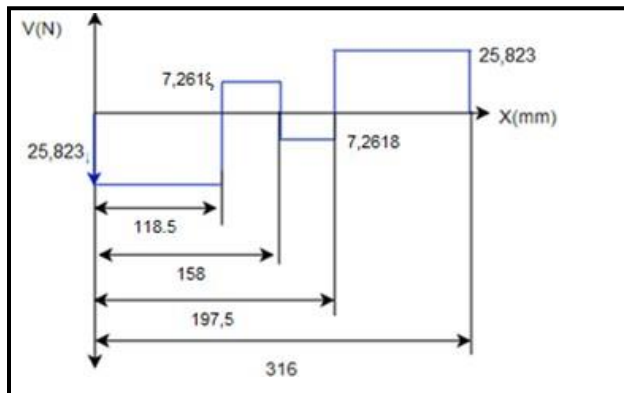
$$R_A = 66,1696N - 33,0848N$$

$$R_A = 33,0848N$$

Con las reacciones calculadas se elabora el diagrama de esfuerzo cortante:

**Figura 120.**

*Diagrama de esfuerzo cortante*



**Nota.** Mediante el diagrama de esfuerzo cortante se establece el punto sobre el cual el elemento sufre más por la presencia de las cargas.

$$M_1 = 118,5mm * 25,823N = 3060,0255 Nmm$$

$$M_2 = 39,5mm * 7,2618N = 286,8411 Nmm$$

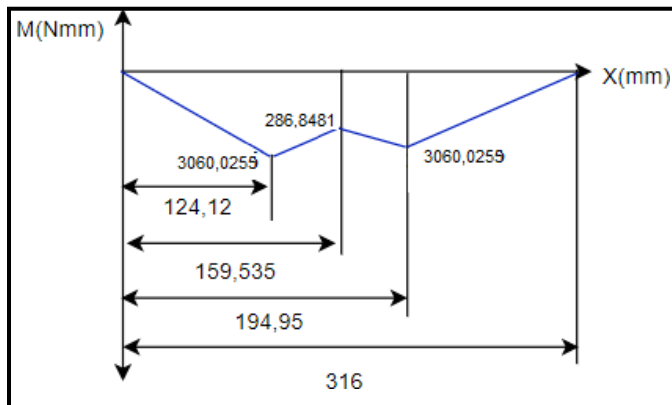
$$M_3 = 39,5mm * 7,2618N = 286,8411 Nmm$$

$$M_4 = 118,5\text{mm} * 25,823\text{N} = 3060,0255 \text{ Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo:

**Figura 121.**

*Diagrama de momento flector.*



**Nota.** Mediante el diagrama de momento flector se determina el momento máximo para realizar el dimensionamiento a partir de este valor.

Para el diseño del elemento de unión se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E^7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E^7\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E^6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{Mf_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{3,0600Nm}{49,5E^6pa} = 6,1818E^{-8}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

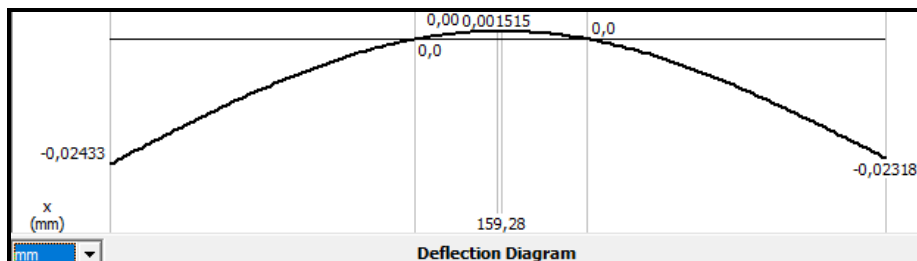
$$h = 3,2553E^{-3}m = 3,2553mm$$

Para lograr un buen acople entre la base del cilindro y el perfil del riel empleado para el desplazamiento horizontal de la racleta, se establece un espesor de placa de 25,4 mm.

Una vez establecido el espesor del elemento se determina la deflexión sobre este:

### Figura 122.

*Deflexión del elemento base del cilindro*



**Nota.** La deflexión del elemento se obtiene a partir de las propiedades del material y las cargas que actúan sobre él. Tomado de MDsolids.

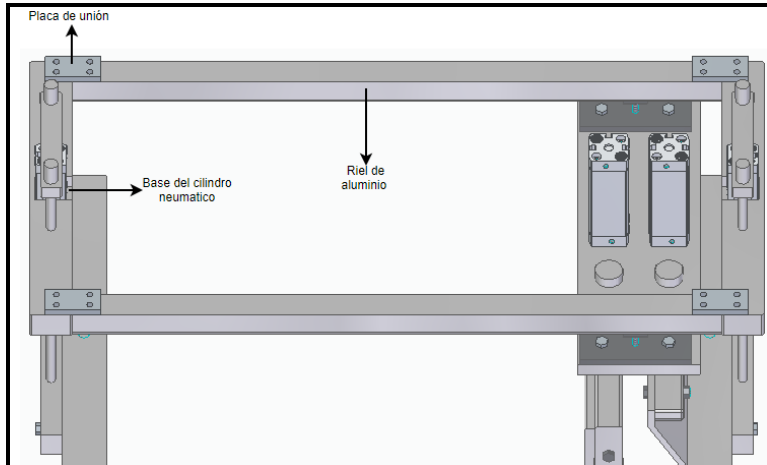
Evaluando con el criterio de alta precisión, la deflexión sobre el elemento es la adecuada dado que se mantiene dentro del rango establecido

4.1.1.q. Cálculo de la unión del riel de aluminio. Para unir el riel de aluminio con el mecanismo de sujeción de marco, se emplea el siguiente arreglo, donde la placa de

unión se encuentra fija tanto al riel de desplazamiento vertical como a la base del cilindro neumático de movimiento del marco, en este caso, dado que la base estará soportada por otros elementos que se mostrarán posteriormente.

**Figura 123.**

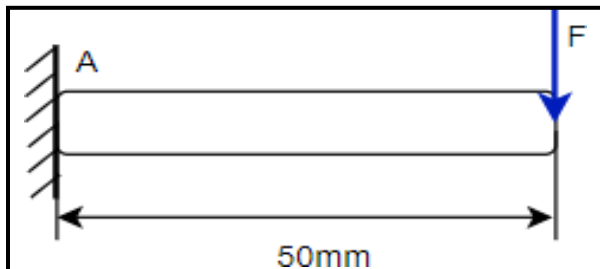
*Ensamble de riel de aluminio*



**Nota.** Para ensamblar los rieles de aluminio con los mecanismos de desplazamiento del marco, se emplean placas de unión como se muestra en la anterior figura.

**Figura 124.**

*Caso de estudio placa de unión*

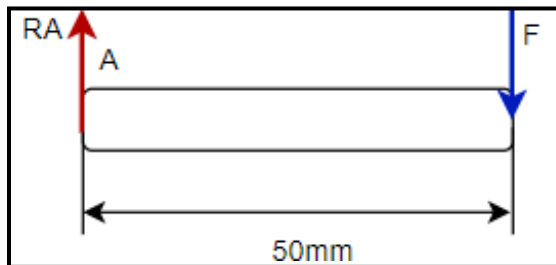


**Nota.** Para establecer las dimensiones de la placa de unión, esta se analiza como una viga empotrada en un extremo.

Donde, realizando el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

**Figura 125.**

*Diagrama de cuerpo libre.*



**Nota.** La única reacción de genera en el empotramiento, en este cado en la sección donde se conecta la placa con la base del cilindro neumático.

Donde:

F Fuerzas ejercidas por las masas de los rieles de desplazamiento horizontal y los elementos que soporta (25,823N)

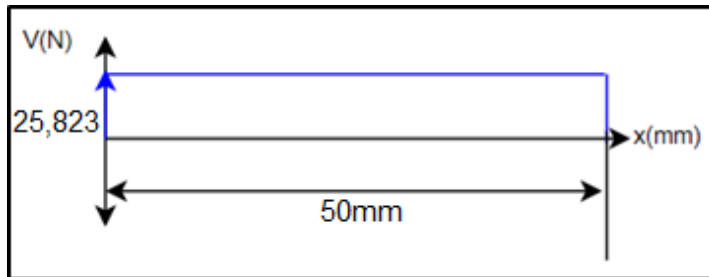
Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene

$$RA = F = 25,823N$$

Realizando el diagrama de esfuerzo cortante a partir de la carga calculada:

**Figura 126.**

*Diagrama de esfuerzo cortante*



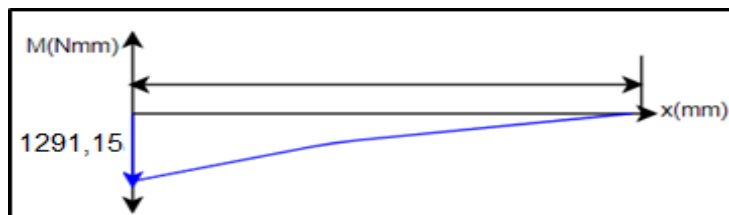
**Nota.** Mediante el diagrama de esfuerzo cortante se establece el punto sobre el cual el elemento sufre más por la presencia de la carga.

$$M1 = 50mm * 25,823N = 1291,15Nmm$$

Mediante El método de las áreas se obtiene el diagrama de momento flector:

**Figura 127.**

*Diagrama de momento flector de la placa de unión*



**Nota.** Mediante el diagrama de momento flector se determina el momento máximo para realizar el dimensionamiento a partir de este valor.

Para el diseño del elemento se consideran las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55Mpa = 5,5E7pa$$



$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E^7pa)$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{1,291Nm}{49,5E^6pa} = 2,6080E^{-8}$$

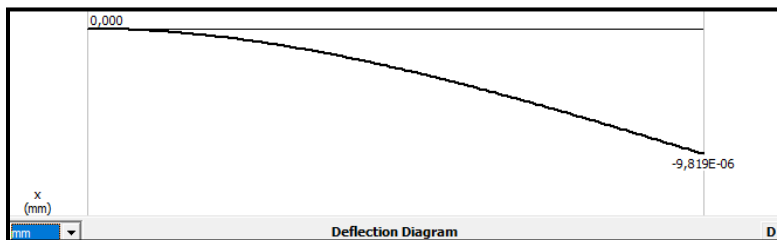
$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 1,7690E^{-3}m = 1,7690mm$$

El espesor calculado se aproxima a un espesor de lámina de aluminio más comercial, en este caso 2 mm, con este nuevo valor se determina la deflexión del elemento como se muestra a continuación:

### Figura 128.

*Deflexión de la placa de unión*



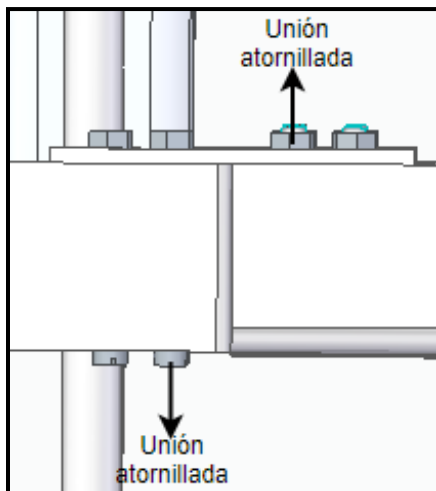
**Nota.** La deflexión del elemento se obtiene a partir de las propiedades del material y las cargas que actúan sobre él. Tomado de MDsolids.

Comparando con una deflexión permisible de media precisión, las dimensiones del elemento son las adecuadas ya que la deflexión del elemento está dentro del rango

4.1.1.r. Cálculo de la unión atornillada. Como se evidencia en la imagen mostrada a continuación, los elementos de unión roscados, están soportando el peso del riel y del sistema móvil como una carga a tensión sobre estos, para el dimensionamiento se emplea la carga con la que se estableció el espesor de la placa de unión en la sección anterior (25,823N). teniendo en cuenta el montaje de la siguiente figura.

### Figura 129.

*Ubicación de las uniones atornilladas sobre el riel y la base del cilindro.*



**Nota.** El ensamble mostrado en la figura anterior se realiza en los cuatro puntos de conexión del riel y la base del cilindro, para garantizar una correcta fijación.

Teniendo en cuenta que el elemento está sometido a esfuerzo normal por la carga a tensión que soporta y con las siguientes características obtenidas del catálogo (Ver anexo 2) se obtuvo:

$$\sigma_y = 3,1E^{11}pa$$

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{25,823N}{3,1E^{11}pa} = 8,33E^{-11}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{8,33E^{-11}m^2}{\pi}} = 5,1492E^{-6}m = 5,1492E^{-3}mm$$

$$\phi = 2r = 0,01029mm$$

A partir del diámetro obtenido, es válido afirmar que con un tornillo zincado de 10 mm de longitud para la sección del riel y de 30 mm para el soporte del cilindro, ambos con una designación de rosca M3 (ver anexo 2) serían adecuados para la condición de carga

4.1.1.s. Diseño del subsistema de dosificación. Para el diseño de este subsistema, es necesario comprender las características físico-químicas que posee la tinta de trabajo, donde, para el caso de la empresa, el tipo de tinta utilizada para la impresión sobre prendas textiles es el plastisol. Por lo tanto, al recurrir a la ficha técnica proporcionada por la empresa Plastilit S.A, se encontró que:

A presión atmosférica, temperatura ambiente y por tubería de 2 mm de diámetro tarda en fluir una distancia de 5000 mm de 35-40 segundos. De acuerdo a estos datos obtenidos, es posible determinar las dimensiones que debe tener la manguera para obtener un flujo adecuado de tinta. Es importante agregar que el sistema de

dosificación de tinta debe estar anclado al collar que soporta la racleta, por lo tanto, la manguera debe poseer la flexibilidad y longitud adecuada (Ver anexo 3).

Adicionalmente, al realizar un estudio de las cantidades de tinta que maneja la empresa para sus aplicaciones, se evidencia que no se posee una medida estándar para una impresión, puesto que esta condición varía respecto a un conjunto de variables como los son: el tamaño del diseño a imprimir y la cantidad de prendas a trabajar. No obstante, el tipo de almacenaje que la empresa maneja viene dado por embaces de 1 Kg de tinta, por esto es adecuado que el contenedor que va a ir anclado a la máquina debe tener la capacidad de almacenar esta cantidad de plastisol. Además, es preciso indicar que el modo de control para el paso de tinta se va a realizar mediante una válvula de paso neumática manipulada por un pulsador en el panel de control de la máquina, puesto que es recomendable que el operario deposite la cantidad de tinta que él vea adecuada para el tipo de diseño y la cantidad de prendas que se estén manejando en ese momento.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron las siguientes dimensiones tanto para el contenedor, como para la manguera que se debe seleccionar:

Para el cálculo del volumen que debe poseer el tanque donde se va a depositar la tinta, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

m= masa

$\rho$ = densidad

De acuerdo a la información proporcionada por la ficha técnica del plastisol y la cantidad de material adquirido por la empresa, se reemplaza:

$$V = \frac{1000gr}{1,3gr/cm^3}$$

$$V = 769,23cm^3$$

Una vez obtenido el volumen que contiene 1kg de plastisol, se procede a dimensionar el contenedor cilíndrico teniendo como base el área de la circunferencia del mismo, obteniendo la siguiente expresión:

$$V = h * \frac{\pi}{4} d^2$$

Donde:

V = volumen del cilindro.

h = altura del cilindro.

d = diámetro de la base.

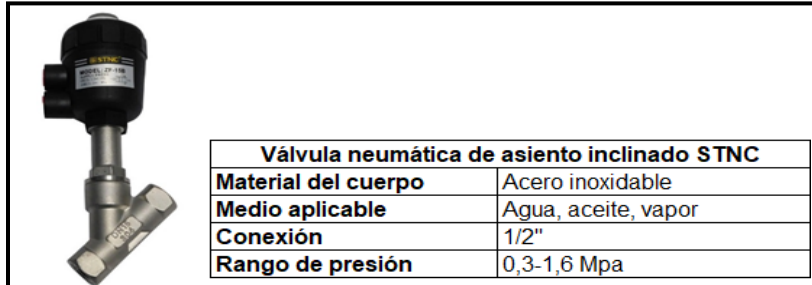
Despejando la altura para un diámetro de 8cm y llevando el volumen a un valor redondeado, se obtiene la siguiente altura:

$$h = \frac{770cm^3}{\frac{\pi}{4} (8cm)^2} = 15,31cm \approx 16cm$$

Como siguiente paso se debe seleccionar el dispositivo que le permitirá el paso de tinta hacía la malla con el diseño, donde, para este tipo de aplicaciones y sabiendo que la empresa cuenta con un sistema de aire comprimido, se sugiere seleccionar una válvula neumática de asiento inclinado con las siguientes características:

## Figura 130.

*Válvula de paso de asiento inclinado*



**Nota.** Representación gráfica de una válvula de paso de asiento inclinado. Tomado de SeteferLTDA. [En línea]. Disponible:

[http://www.setefer.com/index.php?page=shop.product\\_details&product\\_id=291&flypage=flypage.tpl&pop=0&option=com\\_virtuemart&Itemid=29](http://www.setefer.com/index.php?page=shop.product_details&product_id=291&flypage=flypage.tpl&pop=0&option=com_virtuemart&Itemid=29) . [Acceso: oct.3,2020]

Ahora bien, a partir de las dimensiones de conexión para la válvula, se selecciona una manguera de 12,7 mm de diámetro, además de esto se realiza la relación de tiempos de acuerdo a los datos encontrados en la ficha técnica de la tinta, donde se tiene la siguiente relación:

- Presión= 101.3kpa, Diámetro de tubería de 2mm y una distancia de 5000 mm, el tiempo que tarde en llegar al final de la tubería es de 40 segundos.
- Cambiando el diámetro de tubería de 2 mm a 12,7 mm, se estima que tarde 3-4 segundos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se selecciona una manguera para líquidos con posibilidad de conexión para válvula de asentamiento de 12,7 mm consiguiendo el siguiente tipo de manguera:

## Figura 131.

### *Manguera para líquidos*



**Nota.** Manguera para líquidos.

Tomado de:

Vikan <https://www.vikan.com/es/productos/pistolas-de-agua-y-mangueras/93315/manguera-de-agua-fr%C3%ADa-12-q-10000-mm-blanco>. [Acceso: oct.3,2020]

## 4.2. Diseño del sistema de fijación y secado

En este ítem se realizarán los cálculos correspondientes al diseño de los elementos que lo componen. Para esto, se deben tener en cuenta diferentes parámetros, desde las dimensiones que debe poseer la plancha para que esta cubra en su totalidad los diseños que se han de trabajar, hasta la transferencia de calor desde la fuente de energía hasta las prendas textiles, siendo esta precisa, puesto que para realizar el termo curado del plastisol, la temperatura a la que debe ser expuesta es de 200°C constantes durante un tiempo de 15 segundos.

Por otro lado, este sistema debe contar con un subsistema que le suministre presión a la plancha térmica, dado que, para una mejor obtención del acabado, las prendas deben ser sometidas a una determinada fuerza. Por lo tanto, la selección del actuador neumático debe ser oportuna. Por último y teniendo en cuenta el subsistema anterior, la selección del aislante para la protección de este debe ser el más adecuado, ya que la transferencia de calor por conducción puede afectar la durabilidad de los componentes neumáticos.

#### **4.2.1. Diseño del subsistema de calentamiento y transferencia de calor**

Para este subsistema es de gran importancia la selección de una fuente de generación de calor que brinde una temperatura constante y tenga la posibilidad de ser controlada mediante dispositivos electrónicos. Teniendo en cuenta lo mencionado anterior y a partir de los datos obtenidos de las máquinas termo fijadoras utilizadas en la industria, la fuente de energía más confiable para este tipo de aplicación son las resistencias termoeléctricas.

Ahora bien, el siguiente factor que es de vital importancia antes de seleccionar el tipo de resistencia a implementar, es el tipo de elemento calefactor que va a estar en contacto con las prendas textiles, donde, por sus propiedades conductivas, el aluminio es de los materiales más utilizados para planchas calefactoras. Una vez seleccionado el material, las dimensiones que este debe tener van de acuerdo con la superficie a cubrir, donde, de acuerdo a los datos obtenidos en la empresa, corresponden a 53x42 cm y un espesor de 12,7 mm. Con estos datos es posible determinar el volumen que tiene la placa, puesto que este es necesario para la selección de la resistencia.

$$V = 53\text{cm} * 42\text{cm} * 1,27\text{cm}$$

$$V = 2827,02 \text{ cm}^3$$

Ya teniendo el valor del volumen de la placa calefactora, es posible obtener el peso que posee esta placa:

$$m = V * \rho = 2,827e^{-3}\text{m}^3 * 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$m = \text{masa del objeto}$

$\rho = \text{densidad del aluminio}$

$$m = 7,63 \text{ kg}$$



El siguiente paso es calcular la energía necesaria para poder calentar la placa a la temperatura de trabajo, donde se utiliza la siguiente ecuación: [17]

$$E_{placa} = \frac{V * \rho * Cp * (T2 - T1) * 1,2}{860 * T}$$

$V = \text{volumen a calentar [dm}^3\text{]}$

$\rho = \text{densidad } \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}\right]$

$Cp = \text{calor específico } \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right]$

$T2 = \text{Temperatura final del elemento calefactor } [^\circ\text{C}]$

$T1 = \text{Temperatura inicial del elemento calefactor } [^\circ\text{C}]$

1,2 =

*coeficiente de seguridad considerando tolerancias sobre la tensión del lugar.*

$T = \text{Tiempo de calentamiento [horas]}$

$$E_{placa} = \frac{2,7825\text{dm}^3 * 2,77\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * 0,241\frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (200^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * 1,2}{860 * 0,5\text{horas}}$$

$$E_{placa} = 0,93\text{KW}$$

Sin embargo, es necesario tener en cuenta la pérdida de calor por convección natural del ambiente al que va a estar expuesto, puesto que la locación de la empresa es Bogotá, se tiene en cuenta la temperatura promedio de un día para esta ciudad, donde la temperatura está alrededor de los 20°C. Por esto, se realiza el siguiente análisis de transferencia de calor por convección: [18]

$$q = h_s * A * (Ts - T\infty)$$

Donde:

$q =$  transferencia de calor.

$h_s =$  coeficiente de transferencia de calor por convección.

$A =$  área transversal del objeto.

$T_s =$  Temperatura de la superficie.

$T_\infty =$  Temperatura del ambiente convectivo.

En primer lugar, es necesario obtener el valor de  $h_s$ , donde se tiene en cuenta el hecho de que es una transferencia de calor por convección natural, se utiliza la siguiente expresión:

$$h_s = \frac{K_{aire}}{L} * Nu$$

$K_{aire} =$  Coeficiente de conductividad térmica del aire.

$L =$  Lado más largo del objeto.

$Nu =$  número de Nusselt.

En segundo lugar, es necesario obtener el valor del número de Nusselt, el cual viene dado según el resultado del número de Rayleigh, cuya expresión es la siguiente:

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L^3}{\alpha * \nu}$$

$g =$  gravedad.

$\beta =$  coeficiente de expansión volumétrica

$\alpha =$  coeficiente de difusividad térmica.

$\nu =$  viscosidad cinemática.

Tomando los valores correspondientes a las características del aire ambiente se obtiene:

$$Ra = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 4,2014e^{-4}K^{-1} * (473,15K - 293,15K) * (0,53m)^3}{9,88e^{-5}m^2/s * 1,46e^{-5}m^2/s}$$

$$Ra = 74,36e^6$$

Ahora, para poder determinar el número de Nusselt, se utiliza la expresión según el valor de Ra obtenido.

Sí ( $10^4 < Ra < 10^9$ ) entonces Nu:

$$Nu = C1 * Ra^{1/4}$$

Para efectos de la disposición de la lámina calefactora de manera horizontal con la superficie inferior caliente, el valor de C1 corresponde a 0,27. Por lo tanto:

$$Nu = 0,27 * (74,36e^6)^{1/4}$$

$$Nu = 25,072$$

Finalmente se procede a reemplazar los valores en las primeras ecuaciones planteadas y obtener el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$h_s = \frac{0,024W/mK}{0,53m} * 25,072$$

$$h_s = 1,09W/m^2K$$

$$q = 1,09 \frac{W}{m^2K} * (0,53m * 0,42m) * (200^\circ C - 20^\circ C)$$

$$q = 43,67W = 0,0436KW$$

Para que la resistencia que se seleccione tenga en cuenta las pérdidas por convección natural, se debe sumar la energía brindada a la placa y la energía perdida por convección, con esto, se tiene un margen para no sobre cargar la resistencia eléctrica.

$$E_{total} = E_{placa} + q_{convección}$$

$$E_{total} = 0,93KW + 0,0436KW = 0,9736KW$$

El valor de  $E_{total}$  corresponde a la cantidad de energía que debe ser capaz de manejar la resistencia eléctrica a seleccionar, por lo tanto, al recurrir a los catálogos de resistencias eléctricas mediante este valor de entrada se seleccionó una resistencia adecuada. (Ver anexo 4)

Como siguiente paso, es necesario la selección y dimensionamiento del aislante que va a estar en contacto con las piezas de sujeción del sistema de calentamiento, donde además se encuentra el subsistema neumático para la generación de presión. Por consiguiente, se estima que la temperatura a la que debe estar esta superficie, debe ser igual a la del ambiente. Ahora bien, para determinar el espesor necesario que debe poseer el aislante se realiza un análisis por conducción según la ley de Fourier:

$$q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Según los datos tomados en el capítulo dos, donde se encuentra información acerca de las termo fijadoras, en su gran mayoría utilizan como aislante la fibra de vidrio gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica ( $K=0,04 \text{ W/mK}$ ), reemplazando este valor en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$930W = -0,04 \frac{W}{mK} * (0,53m * 0,42m) * \frac{(20^{\circ}C - 200^{\circ}c)}{\Delta X}$$

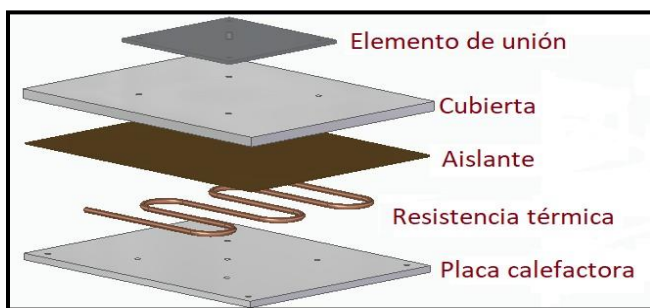
$$\Delta X = 1,723e^{-3}m = 1,72mm$$

Este espesor corresponde al mínimo que debe poseer la fibra de vidrio con el fin de tener una temperatura ambiente al otro costado de la fuente de energía. Los elementos

que se encuentran ubicados en este costado tienen la función de recubrir el sistema de calentamiento, protegiéndolos de agentes externos y así mismo dar un punto de apoyo para la unión de este con el subsistema neumático y la estructura. Las dimensiones de estas partes vienen dadas según la máquina termo fijadora que se encuentra en la empresa, determinando así que el sistema tendrá la siguiente configuración:

**Figura 132.**

*Composición plancha termográfica*



**Nota.** Composición y el orden de los componentes que conforman la plancha serigráfica.

Para el dimensionamiento de las piezas llamadas “elemento de unión” y “cubierta”, se utilizaron datos referentes a los obtenidos previamente en la caracterización de las máquinas que se encuentran en la industria y la máquina termo fijadora empleada en la empresa, donde, estas piezas tienen como función la unión y protección de los elementos esenciales para el funcionamiento de la máquina, se tienden a manejar las mismas dimensiones en la gran mayoría de ellas con una configuración similar. Por lo anterior, las dimensiones correspondientes de estas piezas son:

Placa de unión: 250x250x6 mm

Cubierta: 520x420x3mm

Siendo esta la composición completa del subsistema de calentamiento, es posible determinar el peso total del conjunto de todos estos elementos, esto con el fin de

obtener la fuerza restante que debe realizar el subsistema de generación de presión. Por lo tanto, según los datos obtenidos en el software de Solid Edge, una vez definidos los materiales a utilizar en este conjunto de piezas (aluminio, fibra de vidrio y acero AISI SAE A36), se obtiene el peso total del ensamble:

### Figura 133.

#### *Peso del conjunto de plancha termográfica*

Sistema de coordenadas: Espacio modelo	Masa: 13,943 kg	Volumen: 4484762,629 mm <sup>3</sup>
	Masa de sustitución de cantidad: 13,943 kg	<input type="checkbox"/> Usar como la masa del conjunto

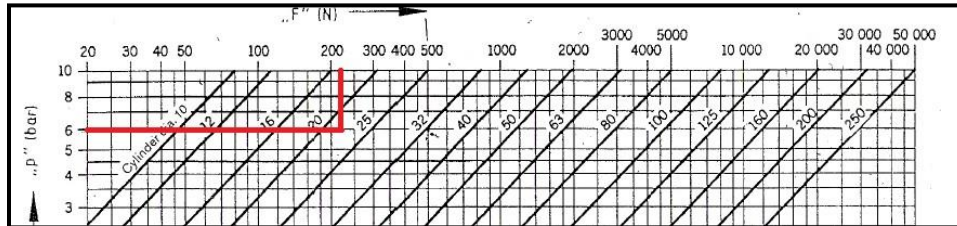
**Nota.** Esta masa expresada en una fuerza, tiene una equivalencia de alrededor de los 137N aproximadamente. Tomado de Solid Edge.

#### **4.2.2. Diseño del subsistema neumático de presión**

Para este diseño es necesario conocer el peso de los elementos que componen el subsistema calefactor, puesto que el elemento neumático deberá estar en la capacidad de poder mover este conjunto de placas de manera vertical. Ahora bien, según los datos obtenidos en el anterior ítem y la información obtenida de la empresa, donde se sabe que la presión necesaria para la obtención de un acabado adecuado es de 356N y adicionando la fuerza ejercida por el peso del subsistema calefactor, se determina que la fuerza necesaria restante es de 219N. Por consiguiente, con este dato se procede a la obtención del actuador neumático para trabajar a una presión de 6 bar y mediante la siguiente gráfica se obtiene el diámetro de émbolo necesario:

**Figura 134.**

*Grafica de selección de cilindro neumático*



**Nota.** Enfrentando la presión que suministra la fuente de aire comprimido, con la fuerza necesaria para la aplicación se obtiene diámetro del émbolo necesario para el actuador.

Una vez determinado el diámetro de émbolo necesario, se procede a realizar la selección, mediante el catálogo de cilindros compactos ADN/AEN, ISO 21287 proporcionado por la empresa Festo, donde se encuentra uno que cumple con las siguientes características:

## Figura 135.

Grafica de selección de cilindro neumático

Característica	Valor
Carrera	50 mm
Diámetro del émbolo	25 mm
Rosca del vástago	M8
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 21287
Extremo del vástago	Rosca exterior
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	0,6 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,3 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	247 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	295 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	50 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	23 g
Peso básico con carrera de 0 mm	156 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	6 g

**Nota.** En la figura 138 se establecen desde características de funcionamiento hasta características de montaje del cilindro seleccionado. Tomado de Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/esco\\_co/products\\_ADN\\_AEN\\_1](https://www.festo.com/cat/esco_co/products_ADN_AEN_1). [Acceso: oct.3,2020]

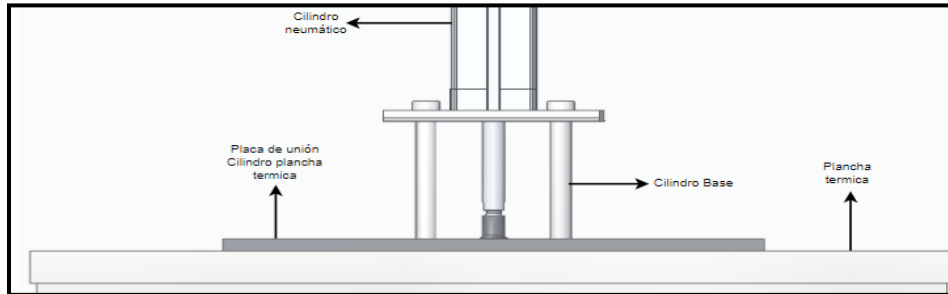
### 4.2.3. Diseño del subsistema estructural del sistema de fijación y secado

Con el propósito de brindar soporte al cilindro neumático encargado del desplazamiento vertical de la plancha térmica, se propone el siguiente montaje.



**Figura 136.**

*Montaje de plancha térmica*

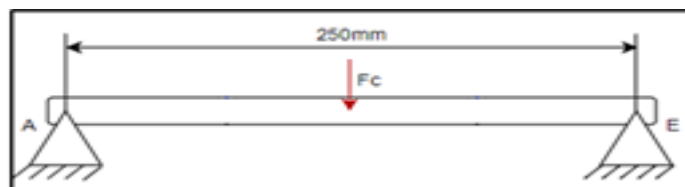


**Nota.** El sistema de secado emplea un actuador neumático ensamblado a la plancha termográfica para realizar los movimientos de desplazamiento vertical.

A partir del ensamble, se establece el siguiente caso de estudio para la placa de unión del actuador y plancha térmica

**Figura 137.**

*Planteamiento caso de estudio*

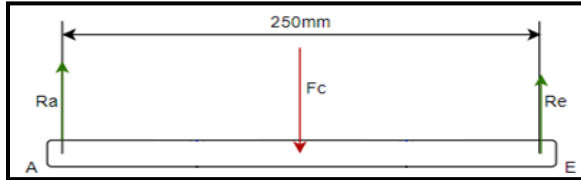


**Nota.** Se analiza el elemento como una viga apoyada en los extremos.

Elaborando el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

**Figura 138.**

*Diagrama de cuerpo libre placa de unión*



**Nota.** Diagrama de cuerpo libre del elemento.

Donde:

Ra – Re = Son las reacciones en los apoyos.

Fc= Fuerza ejercida por la masa de la plancha térmica dividida en tres (debido a que hay tres puntos en los que se apoya el peso del ensamble).

$$F_c = (M_{ensamble} + M_{cilindros\ guía} + M_{cilindro\ neumático}) * g$$

$$F_c = (14kg + 0,048kg + 0,165kg) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 139,2874N$$

A partir de las fuerzas obtenidas, se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_a + R_e - F_c = 0$$

$$R_a + R_e = F_c$$

$$R_a + R_e = 139,1306N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(139,2874N \times 125mm) + 250R_b = 0$$

$$-17410,925Nmm + 250Rb = 0$$

$$Rb = \frac{17410,925Nmm}{250mm} = 69,6437N$$

$$RA = 139,1306N - 69,6437N = 69,4869N$$

**Figura 139.**

*Diagrama de esfuerzo cortante*



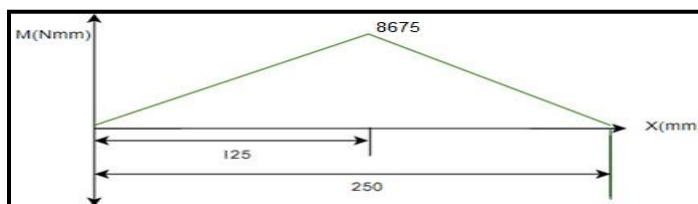
**Nota.** Mediante el diagrama de esfuerzo cortante se establece el punto sobre el cual el elemento sufre más por la presencia de la carga.

$$M1 = M2 = 125mm * 69,4N = 8675 Nmm$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector y el momento flector máximo.

**Figura 140.**

*Diagrama de momento flector:*



**Nota.** Mediante el diagrama de momento flector se determina el momento máximo para realizar el dimensionamiento a partir de este valor.

Para el diseño de la placa de soporte se tiene en cuenta que su material es acero AISI SAE A36, por lo tanto, aplicando la norma LRFD para aceros se obtiene:

$$\sigma_y = 295 \text{ Mpa} = 2,95 \text{ E}^8 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9 \sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95 \text{ E}^8 \text{ pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{8,675 \text{ Nm}}{265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}} = 3,2674 \text{ E}^{-8}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

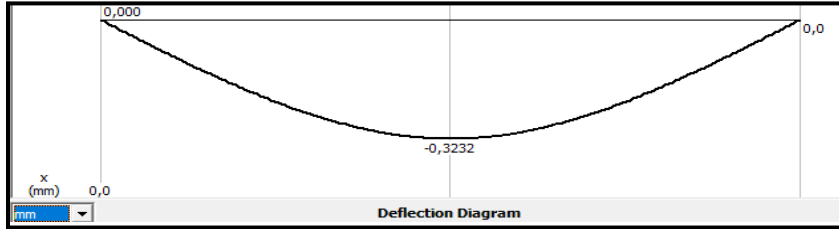
$$h = 2,0508 \text{ E}^{-3} \text{ mm} = 2,0508 \text{ mm}$$

Con el propósito de facilitar la fabricación del elemento, se láminas de aluminio comerciales, para este caso, se utilizará una lámina de 6,35 mm.

A partir del espesor seleccionado se establece la deflexión del elemento donde se obtiene:

**Figura 141.**

*Deflexión en la placa de unión*



**Nota.** A partir de las dimensiones del elemento y las propiedades del material, se establece la deflexión del elemento. Tomado de MDsolids.

Aplicando un criterio de media precisión se evalúa la deflexión encontrada y se concluye que las dimensiones son las adecuadas, ya que esta permanece dentro del rango

Como se muestra en la figura 139, el desplazamiento horizontal y vertical llevado a cabo por el actuador neumático, es respaldado por dos barras guía que se encargan de brindar soporte al vástago del actuador. Teniendo en cuenta que la carga que estas soportan es generada por la masa de la plancha térmica y que el material es un aluminio aleación 6061-O, se tiene que:

$$\sigma_y = 55\text{Mpa} = 5,5E7\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{\frac{M_{conjunto}}{2} * g}{\sigma_{adm}} = \frac{\frac{14\text{kg}}{2} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{49,5E6\text{pa}} = 1,3858E^{-6}\text{m}^2$$

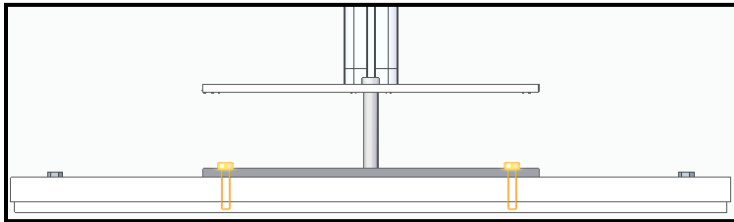
$$1,663030E^{-6} = \pi r^2$$

$$\sqrt{\frac{1,663030E^{-6}}{\pi}} = r = 66417E^{-4}m = 0,6641mm$$

4.2.3.a. Cálculo y selección de las uniones roscadas. El elemento está sometido a esfuerzo normal por la carga a tensión que soporta, como se muestra en la figura 145.

### Figura 142.

*Montaje de las uniones atornilladas placa de unión*



**Nota.** Los elementos roscados señalados en la figura anterior, atraviesan el conjunto completo de la plancha termo fijadora.

Teniendo en cuenta las propiedades de los materiales de las uniones atornilladas (ver anexo 2) se obtiene:

$$\sigma_y = 500E^6pa$$

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_e} = \frac{136,6414N}{500E^6pa} = 2,7328E^{-7}m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

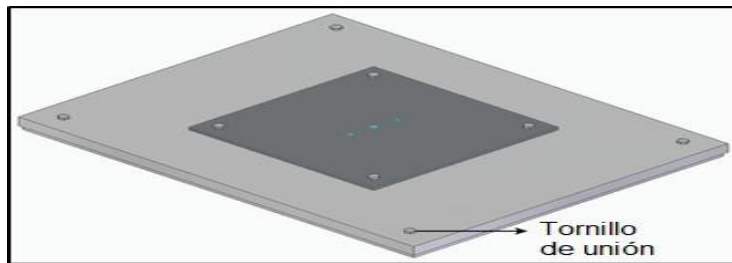
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,7328E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,94938E^{-4}m = 0,29493mm$$

$$\varnothing = 2r = 0,5898mm$$

A partir del diámetro obtenido, es válido afirmar que con un tornillo de cabeza hexagonal con designación de rosca M6 y una longitud de 25mm sería suficiente, sin embargo, para garantizar la correcta fijación de los elementos se plantea el siguiente arreglo con cuatro ejemplares de tornillo ya mencionados. (Anexo 2).

### Figura 143.

*Elemento de unión termo fijadora*



**Nota.** El elemento de unión posee la misma designación que los que se emplearon para el elemento de unión, debido a que deben soportar una carga menor a sus pares ya mencionados.

### 4.3. Diseño del sistema de generación y transmisión de potencia

En este ítem se realizará el correspondiente estudio para la selección del servomotor y del sistema de transmisión para poder generar el movimiento de las mesas de trabajo donde serán ubicadas las prendas textiles. Los procedimientos se realizan a partir de la geometría de las mesas y de los elementos sobre las cuales se soportan.

#### 4.3.1. Diseño del subsistema de mesas rotatorio

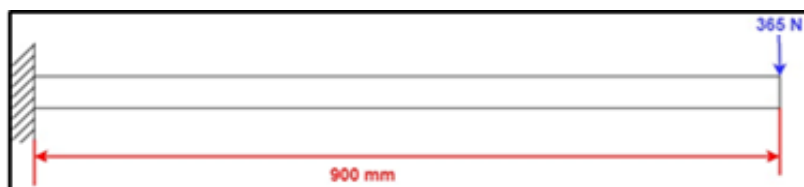
A partir del tipo de prendas que se van a trabajar es posible dimensionar las mesas de trabajo donde se posicionaran las prendas textiles. Por lo tanto, sabiendo que la producción que maneja la empresa es bastante diversa, esta mesa debe contar con las dimensiones suficientes para que cualquier tipo de prenda pueda ser posicionada sobre ellas. Según los datos obtenidos en la empresa se pudo obtener que las dimensiones de la mesa deben ser de 53x42cm.

El siguiente paso es diseñar el sistema que va a soportar las mesas de trabajo. Para esto, es necesario realizar el estudio de cargas a los que pueden estar sometidos los brazos que van a sujetar las mesas. Sabiendo que, en el diseño del sistema de fijación y secado, una de las condiciones de trabajo es la presión que debe ejercer la plancha sobre las prendas (80 lb, aproximadamente 356N), esta sería la condición de carga que más exigencia le va a someter al sistema. Además, la longitud del brazo por ergonomía y espacio disponible en la empresa debe tener un mínimo de 900mm.

Realizando el análisis estructural, esta se comportaría como una viga empotrada en un extremo y otro libre con la fuerza sobre este punto, obteniendo así los siguiente:

**Figura 144.**

*Planteamiento del problema perfiles de brazos giratorios*

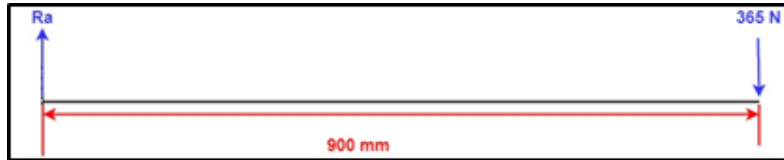


**Nota.** Para analizar el perfil estructural que hace parte del sistema de brazos giratorios se plantea al elemento como una viga empotrada en uno de sus extremos, mientras en el extremo sobrante se aplica la carga.



## Figura 145

*Diagrama de cuerpo libre brazo giratorio*



**Nota.** La única reacción, que se genera sobre el elemento es aquella que se genera en el empotramiento

Como se puede observar, la reacción en el punto A tendrá el mismo valor que la fuerza en el extremo libre, por lo tanto,  $R_a = 365\text{N}$ . Por consiguiente, al elaborar el diagrama de esfuerzo cortante se obtiene lo siguiente:

## Figura 146.

*Diagrama de esfuerzo cortante brazos giratorios*



**Nota.** El diagrama de esfuerzo cortante se emplea para establecer el momento flector en las secciones del elemento.

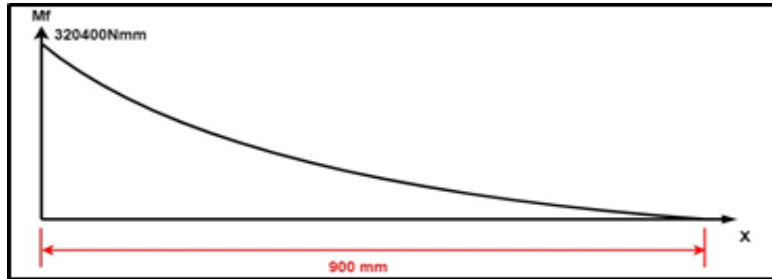
Ahora, para obtener el diagrama de momento flector máximo, este se hace mediante el método de áreas, consiguiendo el siguiente resultado:

$$M = 900 \text{ mm} * 356\text{N}$$

$$M = 320400 \text{ Nmm}$$

**Figura 147.**

*Diagrama de momento flector*



**Nota.** Mediante el diagrama de momento flector se determina el momento máximo para realizar el dimensionamiento a partir de este valor.

Una vez obtenido el valor del momento flector máximo, se procede a realizar el cálculo de la sección transversal que pueda soportar las condiciones de carga planteadas. El material a utilizar para la fabricación es acero ASTM A500 Grado C por su alta resistencia:

Para este caso, el esfuerzo admisible según la norma LRFD para aceros corresponde a:

$$\sigma_y = 295 \text{ Mpa} = 2,95 \text{ E}^8 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9 \sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95 \text{ E}^8 \text{ pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{f\text{máx}}}{S}$$

$$S = \frac{320,4 \text{ Nm}}{265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}} = 1,20677 \text{ e}^{-6} \text{ m}^3 = 1,2067 \text{ cm}^3$$

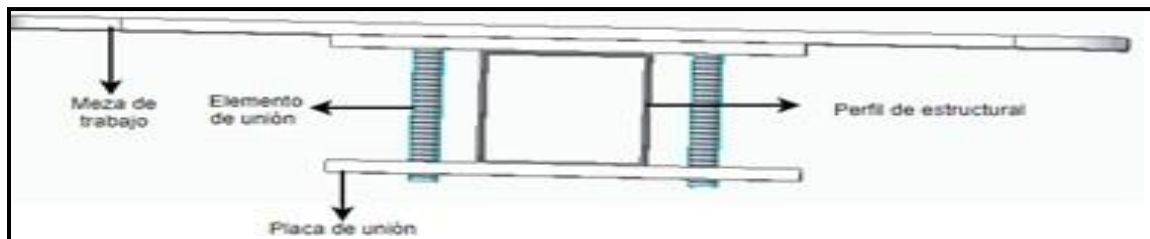
A partir del módulo de sección transversal calculado, se establece el perfil adecuado para la aplicación a partir del análisis por resistencia, en este caso se selecciona el perfil tubular de 60x60 mm y 2,25 mm de espesor de pared. (Ver anexo 5)

Para posicionar las mesas de trabajo sobre los brazos giratorios se emplea el siguiente arreglo.

Dado que en ningún momento los elementos del arreglo de la figura 151 a excepción del perfil estructural están sometidos bajo cargas, se establecen espesores de 6,35 mm para la placa de unión y la mesa de trabajo, en el caso del elemento de unión, se emplea un esparrago de designación de rosca M10 (Ver anexo 2).

**Figura 148.**

*Ensamble mesa de trabajo*

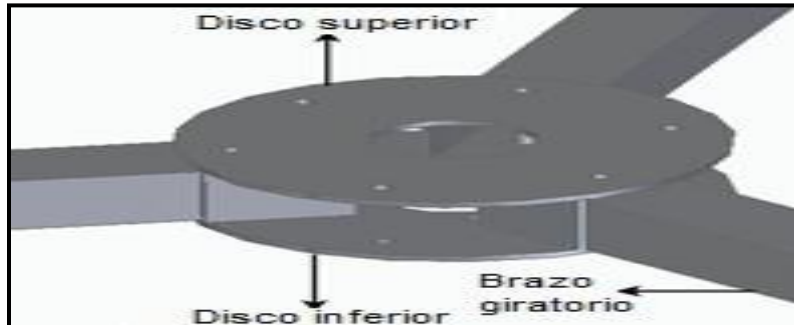


**Nota.** El arreglo mostrado en la figura anterior, permite posicionar fijamente las mesas de trabajo sobre los perfiles tubulares de los brazos giratorios sin necesidad de hacer perforaciones sobre el perfil estructural.

Para asociar el movimiento de los brazos giratorios se plantea:

**Figura 149.**

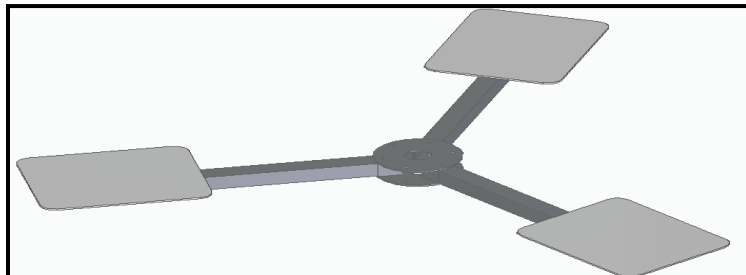
*Ensamble de discos de brazos giratorios*



**Nota.** Esta unión consiste en dos discos fabricados en acero AISI SAE A36, unidos mediante elementos atornillados, el disco inferior posee dos placas soldadas por brazo del mismo material, las cuales le impiden el movimiento angular de los brazos. Adicionalmente, cada uno de los brazos contiene un buje hueco, en la parte interior de los tubos cuadrados, esto permite que al momento de atornillar no se vea reducida la sección transversal del mismo.

**Figura 150.**

*Ensamble completo brazos giratorios*

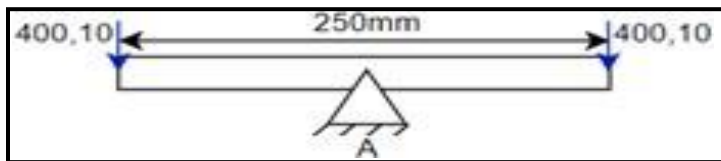


**Nota.** Una vez se ensamblen los brazos giratorios con los discos superior, se obtendrá el elemento referenciado en la figura.

Para el dimensionamiento de los discos superior e inferior mediante la reacción en el apoyo empotrado obtenido en el análisis de los perfiles, se plantea el siguiente caso de estudio en el que se analiza como una barra apoyada en el centro:

**Figura 151.**

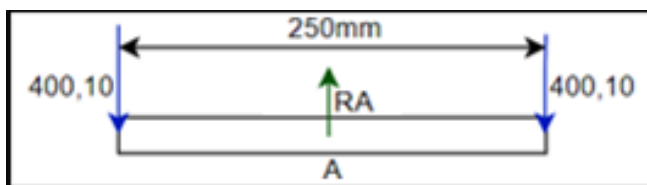
*Planteamiento del problema disco inferior brazos giratorios*



**Nota.** Para el análisis del elemento se debe tener en cuenta que las fuerzas en los extremos contemplan la reacción en el apoyo obtenida mediante el análisis del perfil (365N) y la fuerza generada por el peso del perfil (35,10N).

**Figura 152.**

*Diagrama de cuerpo libre brazos giratorios*



**Nota.** Dado que las cargas externas están en dirección contraria a la reacción en el apoyo, la reacción será igual a la suma de las cargas.

Estableciendo las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

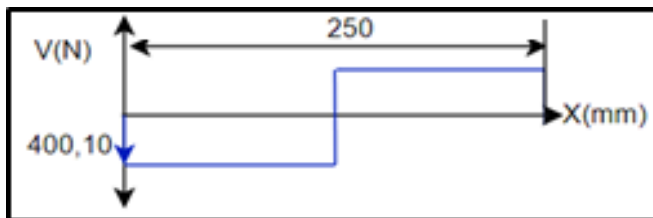
$$\sum FY = 0$$

$$-400,10 - 400,10 + RA = 0$$

$$RA = 800,2072N$$

**Figura 153.**

*Diagrama de esfuerzo cortante*



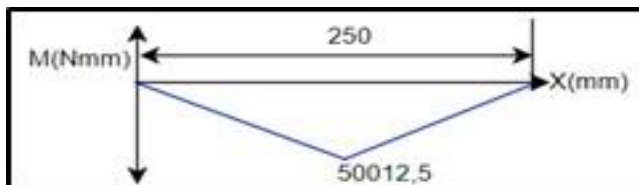
**Nota.** El diagrama de esfuerzo cortante se emplea para establecer el momento flector en las secciones del elemento.

$$M1 = M2 = 125mm * 400,10N = 50012,5Nmm$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector y el momento flector máximo.

**Figura 154.**

*Diagrama de momento flector*



**Nota.** Mediante el diagrama de momento de flector se establece que el momento máximo es de 500125, Nmm.

Para determinar el espesor del disco a partir del material (acero A 36) se tiene en cuenta:

$$\sigma_y = 295 \text{ Mpa} = 2,95 \text{ E}^8 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9 \sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95 \text{ E}^8 \text{ pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{50,0125 \text{ Nm}}{265,5 \text{ E}^6 \text{ pa}} = 1,88370 \text{ E}^{-7}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 2,1262 \text{ E}^{-3} \text{ mm} = 2,1262 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$

Para evitar una deflexión alta sobre el disco de los brazos giratorios, se emplea un espesor de 6,35 mm. (Ver anexo 6)

Una vez obtenido lo anterior se procede a obtener el valor de la masa de cada uno de los elementos que conforman el conjunto de brazos giratorios

### Figura 155.

*Masa tubo cuadrado de acero 60x60 cm*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:	Área de superficie:
Espacio modelo	1,867 kg	238355,393 mm <sup>3</sup>	424308,14 mm <sup>2</sup>

**Nota.** El peso establecido en la figura, hace referencia a un solo perfil estructural. Tomado de Solid Edge.

### Figura 156.

*Masa de mesa rectangular en aluminio 53x42cm*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:
Espacio modelo	4,401 kg	1622904,819 mm <sup>3</sup>

**Nota.** El peso establecido en la figura, hace referencia a una sola mesa de trabajo. Tomado de Solid Edge.

### Figura 157.

*Masa Conjunto de discos de unión:*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:
Espacio modelo	5,477 kg	702468,112 mm <sup>3</sup>

**Nota.** El peso establecido en la figura, hace referencia al conjunto de ambos discos ensamblados entre sí. Tomado de Solid Edge.

Al haber obtenido las dimensiones y el peso de los elementos pertinentes, se calcula el momento de inercia de primer grado para a partir de dicho valor, determinar el torque que debe poseer el motor para mover las mesas de estación en estación. “Por consiguiente, se utiliza la siguiente ecuación basada en el momento de inercia rotacional de un cuerpo sobre un eje para cuerpos rectangulares”: [19]



$$\tau = I * \alpha$$

Donde:

T= Torque [Nm].

I= Momento de inercia rotacional [kgm<sup>2</sup>].

$\alpha$ = Aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

Inicialmente se procede a realizar el cálculo de la aceleración angular del sistema, donde se determina de acuerdo al valor necesario para recorrer una distancia concorde a 120° de una circunferencia con 900 mm de radio en un tiempo establecido. Por lo tanto, calculando la distancia en radianes y para un tiempo de 2 segundos en los que debe pasar de la posición inicial a la final, se obtuvo:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}$$

Donde:

$\omega$ = Velocidad angular final [rad/s].

$\omega_0$ = Velocidad angular inicial [rad/s].

t= Tiempo [segundos].

Ahora bien, según la distancia recorrida ( $\frac{2}{3}\pi$  radianes) y el tiempo necesario para esta, además de saber que la velocidad angular inicial es igual a cero se tiene:

$$\alpha = \frac{1,0472rad/s}{5 segundos} = 0,20944rad/s^2$$

Como segundo paso, se procede a realizar el cálculo del momento de inercia para uno de los brazos, donde para cuerpos de tipo barra con una masa específica, se tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{1}{3}ML^3$$

Donde:

M= masa del cuerpo [kg].

L= Longitud más larga del cuerpo [m].

No obstante, al tener varios cuerpos, a cada uno de estos se le calcula su propio momento de inercia de acuerdo a su masa y a sus dimensiones, donde, según la configuración mostrada en la figura 153, la ecuación de momento de inercia rotacional corresponde a:

$$I = \frac{1}{3}M_{barra}L_{barra}^2 + \frac{1}{3}M_{mesa}L_{mesa}^2$$
$$I = \frac{1}{3}7,344kg * 0,9m^2 + \frac{1}{3} * 4,4kg * 0,52m^2$$

$$I = 2,3794kgm^2$$

Ahora, el cálculo anterior corresponde a un brazo, sin embargo, el subsistema completo se compone de tres brazos, por lo tanto, este resultado es multiplicado por la cantidad mencionada anteriormente, obteniendo:

$$I = 7,1384kgm^2$$

Finalmente, se reemplazan estos valores en la ecuación de torque:

$$\tau = 7,1384kgm^2 * 0,20944rad/s^2$$

$$\tau = 1,4950 Nm$$

Una vez se tiene el valor del torque, se procede a buscar un servomotor que tenga la capacidad de suplir dicho valor. A partir del catálogo de productos de la empresa Industriales Andes, se seleccionó un servomotor con las siguientes características.

**Figura 158.**

*Servo motor Nema 34*

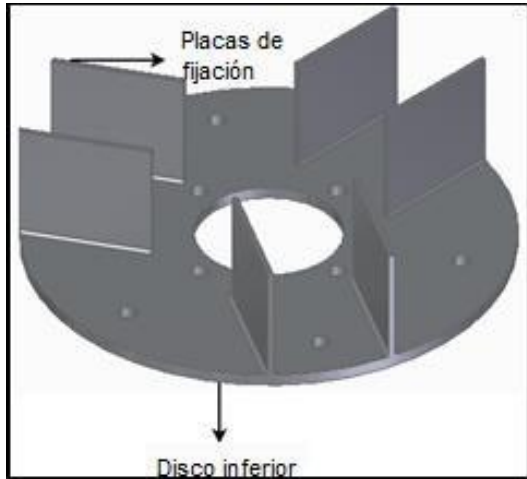


**Nota.** Mediante las características mostradas anteriormente, se evidencia que las capacidades del servomotor seleccionado, son aptas para suplir las necesidades del proceso en cuanto a torque y velocidad angular. Tomado de Micropap, <http://www.micropap.com/index.php/virtuemart/motores/nema-34/sy85sth97-600a-111-detail>

Una vez establecido el torque que se va transmitir hacia los brazos giratorios, se dimensionan los cordones de soldadura adecuados para obtener el siguiente arreglo.

**Figura 159.**

*Arreglo de disco y placas de fijación*



**Nota.** Consiste en placas de acero de 6,35 mm de espesor soldadas a la cara del disco inferior, este arreglo se realiza con el fin de evitar el desplazamiento angular de los perfiles estructurales que conforman los brazos giratorios.

Para fijar las placas al disco, se requiere de un soldadura dimensionada y especificada a continuación:

Inicialmente se establece el tipo de electrodo que se debe emplear a partir del metal base, luego el tipo de proceso que se debe realizar para soldar un determinado material mediante el código de soldaduras en estructuras de acero (Ver anexo 7).

A partir de lo especificado en el anexo 7, el electrodo que se debe emplear es de especificación AWS A5.1 (hace referencia a soldadura para aceros al carbono) E60 XX (mínima resistencia a la tracción post soldadura del metal depositado en ksi) teniendo

en cuenta que el material tanto del disco como de las placas es acero A36 con un espesor menor a 20 mm.

A partir de la designación se selecciona un electrodo AWS A5.1 E6013 el cual además de cumplir con las especificaciones necesarias, posee la característica de que se puede aplicar en todas las direcciones, emplea corriente alterna o continua en ambas polaridades y además cuenta con revestimiento de rutilo para su fácil manejo y obtención de buenos acabados. Adicionalmente, el tipo de soldadura a emplear es tipo SMAW, teniendo en cuenta que se trabaja con espesores pequeños y con un material de punto de fusión elevado.

Teniendo en cuenta las características del tipo de soldadura que se va a emplear para realizar la unión, se recomienda un tipo de electrodo con un rango de amperaje para el proceso según el catálogo de electrodos Carbone (Ver anexo 8).

Puesto que en el elemento en cuestión se tiene una junta en “T” se emplea una soldadura de filete dimensionada a continuación:

Para garantizar la resistencia de la soldadura de una junta se debe cumplir que:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

Donde:

$\sigma_{real}$ = Esfuerzo en la junta derivado de las cargas que soporta

$\sigma_{resistente}$ =Esfuerzo que soporta la soldadura respecto al tipo de electrodo empleado

Para establecer el esfuerzo real sobre la junta se tiene en cuenta el siguiente caso:

La tendencia de los brazos a desplazarse angularmente cuando el motor que los impulsa está en funcionamiento, genera cargas sobre las placas soldadas a una de las caras del disco inferior, para establecer el valor de dicha carga, se establece la fuerza máxima que se puede ejercer sobre las placas cuando el torque del motor alcanza su valor máximo, teniendo en cuenta esto, la carga será:

$$T_{max} = 8,5Nm = F * D$$

$$\frac{T_{max}}{D} = F$$

Siendo F la carga aplicada en el extremo de la placa y D la distancia del centro del disco al extremo más cercano de la placa, para obtener la mayor fuerza sobre la placa:

$$\frac{T_{max}}{D} = F = \frac{8,5Nm}{0,06108m} = 139,161N$$

Teniendo en cuenta la carga y el área de la placa, el esfuerzo sobre la junta será:

$$\frac{F_{real}}{A} = \frac{139,161N}{0,0042m^2} = 33133,7512Pa = 33,13Kpa$$

A partir del esfuerzo real calculado se establece que se cumple:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

$$33,13Kpa \leq 413,685Mpa$$

Una vez corroborada la resistencia de la soldadura, se dimensiona el filete a partir de la siguiente expresión: [20]

$$\sigma_{resistente} = \frac{F_{real}}{GT * L}$$

Donde

GT= Garganta teórica del filete (distancia desde la raíz de la junta hasta la hipotenusa del triángulo que se dibuja dentro de la sección transversal de la soldadura del filete

L= Longitud del filete

Despejando la garganta teórica del filete:

$$GT = \frac{139,161N}{4,137E^8Pa * 0,07} = 4,8054E^{-6}m$$

Las dimensiones (W) de la soldadura de filete, pueden expresarse en función de la garganta del mismo de la siguiente manera:

$$GT = 0,7071W$$

$$\frac{GT}{0,7071} = W = \frac{4,8054E^{-6}m}{0,7071} = 6,7959E^{-6}m = 6,7959E^{-3}mm$$

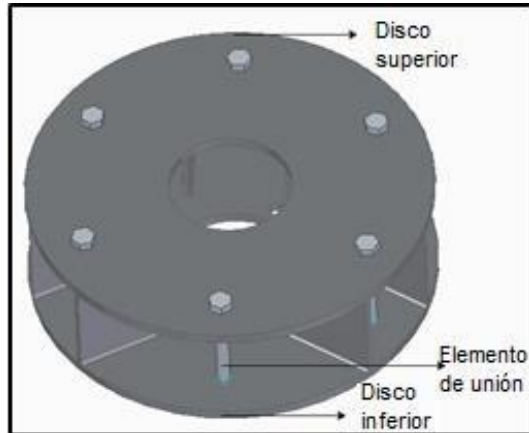
El valor de W representa las dimensiones mínimas de la soldadura, sin embargo, el valor obtenido es muy pequeño y una soldadura de esas dimensiones no se podría realizar, por lo tanto, se acude a la norma AWS para establecer las dimensiones del filete.

Cuando las dimensiones calculadas para el cordón de soldadura son muy pequeñas se utiliza la tabla de tamaños de bisel, estableciendo el lado mínimo a partir del espesor del metal base como se establece en el código de soldaduras en acero de la norma AWS (Ver anexo 7). Teniendo en cuenta que el material base posee un espesor de 3,175 mm aproximadamente las dimensiones del filete serán de W= 3 mm.

Para completar el ensamble de los discos de los brazos giratorios, es necesario establecer la unión roscada referenciada en la siguiente imagen.

**Figura 160.**

*Ensamble del conjunto de discos*

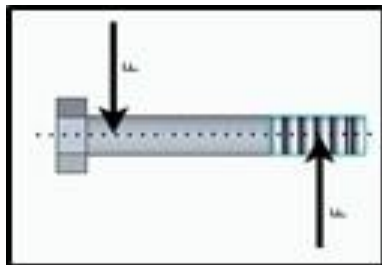


**Nota.** El ensamble de los discos se realiza mediante elementos roscados como se muestra en la figura anterior.

Para establecer las características del elemento roscado se plantea el siguiente caso de estudio:

**Figura 161.**

*Caso de estudio unión atornillada de discos*



**Nota.** La misma fuerza que se transmite a las placas que restringen el desplazamiento angular producto del torque máximo del motor, son aplicadas sobre los elementos de unión roscados sometiéndolo a esfuerzo cortante.



Teniendo en cuenta la resistencia del elemento (anexo 2) el área mínima para soportar la carga en cuestión será:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{139,161N}{5E^8Pa} = 2,78E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,72E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,9764E^{-4}m = 0,29764mm$$

$$\varnothing = 2r = 0,59528mm$$

Analizando el elemento roscado a tensión producto de la reacción en el apoyo del perfil de los brazos giratorios, se obtiene:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{35N}{5E^8Pa} = 7,3E^{-7}m^2$$

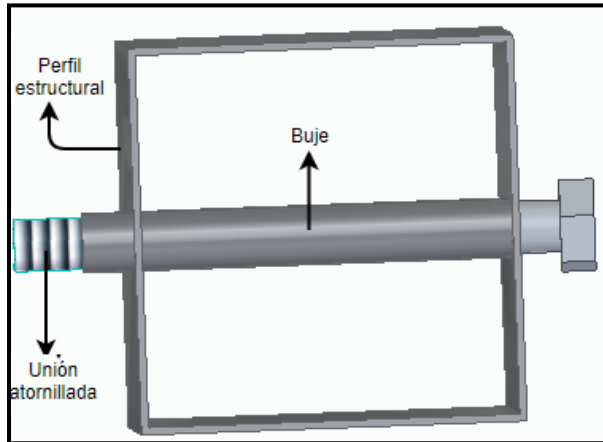
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{7,3E^{-7}m^2}{\pi}} = 5,6418E^{-4}m = 0,5641mm$$

$$\varnothing = 2r = 1,1283mm$$

Se establece que el perno adecuado para la aplicación sería un de designación de rosca M6, sin embargo, debido a la longitud del elemento que se requiere para efectuar la unión (80 mm), se emplea un tornillo de cabeza hexagonal de rosca M8 ya que la rosca M6 se restringe a longitudes de tan solo 60 mm. (Ver anexo 2). Respecto al acople de los brazos se plantea el siguiente ensamble:

**Figura 162.**

*Montaje de tornillo y buje brazos giratorios*



**Nota.** En el caso de las uniones roscadas que se encuentran en las secciones donde acoplan los brazos con los discos, para evitar cargas elevadas sobre los perfiles de acero empleados, se utilizan bujes en la sección.

Para el montaje se emplea un buje de 9 mm de diámetro exterior y de 8 mm de diámetro interior, según las dimensiones establecidas, el área de sección transversal del elemento será:

$$A = \pi(r_{ext})^2 - \pi(r_{int})^2 = \pi(4,5E^{-3}m)^2 - \pi(4E^{-3}m)^2 = 1,3351E^{-5}m^2$$

Teniendo en cuenta que el área del buje es mayor al área mínima requerida establecida en la selección del elemento roscado de la acción anterior, las dimensiones son las adecuadas para la aplicación, se debe tener en cuenta que para cada uno de los perfiles que conforman los brazos giratorios, se realiza el mismo montaje.

### **4.3.2. Diseño del sistema de transmisión de potencia**

La propuesta de transmisión consiste en un sistema que impida el deslizamiento entre los elementos impulsor e impulsado, obteniendo una mayor precisión en cada movimiento que realiza el servomotor, a partir de esto y teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de transmisión capaces de cumplir con este requisito, se establece que un sistema de transmisión por correas sincrónicas sería lo más adecuado, dado que poseen una vida útil más prolongado que las cadenas de transmisiones, es un elemento libre de mantenimiento y posee un costo menor en comparación con la transmisión por cadena y trenes de engranajes.

Para proyectar el sistema de transmisión de potencia, inicialmente se debe establecer la potencia de diseño, la cual se obtiene multiplicando la potencia del motor en Hp por un factor de servicio determinado a partir del catálogo de Intermecc (ver anexo 9).

Teniendo en cuenta el área de aplicación en la que va a estar involucrada la transmisión a diseñar se establece un factor de servicio para máquina textil a partir del catálogo de Intermecc de poleas sincrónicas (Ver anexo 9)

A partir del factor de diseño, la potencia de diseño será:

$$P_{diseño} = P * F_s$$

$$P_{diseño} = 0,002099Hp * 1,8 = 0,0037782Hp$$

Donde:

P= Potencia que transmite el motor

F<sub>s</sub>= Factor de servicio

Para este caso como se cuenta con un servo motor que está en capacidad de variar su velocidad de 0 a 2000 rpm, la velocidad angular de entrada será igual a la velocidad angular de salida (10 rpm o 1,0472 rad/seg para la capacidad requerida de la máquina).

Teniendo en cuenta esta característica del sistema se calcula relación de transmisión de la siguiente manera

$$i = \frac{rpm \text{ conductor}}{rpm \text{ conducido}} = \frac{10rpm}{10rpm} = 1$$

A continuación, se establece el paso de la correa de transmisión mediante la gráfica que relaciona la velocidad angular de la polea más pequeña con la potencia de diseño. (Ver anexo 9)

Tomando la velocidad de la polea menor como 10 rpm e interceptando con una potencia de diseño de 0,00377Hp se establece que el paso de la correa puede ser de 8 mm o 14 mm para esta aplicación.

Una vez establecido el paso de la correa, a partir de dicho valor y la relación de transmisión deseada se selecciona un par poleas mediante la tabla de centros nominales. (Ver anexo 10)

Se seleccionan un par de poleas sincrónicas de 40 dientes. Teniendo en cuenta que el manual de selección de Intermec ofrece varias opciones para la situación planteada, la selección se argumenta a partir de que este arreglo requiere de una distancia entre centros mucho menor en comparación a las demás opciones

Con las poleas seleccionadas el montaje contara con:

- Distancia entre centros = 203 mm
- Designación de código de la correa (Longitud de la correa estándar) = 966 mm

Finalmente, se establece el ancho de la correa mediante la tabla de capacidad de transmisión de correas (Ver anexo 11), donde se relaciona la velocidad angular del piñón conductor con el número de dientes del mismo, para establecer si la configuración seleccionada está en capacidad de transmitir la potencia de diseño.

La polea conductora de 40 dientes con una correa 14M-40 de designación de ancho de correa está en capacidad de transmitir la potencia de diseño requerida.

Una vez establecido el ancho de la correa, se obtienen las designaciones de la correa y las poleas:

Poleas:

- 40-14M-40 (Ver anexo 11)

A partir de la designación, las dimensiones de ambas poleas son (Ver anexo 11)

Teniendo en cuenta el diámetro de la columna sobre la cual va a estar montada la polea, es necesario mecanizar el agujero original hasta que tenga un diámetro de 76,2 mm, esto es permitido dado que, a partir del catálogo del fabricante, el agujero máximo puede ser de hasta 80 mm.

Por otra parte, dado que el eje del servo motor es de tan solo 14mm, es necesario emplear un buje o acople especial para poder hacer solidario el motor con la polea. (Ver anexo 12).

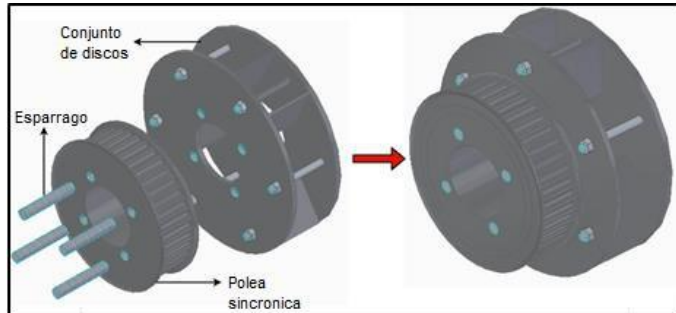
Ahora, partiendo de que el diámetro de la manzana de la polea es de 120 mm, se selecciona un buje cuyo diámetro exterior este cerca a dicho valor para facilidad de montaje, en este caso el buje SF es el adecuado a partir de este criterio. Respecto al hueco máximo del buje, se solicitaría al fabricante que este fuera del diámetro del eje del motor (14mm), por otro lado, dado que el diámetro B del buje no se puede modificar, se modifica el diámetro de la polea hasta (79,3 mm), este arreglo es permitido ya que el diámetro del agujero de la polea sigue estando por debajo del máximo permitido (80mm).

Correa: 966-14m-40 (Ver anexo 13).

Una vez seleccionados los elementos del sistema de transmisión, para transmitir la potencia y el movimiento a los brazos giratorios se plantea el siguiente ensamble.

**Figura 163.**

*Ensamble polea y conjunto de discos*



**Nota.** Debido a que el espacio para realizar el ensamble es reducido, se emplean espárragos para realizar la unión.

Para establecer el diámetro del elemento roscado, se tiene en cuenta la carga sobre el elemento producto del torque transmitido de la siguiente manera:

$$T_{max} = 8,5Nm = F * D$$

$$\frac{T_{max}}{D} = F$$

Siendo F la carga aplicada en el extremo de la placa y D la distancia del centro del disco al extremo más cercano de la placa, para obtener la mayor fuerza sobre la placa.

$$\frac{T_{max}}{D} = F = \frac{8,5Nm}{0,05m} = 170N$$

De acuerdo a la resistencia del elemento (Ver anexo 2), el área mínima para soportar la carga en cuestión será:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{100N}{861,855E^6Pa} = 1,9724E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,4E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,5057E^{-4}m = 0,25057mm$$

$$\varnothing = 2r = 0,5011mm$$

A partir del diámetro calculado y del catálogo de Gutemberto se establece que el esparrago adecuado para la aplicación sería un de designación de rosca de 12,7 mm y 75 mm de longitud debido a que es la que más se acerca al valor del diámetro calculado; para garantizar que la unión es correcta, se emplean cuatro ejemplares.

Para finalizar, se selecciona un rodamiento adecuado para que este soporte sistema de brazos giratorios junto con la polea conducida y además le permita al sistema rotar sobre un eje central. Para esto, “basados en los conceptos manejados en el libro de diseño de elementos de máquina de Mott, para la selección de este, se halla la carga básica de funcionamiento, donde a partir de una gráfica de factores, es posible elegir rodamientos para aplicaciones de máquinas de baja operación de manera sencilla según los resultados de la siguiente ecuación”: [16]

$$C = P_d * \frac{f_L}{f_N}$$

Donde:

C= Capacidad de carga dinámica básica.

Pd= Carga de diseño.

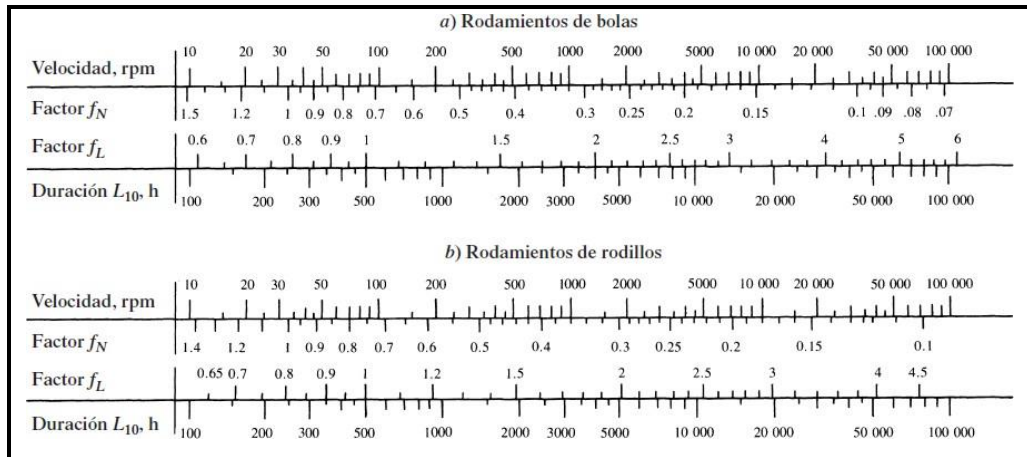
FL= Factor de duración.

FN= Factor de velocidad.

Estos factores están relacionados directamente con la velocidad de trabajo del rodamiento y la duración del mismo. Para poder definir el valor de los factores, se muestran las siguientes gráficas según el tipo de rodamiento que se vaya a seleccionar:

**Figura 164.**

*Factores de diseño para rodamientos*



**Nota.** Para poder determinar la duración de la máquina, se tomó como referencia los valores de duración para máquinas de operaciones cortas. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, “Diseño de elementos de máquinas,” 944, vol. 4, pp. 280–291, 2004

Se nos presenta un rango de horas de duración de entre 4000 y 8000 horas para el tipo de aplicación de la máquina que se está diseñando, por lo tanto, para este caso se propuso tomar un valor de 5000 horas, además, a partir de las revoluciones promedio de trabajo de la máquina tomamos la velocidad de 10 rpm y sabiendo que la carga de diseño va de acuerdo con el peso del subsistema de brazos rotatorios. Finalmente se decide que el tipo de rodamientos más adecuado para la aplicación son los de rodillos por su prolongada duración, con esto se obtiene el siguiente resultado:

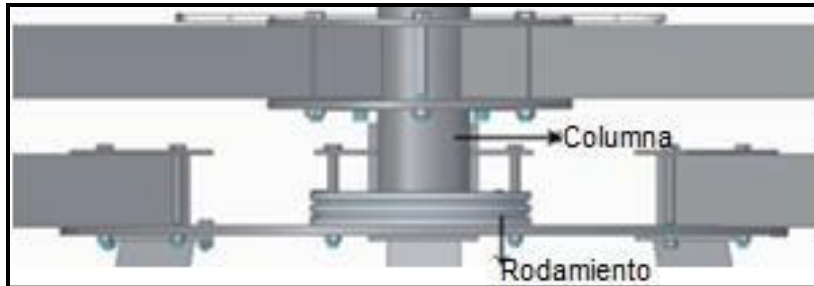
$$C = 237,9538 N * \frac{2}{1.4} = 339,934 N$$



Mediante el catálogo de rodamientos axiales de RHP-NSK se selecciona el más adecuado teniendo en cuenta la capacidad de carga y las características del montaje referenciadas en la siguiente figura.

**Figura 165.**

*Características de montaje de rodamiento*



**Nota.** Como se muestra en la imagen anterior, el rodamiento está montado sobre la columna de la estructura principal, además de estar en capacidad de suplir la capacidad de carga del ensamble, el rodamiento seleccionado debe tener como diámetro interior el diámetro de la columna (76,2 mm).

De acuerdo a lo anterior, el rodamiento seleccionado es de designación LT3 (Ver anexo 14)

**4.4. Diseño del sistema estructural**

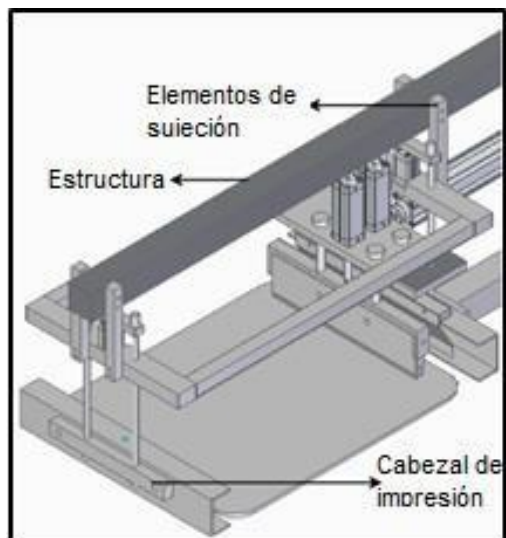
En este ítem se realizará el cálculo necesario para el dimensionamiento de las piezas que servirán como estructura para soportar todos los sistemas que componen esta máquina, por lo tanto, es necesario conocer el peso de los sistemas que este debe sostener, brindando de esta manera los datos precisos para una selección de elementos adecuada y diseño de juntas que le dará seguridad y estabilidad a la misma.

Con el propósito de sostener los cabezales respecto a un punto en común se plantean los siguientes ensambles.

#### 4.4.1. Diseño de los elementos de conexión sistema de impresión-estructura

Figura 166.

*Sujeción de cabezal de impresión*



**Nota.** Para la sujeción del cabezal de impresión se emplea un arreglo que permita soportarlo mediante un perfil estructural, en dos secciones del cabezal.

A partir del ensamble mostrado anteriormente, en los elementos que conectan el cabezal de impresión con la estructura principal, se obtiene que la pieza de sujeción se encuentra sometido a una fuerza de tensión generada por la masa total del cabezal de impresión.

$$F = M_{\text{cabezal de impresion}} * g$$

**Figura 167.**

*Masa del conjunto del cabezal de impresión*

Sistema de coordenadas: Espacio modelo	Masa: 11,862 kg	Volumen: 4103670,021 mm <sup>3</sup>
---	--------------------	---

**Nota.** Masa total del cabezal de impresión. Tomado de Solid Edge.

$$F = 11,862 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 116,2476 \text{ N}$$

Para el diseño del elemento de sujeción se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 6061-O:

$$\sigma_y = 55 \text{ Mpa} = 5,5 \text{ E}^7 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9 \sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5 \text{ E}^7 \text{ pa})$$

$$\sigma_{adm} = 49,5 \text{ E}^6 \text{ pa}$$

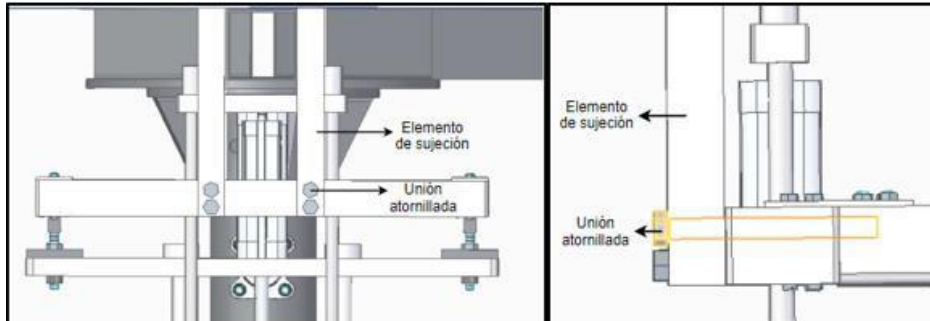
$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{116,2476 \text{ N}}{49,5 \text{ E}^6 \text{ pa}} = 2,3484 \text{ E}^{-6} \text{ m}^2 = 2,3486 \text{ mm}^2$$

Por cuestiones de diseño se selecciona una barra de aluminio 6061-O estándar de 19x19 mm. Para la selección del elemento roscado que acompaña la sujeción se deben tener en cuenta el esfuerzo que se genera sobre el mismo en presencia de las cargas.

**Figura 168.**

*Uniones atornilladas sistema de sujeción de cabezal de impresión*



**Nota.** A partir de las características del montaje mostrado anteriormente, se evidencia que la unión atornillada está sometida a esfuerzo cortante producido por la fuerza ejercida por la masa del cabezal de impresión.

Siendo  $F$  la carga producida por la masa del cabezal de impresión y las propiedades de los elementos roscados referenciadas (Ver anexo 2) el esfuerzo sobre el elemento roscado será:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{116,2476N}{5E8Pa} = 2,3249E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,3249E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,72039E^{-4}m = 0,2720mm$$

$$\phi = 2r = 0,54407mm$$

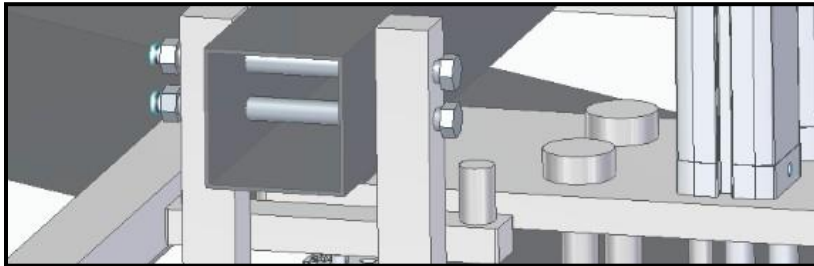
A partir del diámetro calculado se establece que el tornillo adecuado para la aplicación sería uno de designación de rosca M6, sin embargo, debido a la longitud del elemento que se requiere para efectuar la unión (100 mm), se emplea un tornillo de cabeza

hexagonal de rosca M7 ya que la rosca M6 se restringe a longitudes de tan solo 60 mm.

Para la sección que conecta el elemento de fijación con el perfil que sostiene el cabezal de impresión, se emplea el arreglo de buje y tornillo de la siguiente figura.

**Figura 169.**

*Fijación del cabezal de impresión con el perfil estructural*



**Nota.** Mediante la imagen anterior se evidencia que tanto el buje como el tornillo están bajo un esfuerzo cortante doble producido por la fuerza que ejerce el peso del cabezal y los elementos de fijación (116,2476N).

Teniendo en cuenta las propiedades de la unión roscada (Ver anexo 2) el área mínima del tornillo será:

$$\sigma = \frac{F}{2A}$$

$$A = \frac{F}{2\sigma} = \frac{116,2476N}{2 * 5E8Pa} = 1,1624E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,1624E^{-7}m^2}{\pi}} = 1,9236E^{-4}m = 0,19236mm$$

$$\phi = 2r = 0,38472mm$$

Si bien el diámetro requerido es bastante pequeño, se emplea la referencia de tornillo de rosca M7, debido a la longitud del elemento que se requiere para realizar el montaje (110 mm).

Teniendo en cuenta que el material seleccionado es acero ASTM A500 el área mínima del buje será:

$$\sigma_y = 2,95E^8 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8 \text{ pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6 \text{ pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{2A}$$

$$A = \frac{F}{2 * \sigma_{adm}} = \frac{116,2476N}{2 * 265,5E^6 \text{ pa}} = 2,18922E^{-7} \text{ m}^2 = 0,2189 \text{ mm}^2$$

Una vez establecida el área mínima para el buje, el diámetro interior es de 7mm debido a la unión atornillada que se va a emplear:

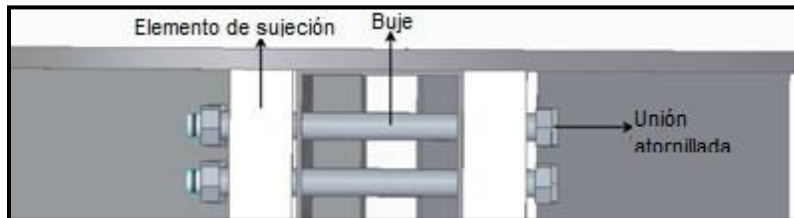
$$A = \pi(r_{ext}^2 - r_{int}^2)$$

$$r_{ext} = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_{int}^2} = \sqrt{\frac{0,2189 \text{ mm}^2}{\pi} + 3,5 \text{ mm}^2} = 3,5021 \text{ mm}$$

Para obtener un buje con medidas sencillas de fabricar se toma un buje de diámetro interior de 7mm y espesor de pared de 1 mm. Para garantizar la correcta sujeción de los cabezales y evitar el desplazamiento angular, se emplean por cada par de elementos de sujeción el siguiente arreglo buje tornillo.

**Figura 170.**

*Ensamble sujeción cabezal de impresión con estructura*

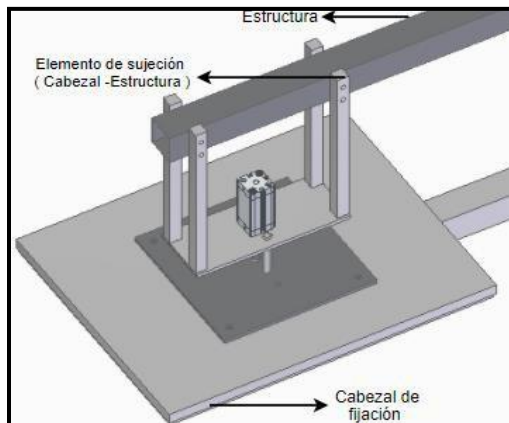


**Nota.** Para cada uno de los puntos donde se lleva a cabo la sujeción se emplea el montaje referenciado en la figura anterior.

#### **4.4.2. Diseño de los elementos de conexión sistema de fijación - estructura**

**Figura 171.**

*Sujeción de cabezal de fijación*



**Nota.** Para la sujeción del cabezal de fijación se emplea un arreglo que permita soportarlo mediante un perfil estructural, en dos secciones del cabezal.

A partir del ensamble mostrado anteriormente, en los elementos que conectan el cabezal de fijación con la estructura principal, se obtiene que este se encuentra sometido a una fuerza de tensión generada por la masa total del cabezal. Para este caso, F es la fuerza de tensión generada por la masa total del cabezal de fijación y secado sobre el elemento de sujeción.

$$F = M_{\text{cabezal de fijación}} * g$$

$$F_c = 14kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 137,2N$$

Para el diseño del elemento se tiene en cuenta que siendo aluminio 6061- O:

$$\sigma_y = 55Mpa = 5,5E7pa$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(5,5E7pa)$$

$$\sigma_{adm} = 49,5E6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

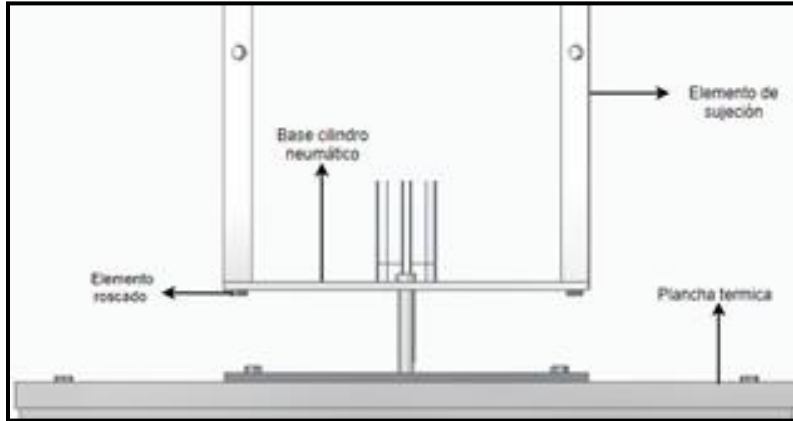
$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{137,2N}{49,5E6pa} = 2,7717E^{-6}m^2 = 2,7717mm^2$$

Para la selección de los elementos roscados que acompañan al elemento de sujeción del sistema de fijación se plantea el siguiente montaje.



**Figura 172.**

*Sujeción del sistema de fijación*



**Nota.** De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente y las propiedades del material en el que están fabricados los tornillos de la empresa Gutemberto (ver anexo 2), se dimensionan las uniones atornilladas.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{137,2N}{5E^8Pa} = 2,744E^{-7}m^2$$

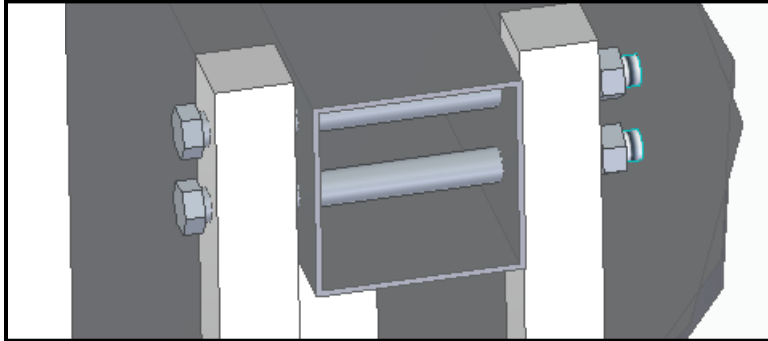
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,744E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,9554E^{-4}m = 0,2955mm$$

$$\phi = 2r = 0,59108mm$$

Teniendo en cuenta el diámetro calculado, se emplea un elemento de rosca M6 del catálogo de Gutemberto de 50 mm de longitud para esta aplicación, dado que es la designación más pequeña del catálogo. (Ver anexo 2). Al igual que en el cabezal de impresión, para la sección que conecta el elemento de fijación con el perfil que sostiene el cabezal de fijación, se emplea el siguiente arreglo de buje y tornillo:

**Figura 173.**

*Sujeción del sistema de fijación con el perfil estructural*



**Nota.** Tanto el buje como el tornillo están bajo un esfuerzo cortante producido por la fuerza que ejerce el peso del cabezal y los elementos de fijación (137,2N).

A partir de esto se calcula el área mínima que debe tener el buje y el elemento roscado teniendo en cuenta que se someten a esfuerzo cortante doble.

Teniendo en cuenta las propiedades del elemento roscado (ver anexo 2) el área mínima del tornillo será:

$$\sigma = \frac{F}{2A}$$

$$A = \frac{F}{2\sigma} = \frac{137,2N}{2 * 5E8Pa} = 1,372E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,1624E^{-7}m^2}{\pi}} = 2,08978E^{-4}m = 0,2089mm$$

$$\phi = 2r = 0,41795mm$$

Dado que el material seleccionado es acero ASTM A500 el área mínima del buje será:

$$\sigma_y = 2,95E^8pa$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8pa)$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{2A}$$

$$A = \frac{F}{2 * \sigma_{adm}} = \frac{137,2N}{2 * 265,5E^6pa} = 2,5838E^{-7}m^2 = 0,2583mm^2$$

Una vez establecida el área mínima para el buje, este se dimensiona teniendo en cuenta que el diámetro interior es de 7 mm debido a la unión atornillada que se va a emplear.

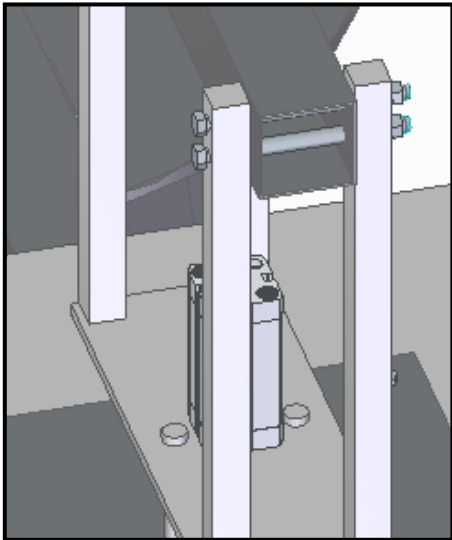
$$A = \pi(rint^2 - rint^2)$$

$$r_{ext} = \sqrt{\frac{A}{\pi} + r_{int}^2} = \sqrt{\frac{0,2583mm^2}{\pi} + 3,5mm^2} = 3,5030mm$$

De acuerdo a las dimensiones mínimas calculadas para el tornillo y para el buje, se establece que se emplearán los diámetros y el tipo de rosca que se utilizaron para el cabezal de impresión, empleando el siguiente arreglo:

## Figura 174.

*Sujeción del cabezal de fijación  
con el sistema estructural*



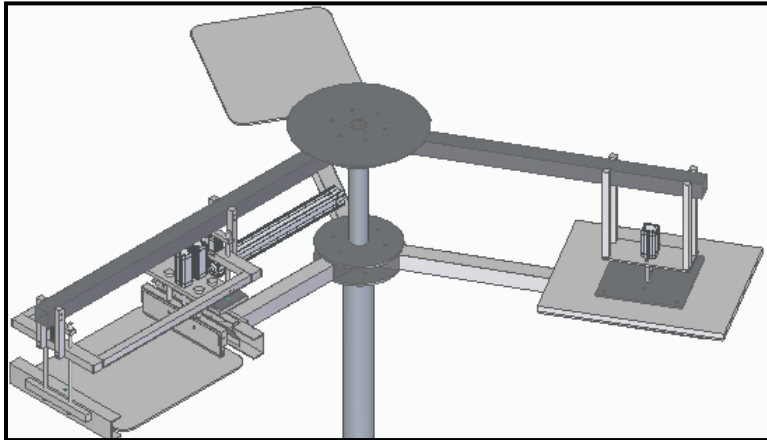
**Nota.** Al igual que en el cabezal de impresión, se emplea el arreglo de bujes y tornillo para ambos puntos de conexión con la estructura principal.

### ***4.4.3. Selección del perfil estructural para la sujeción de los sistemas de impresión y fijación***

Con el propósito de conectar los cabezales a un punto de referencia fijo de la máquina que permita soportar los pesos de los mismos, los elementos de sujeción de la etapa de impresión y fijación estarán conectados a perfiles de acero estructural de la siguiente manera:

**Figura 175.**

*Ensamble cabezales – estructura principal*

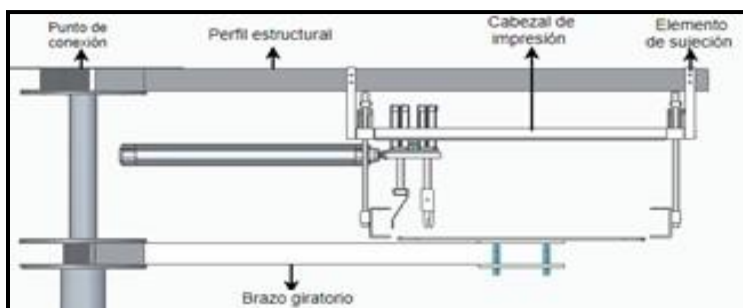


**Nota.** Los perfiles estructurales que brindan sujeción a los cabezales se encuentran alineados con las posiciones de los brazos giratorios en los momentos en los que se dan las etapas.

En el caso del cabezal de impresión se tiene la siguiente situación:

**Figura 176.**

*Sujeción cabezal de impresión*

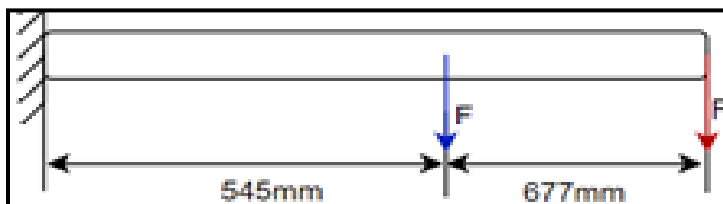


**Nota.** El perfil estructural debe estar en capacidad de soportar el peso del cabezal de impresión, conectado a un punto de referencia fijo central de la máquina.

A partir de los elementos incorporados en el sistema, se plantea el perfil estructural como un elemento empotrado en su extremo que se encuentra bajo la presencia de las cargas ejercidas por la masa de las piezas que conforman el cabezal de impresión, distribuidas en los puntos de apoyo como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 177.**

*Planteamiento del problema perfil estructural cabezal de impresión*

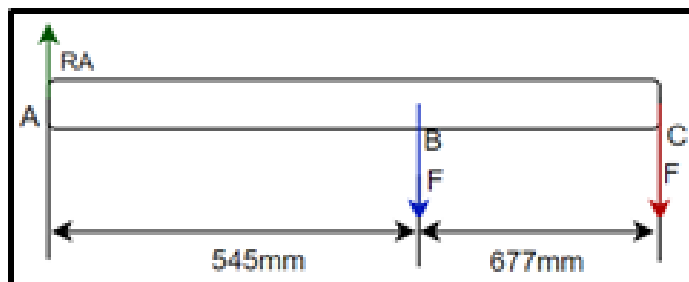


**Nota.** Para el análisis del perfil estructural, se analiza el elemento como una viga empotrada en uno de sus extremos.

Realizando el diagrama de cuerpo libre del elemento mostrado anteriormente se obtiene:

**Figura 178.**

*Diagrama de cuerpo libre perfil estructural cabezal de impresión*



**Nota.** Mediante el diagrama de cuerpo libre se plantean las ecuaciones de equilibrio del elemento.

Donde:

RA = Son las reacciones en los apoyos.

F= Fuerza ejercida por la masa del cabezal de impresión y las barras de sujeción estructural seleccionadas previamente dividida en dos (debido a que hay dos puntos en los que se apoya el peso del ensamble).

$$F = M_{ensamble} * g$$
$$F = \frac{10,33kg * 9,8 \frac{m}{s^2}}{2} = \frac{101,234N}{2} = 50,617N$$

A partir de las fuerzas obtenidas, se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum FY = 0$$

$$RA - FB - FC = 0$$

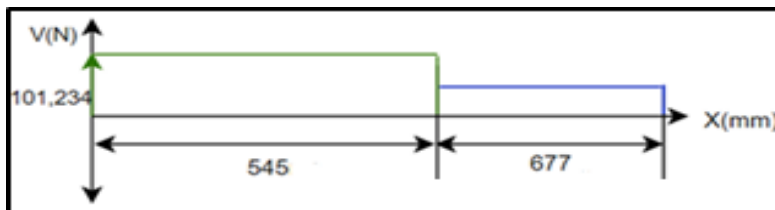
$$RA = FB + FC$$

$$RA = FB + FC = 50,617N + 50,617N = 101,234N$$

Mediante la reacción calculada se elabora el diagrama de esfuerzo cortante

**Figura 179.**

*Diagrama de esfuerzo cortante perfil cabezal de impresión*



**Nota.** A partir del diagrama de cortante se establecen los momentos máximos que actúan sobre el elemento.

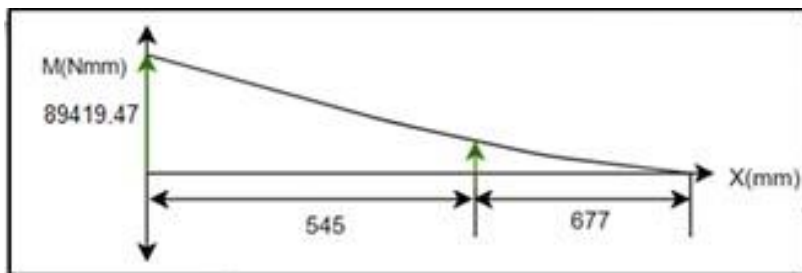
$$M1 = 545\text{mm} * 101,234\text{N} = 55071,296\text{Nmm}$$

$$M2 = 677\text{mm} * 50,617\text{N} = 34267,709\text{Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo:

**Figura 180.**

*Diagrama de momento flector perfil cabezal de impresión*



**Nota.** A partir del diagrama el momento máximo es 89419,47 Nmm.

Para establecer el módulo de sección se tienen en cuenta las propiedades del acero ASTM A-500 grado C y se obtiene:

$$\sigma_y = 295\text{Mpa} = 2,95E^8\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

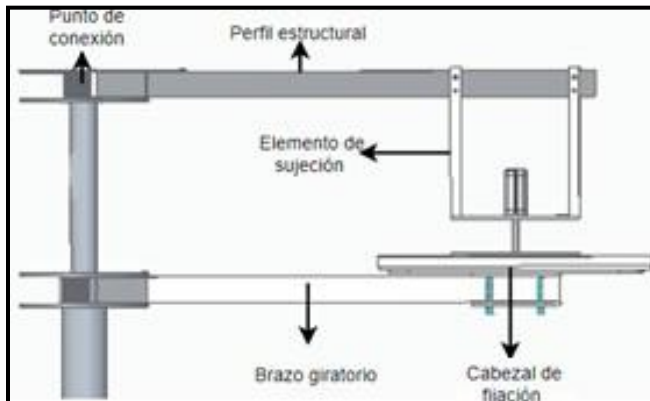
$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{89,4194\text{Nm}}{265,5E^6\text{pa}} = 3,36796E^{-7}\text{m}^3 = 0,3367\text{cm}^3$$



De manera similar para el perfil estructural que soporta el cabezal de fijación, se tiene la siguiente situación:

**Figura 181.**

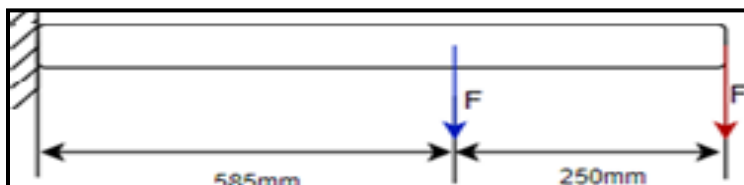
*Sujeción cabezal de fijación*



**Nota.** El perfil estructural debe estar en capacidad de soportar el peso del cabezal de impresión, conectado a un punto de referencia fijo central de la máquina.

**Figura 182.**

*Planteamiento del problema perfil cabezal de fijación.*

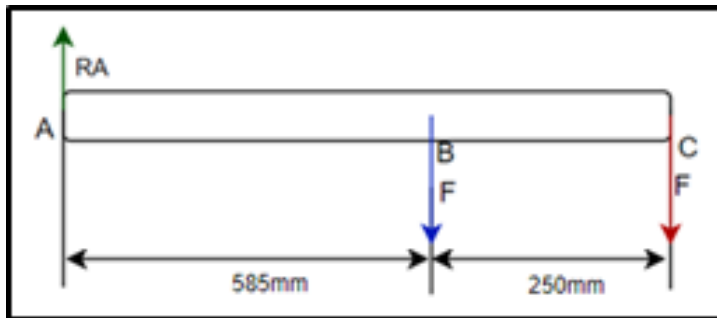


**Nota.** Así como en el cabezal de impresión, se plantea el perfil estructural como un elemento empotrado en su extremo, que se encuentra bajo la presencia de las cargas ejercidas por la masa de las piezas que conforman el cabezal de fijación.

Donde realizando el diagrama de cuerpo libre del elemento mostrado anteriormente se obtiene.

**Figura 183.**

*Diagrama de cuerpo libre, perfil cabezal de fijación*



**Nota.** Mediante el diagrama de cuerpo libre se plantean las ecuaciones de equilibrio del elemento.

Donde:

RA = Es la reacción en el apoyo.

F= Fuerza ejercida por la masa del cabezal de impresión y las barras de sujeción estructural seleccionadas previamente dividida en dos (debido a que hay dos puntos en los que se apoya el peso del ensamble).

$$F = M_{ensamble} * g$$
$$F = \frac{16kg * 9,8 \frac{m}{s^2}}{2} = \frac{156,8N}{2} = 78,4N$$

A partir de las fuerzas obtenidas, se plantean las ecuaciones de equilibrio

$$\sum FY = 0$$

$$RA - FB - FC = 0$$

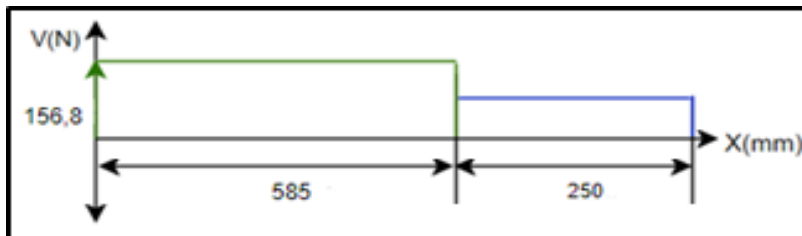
$$RA = FB + FC$$

$$RA = FB + FC = 78,4N + 78,4N = 156,8N$$

Mediante la reacción calculada se elabora el diagrama de esfuerzo cortante:

**Figura 184.**

*Diagrama de esfuerzo cortante, perfil cabezal de fijación*



**Nota.** A partir del diagrama de cortante se establecen los momentos máximos que actúan sobre el elemento.

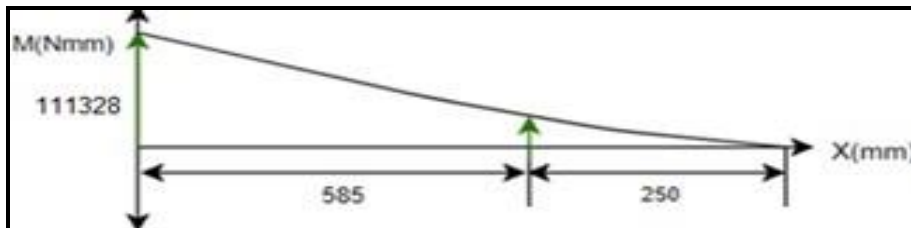
$$M1 = 585mm * 156,8N = 91728Nmm$$

$$M2 = 250mm * 78,4N = 19600Nmm$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo:

**Figura 185.**

*Diagrama de momento flector, perfil cabezal de fijación*



**Nota.** a partir del diagrama el momento máximo es 111328 Nmm.

Para establecer el módulo de sección se tienen en cuenta las propiedades del acero ASTM A-500 grado C y se obtiene:

$$\sigma_y = 295 \text{Mpa} = 2,95E^8 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8 \text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

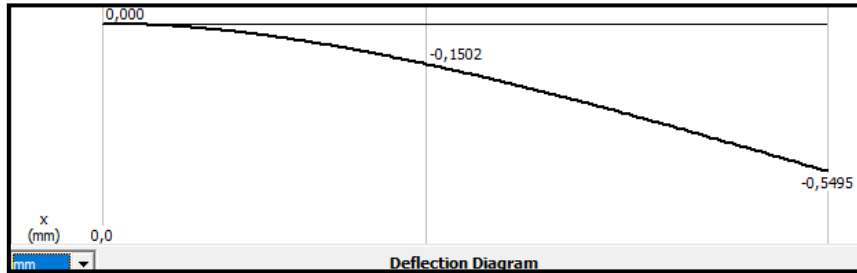
$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{111,328 \text{Nm}}{265,5E^6 \text{pa}} = 4,1931E^{-7} \text{m}^3 = 0,4193 \text{mm}$$

Sabiendo que el momento flector máximo presente en los perfiles estructurales que soportan los cabezales está presente en el área de fijación, la selección del perfil adecuado se hace a partir del módulo de sección transversal obtenido en esta. El valor del módulo de sección del perfil seleccionado, deberá ser igual o mayor que el calculado para para el cabezal de fijación. Por lo tanto, se emplea un perfil cuadrado de 60x60 mm del catálogo de aceros de soluciones tubulares para cada uno de los cabezales. (Ver anexo 5).

Con el perfil seccionado para el cabezal de impresión se obtiene la siguiente deflexión:

**Figura 186.**

*Deflexión sobre cabezal de impresión*

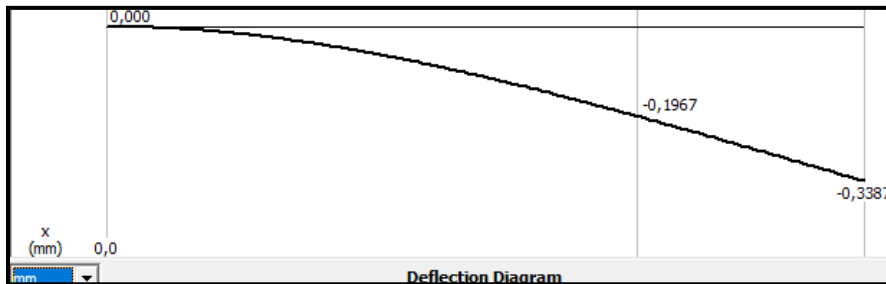


**Nota.** La deflexión se estimó a partir de las características del material y las dimensiones del elemento. Tomado de MDsolids.

De igual manera para el cabezal de fijación se obtiene:

**Figura 187.**

*Deflexión sobre cabezal de fijación*



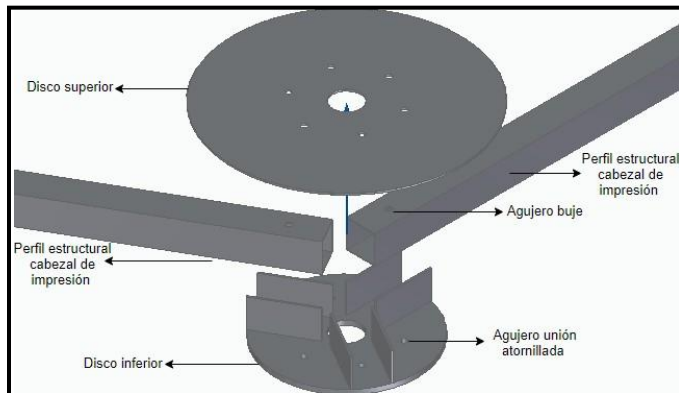
**Nota.** La deflexión se estimó a partir de las características del material y las dimensiones del elemento. Tomado de MDsolids.

Aplicando un criterio de media precisión, para la deflexión permisible de los perfiles que soportan los cabezales de impresión y fijación se obtiene que las características del elemento calculado son adecuadas.

Para garantizar que los perfiles que soportan el peso de los cabezales se mantengan en el punto de conexión central de la máquina se propone el siguiente arreglo:

**Figura 188.**

*Ensamble perfiles y discos estructurales.*



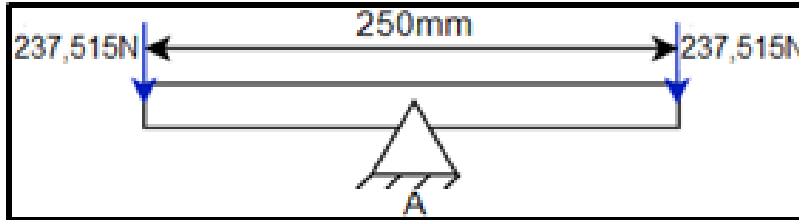
**Nota.** El ensamblaje mostrado en la imagen anterior, consiste en la sujeción de los perfiles estructurales de los cabezales mediante dos discos.

Ambos poseen un total de seis agujeros pasantes en sus caras, de los cuales tres serán empleados para la unión del conjunto general mientras que los restantes serán utilizados para la sujeción de los brazos mediante bujes que impidan la deformación de los mismos. Adicionalmente, el disco inferior posee en una de sus caras, seis placas de acero soldadas cuya finalidad es impedir el desplazamiento angular de los perfiles, los cuales estarán apoyados en el espacio que se encuentra entre las placas a un ángulo de  $120^\circ$  entre sí.

Para determinar el espesor requerido para el par de discos se analizan de manera similar a los discos de unión de los brazos giratorios, se supone al disco inferior como una barra.

**Figura 189.**

*Planteamiento del problema para disco estructura central*

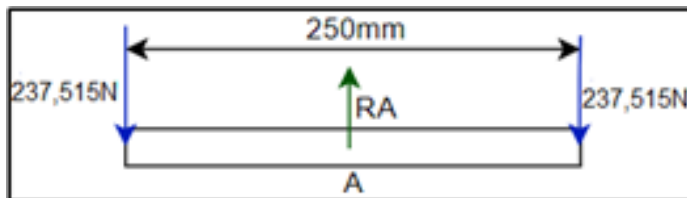


**Nota.** Las fuerzas en los extremos contemplan la reacción en el poyo obtenida mediante el análisis del perfil (156,8 N) y la fuerza generada por el peso del perfil (80,7155 N).

A partir de la situación planteada se obtiene el siguiente diagrama de cuerpo libre:

**Figura 190.**

*Diagrama de cuerpo libre disco estructura central*



**Nota.** Mediante el diagrama de cuerpo libre se plantean las ecuaciones de equilibrio del elemento.

$$\sum F_Y = 0$$

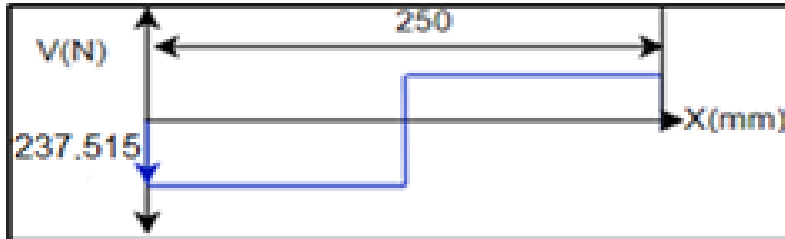
$$-237,15 - 237,15 + RA = 0$$

$$RA = 475,031N$$

A partir de las fuerzas calculadas se elabora el diagrama de esfuerzo cortante:

**Figura 191.**

*Diagrama de esfuerzo cortante disco estructura central*



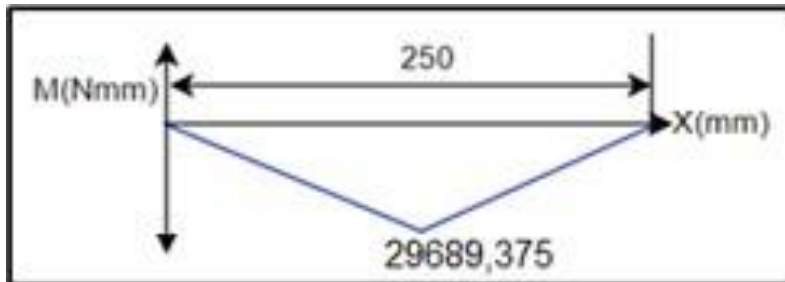
**Nota.** A partir del diagrama de cortante se establecen los momentos máximos que actúan sobre el elemento.

$$M1 = M2 = 125\text{mm} * 237,515\text{N} = 29689,375\text{Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo.

**Figura 192.**

*Diagrama de momento flector disco estructura central*



**Nota.** A partir del diagrama se establece que el momento máximo de 29,688 Nm.

Para establecer el módulo de sección se tienen en cuenta las propiedades del acero ASTM A-500 grado C y se obtiene:

$$\sigma_y = 295\text{Mpa} = 2,95\text{E}^8\text{pa}$$



$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8pa)$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{29,6893Nm}{265,5E^6pa} = 1,1182E^{-7}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 5,1805E^{-3}mm = 0,05180mm$$

Para hacer un solo proceso de selección y no adquirir dos placas de diferentes características se dejan las mismas dimensiones de los discos de los brazos giratorios; una placa de 6,35 mm de espesor. De igual manera, se emplea el mismo cordón de soldadura para las placas que restringen el movimiento angular de los perfiles estructurales de los brazos giratorios, esto se establece debido a que las placas de esta sección no soportan carga en sus caras producto del movimiento de los brazos por lo tanto no se generan esfuerzos sobre ellos.

En el caso de las uniones atornilladas que mantiene ambos discos asociados, se establece que los empleados para la unión de los discos de los brazos giratorios son adecuados ya que en el análisis a tensión se evidencia que soportan una carga mayor de la que debe soportar en esta sección.

Teniendo en cuenta las dimensiones y los materiales de cada uno de los elementos del ensamble mostrado en la figura 191, la masa total conjunto es:

$$MT = M_{discos} + M_{perfiles}$$

**Figura 193.**

*Masa disco superior e inferior*

Sistema de coordenadas:	Masa:	Volumen:
Espacio modelo	9,122 kg	1176995,869 mm <sup>3</sup>

**Nota.** E peso del conjunto se estableció a partir de las dimensiones de los elementos y las características del material que los componen. Tomado de Solid Edge.

Mediante el anexo 5, se determina el peso del perfil estructural para cada uno de los cabezales de la siguiente manera:

$$M_{\text{perfil impresión}} = 12,93 \frac{Kg}{m} * 1,222m = 15,55606Kg$$

$$M_{\text{perfil fijación}} = 12,93 \frac{Kg}{m} * 0,835m = 10,62955Kg$$

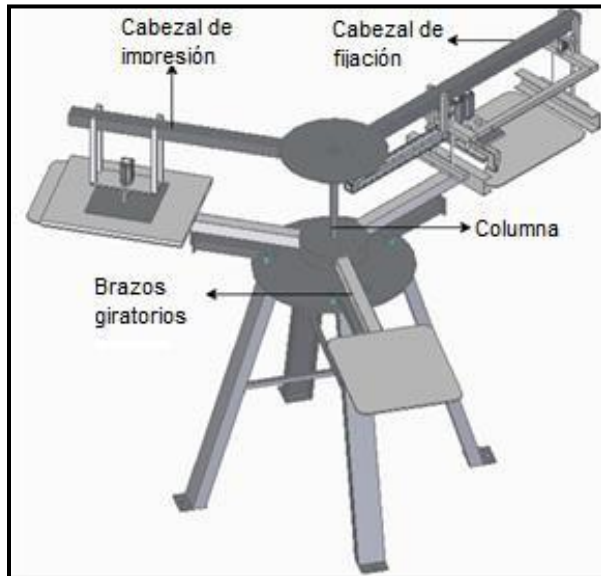
$$MT_{\text{perfiles}} = 10,62955Kg + 15,55606Kg + 9,122Kg = 35,30761kg$$

#### **4.4.4. Diseño de la columna central**

En esta sección se evidencia el dimensionamiento del elemento central que se encarga de soportar las estructuras y los componentes de los cabezales de impresión y de fijación como se muestra a continuación.

**Figura 194.**

*Ensamble de la columna y estructura central con los discos y brazos superiores*

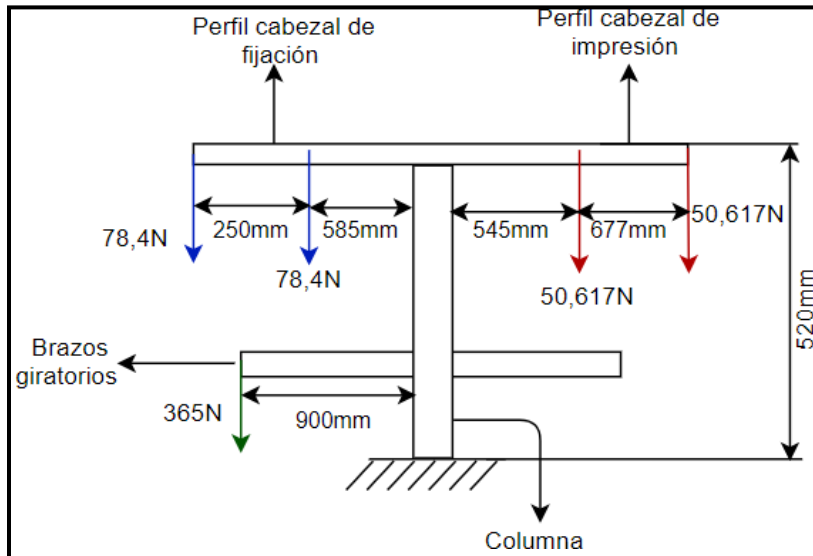


**Nota:** La columna es el elemento encargado de soportar los momentos generados por las masas sobre los perfiles estructurales de sujeción de cabezales.

Partiendo de que el soporte central se encuentra sometido a cargas axiales y excéntricas producto de la masa de los cabezales y sus componentes, para el análisis y dimensionamiento del mismo se plantea un análisis tipo columna de la siguiente manera:}

**Figura 195.**

*Planteamiento de problema para el análisis de la columna*

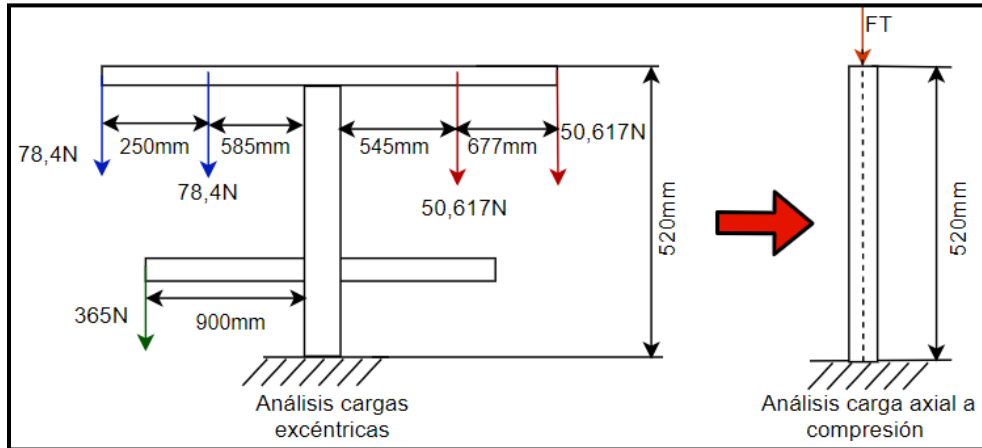


**Nota.** Para el análisis se contemplan las cargas excéntricas generadas por los diferentes pesos de los cabezales y de los brazos giratorios, que pueden llegar a afectar la columna de la estructura principal.

Descomponiendo el análisis se obtienen los siguientes casos:

**Figura 196.**

*Simplificación de análisis de la columna*

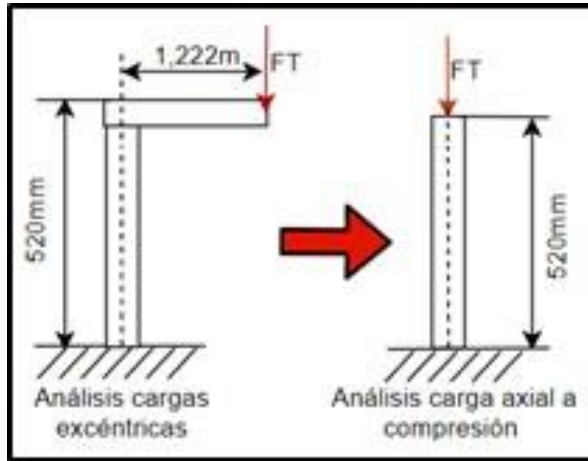


**Nota.** Para analizar la columna de manera adecuada, se plantean dos análisis, inicialmente se efectúa el análisis teniendo en cuenta las cargas excéntricas sobre la columna, posteriormente, se concentran las cargas sobre el eje de la columna para efectuar un análisis a compresión.

Para el análisis de cargas excéntricas se simplifica el análisis de la siguiente manera:

**Figura 197.**

*Simplificación análisis de carga excéntrica*



**Nota.** La carga FT Corresponde a la fuerza ejercida por la masa de los cabezales junto con su estructura, los discos de unión superior sumado a la fuerza que ejerce el cabezal de fijación en su operación.

La carga se posiciona a 1222 mm del centro de la columna dado que en ese punto es en donde se presenta el momento máximo.

$$FT = (35,30761kg + +16kg + 10,33) * 9,8 \frac{m}{s^2} + 365N = 969,04857N$$

El momento generado por la carga será:

$$MT = 969,04857N * 1,222m = 1184,177Nm$$

El esfuerzo por carga excéntrica que genera el cabezal sobre la columna está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = \frac{Mf * C}{I}$$

Donde:

Mf= Momento flector sobre la columna

C= Distancia desde el eje neutro hasta la parte externa del perfil

I= Momento de inercia del perfil

Dado un perfil tubular circular de 76,2 mm de diámetro exterior y 6,35 mm de espesor de pared perteneciente al catálogo de aceros colmena, (Ver anexo 15) se calcula el esfuerzo a flexión por carga excéntrica:

$$\sigma_1 = \frac{Mf * C}{I} = \frac{1184,177Nm * 0,0381m}{1,4111E^{-6}m^4} = 31,97Mpa$$

Analizando la columna por carga axial a compresión se tiene obtiene:

$$\sigma_2 = \frac{F}{A}$$

Teniendo en cuenta que en el proceso de fijación no se ejerce carga axial sobre el eje de la columna:

$$F = (35,30761kg + +16kg + 10,33) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 604.0485N$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A} = \frac{604,048578N}{\pi(1,647E^{-3})^2} = 70,88180Mpa$$

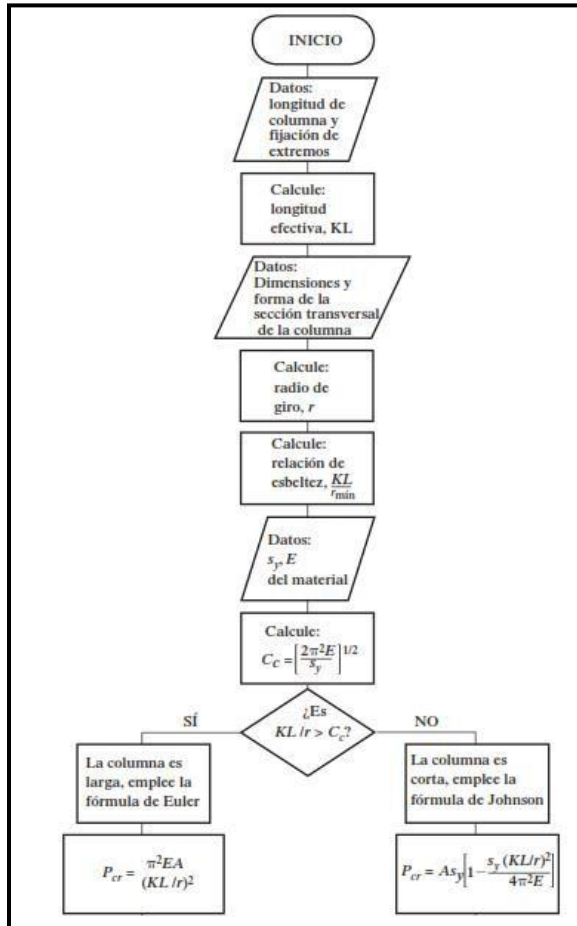
El esfuerzo real sobre la columna será:

$$\sigma = 70,88180Mpa + 31,97Mpa = 102,8518Mpa$$

Para establecer si la columna está en capacidad de soportar el esfuerzo al que está sometido, se calcula el esfuerzo máximo que esta puede soportar mediante el siguiente procedimiento:

**Figura 198.**

*Diagrama de flujo análisis de columnas*



**Nota.** La figura mostrada anteriormente evidencia el procedimiento para el dimensionamiento y verificación de la resistencia de una columna. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, “Diseño de elementos de máquinas,” 944, vol. 4, pp. 280–291, 2004.

Siguiendo el procedimiento mostrado anteriormente, inicialmente se establece la longitud efectiva de la columna mediante la siguiente expresión



$$L_e = K * L$$

Donde:

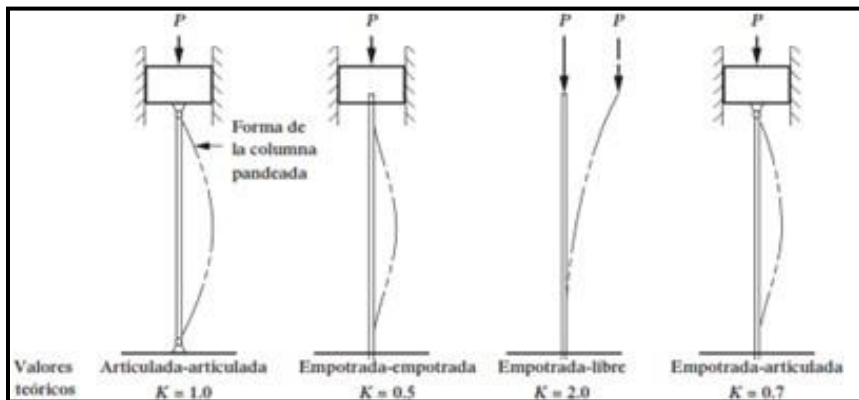
K= Constante que depende de los extremos de la columna y sus apoyos

L= Longitud real de la columna

Para establecer un valor de K se compara el caso de estudio con los casos mostrados a continuación

**Figura 199.**

*Comparación para establecer la constante K de una columna partir de una situación*



**Nota.** A partir del tipo de empotramiento que posea la columna en cuestión, se establece el valor de K. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, “Dieño de elementos de máquinas,” 944, vol. 4, pp. 280–291, 2004.

Puesto que la carga esta aplicada en un extremo libre y el restante se encuentra empotrado, el valor de K para este caso será igual a 2:

$$L_e = K * L = 2 * 0,52m = 1,04m$$

Posteriormente, mediante el catálogo se determina el radio de giro del perfil seleccionado, donde se obtiene:

$$r = 2,93\text{cm} = 0,0293\text{m}$$

A continuación, se calcula la relación de esbeltez de la columna mediante la siguiente expresión:

$$\frac{K * L}{r} = \text{Relacion de esbeltez}$$

$$\frac{K * L}{r} = \frac{2 * 0,52\text{m}}{0,0293\text{m}} = 35,4948$$

Consecutivamente, a partir del esfuerzo de fluencia ( $S_y$ ) y el módulo de elasticidad ( $E$ ) del material, se calcula la constante de la columna como se muestra a continuación:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200E^9\text{Pa}}{3,1577E^8\text{Pa}}} = 111,8135$$

Puesto que  $\frac{KL}{r} < C_c$ ; la columna es corta, por lo tanto, para determinar el esfuerzo máximo que puede soportar la columna se emplea la fórmula para carga crítica de Johnson, la cual establece:

$$P_{Cr} = A * S_y \left( 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right)$$

$$\frac{P_{Cr}}{A} = S_y \left( 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right)$$

$$\sigma_{Cr} = S_y \left(1 - \frac{K L^2}{4 \pi^2 E r^2}\right) = 3,1577 E^8 Pa \left(1 - \frac{3,1577 E^8 Pa (35,4948)^2}{4 \pi^2 (200 E^9 Pa)}\right)$$

$$= 299,8595 E^6 Pa$$

$$\sigma_{Cr} = 299,859 Mpa$$

Adicionalmente, sabiendo que el esfuerzo máximo en la sección media de la columna, el esfuerzo en ese punto será:

$$\sigma_{L/2} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec\left(\frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{P}{AE}}\right)\right]$$

$$\sigma_{L/2} = \frac{1184,177 Nm}{1,647 E^{-3} m^2} \left[1 + \frac{1,222 m * 0,0381 m}{0,0293 m^2} \sec\left(\frac{2(0,52 m)}{2(0,0293 m)} \sqrt{\frac{1184,177 Nm}{1,647 E^{-3} m^2 (200 E^9 Pa)}}\right)\right]$$

$$\sigma_{L/2} = 39,733929 Mpa$$

Realizando la comparación entre los esfuerzos calculados, se obtiene que tanto el esfuerzo a flexión en la zona crítica de la columna ( $\sigma_{L/2}$ ) como el esfuerzo combinado entre flexión y compresión ( $\sigma$ ) no son mayores que el esfuerzo máximo que esta pueda soportar ( $\sigma_{cri}$ ).

Otro factor determinante para garantizar el funcionamiento de la columna es la deflexión del eje central de la columna debido a la carga excéntrica, la cual se obtiene en el punto medio de la columna y se calcula mediante la siguiente ecuación: [16]

$$Y_{max} = e \left[\sec\left(\frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{P}{AE}}\right) - 1\right]$$

$$Y_{max} = 1,222m \left[ \sec \left( \frac{2(0,52m)}{2(0,0293m)} \sqrt{\frac{1184,177Nm}{1,647E^{-3}m^2 (200E^9 Pa)}} \right) - 1 \right]$$

$$Y_{max} = 0,69512mm$$

Aplicando un factor de deformación de media precisión, la deflexión máxima permitida en la columna será

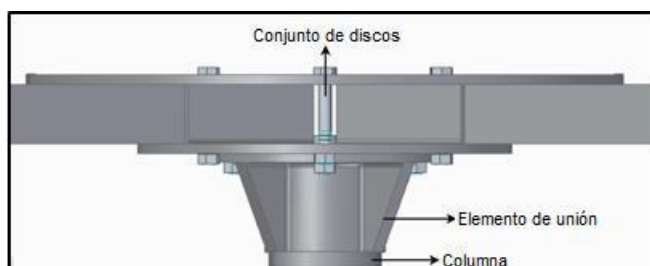
$$Y_{max \text{ columna}} = 0,0015 \frac{mm}{mm \text{ Longitud de viga}} * 520mm = 0,78mm$$

Por la deformación calculada y la obtenida mediante el criterio de la figura 48 aplicado a la columna, el elemento se encuentra en el rango y por lo tanto sus dimensiones y especificaciones son adecuadas

Por cuestiones de facilidad de ensamble y mantenimiento, se emplea el siguiente arreglo mediante un elemento que permite acoplar y desacoplar la columna principal de los brazos superiores.

### Figura 200.

*Ensamble de elemento de unión de columna y discos estructurales superiores*

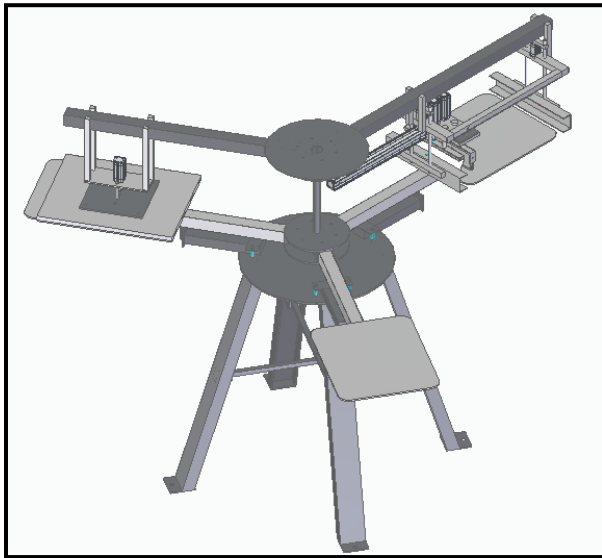


**Nota.** Este elemento no se encuentra soportando los momentos generados por las cargas en los perfiles que soporten los cabezales, ni la carga a compresión que generan estos en conjunto.

La parte complementaria del sistema de estructural principal, consiste en un conjunto de elementos que conforman una base sobre la cual se va a soportar todas las piezas de la máquina de serigrafía como se muestra a continuación:

**Figura 201.**

*Ensamble de elementos complementarios del sistema estructural*

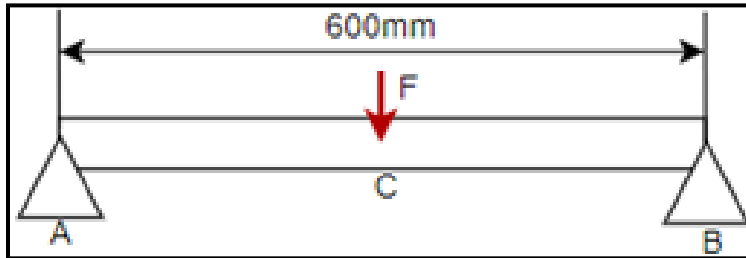


**Nota.** Como se evidencia en la imagen anterior, el sistema se complementa mediante una estructura de cuatro apoyos unidos mediante un disco central sobre el cual se soportará gran parte del peso de la máquina.

Teniendo en cuenta que la carga de los cabezales se concentra sobre la columna, al estar este en contacto con el disco central se obtiene la siguiente situación.

**Figura 202.**

*Planteamiento del problema disco central estructura*



**Nota.** Para analizar el elemento y establecer las dimensiones adecuadas para la aplicación, se analiza el disco como una barra apoyada en sus extremos.

Donde F representa el peso de los cabezales con sus estructuras (columna, perfiles de sujeción) y los brazos giratorios.

$$F = (M \text{ perfiles discos sujeción} + M \text{ cabezal fijación} + M \text{ cabezal impresión} + M \text{ conjunto brazos} + M \text{ columna}) * g$$

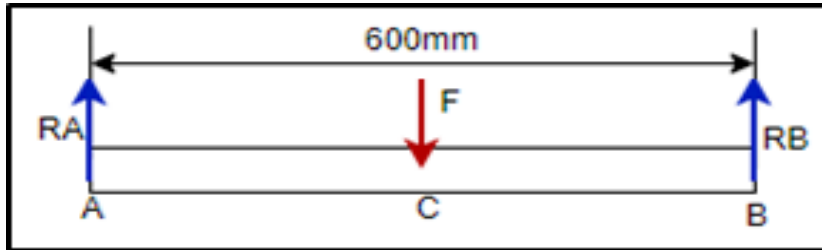
$$F = (35,30761kg + 16kg + 10,33kg + 24,281kg + 6,7236kg) * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 908,129N$$

A partir de la situación presentada, se establece el diagrama de cuerpo libre del elemento obteniendo:

**Figura 203.**

*Diagrama de cuerpo libre del disco central de la estructura*



**Nota.** Mediante el diagrama de cuerpo libre se obtiene las ecuaciones de equilibrio para el elemento.

Estableciendo las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\sum FY = 0$$

$$RA + RB - 908,129N = 0$$

$$RA + RB = 908,129N$$

$$\sum MA = 0$$

$$-(908.129N \times 300mm) + 600RB = 0$$

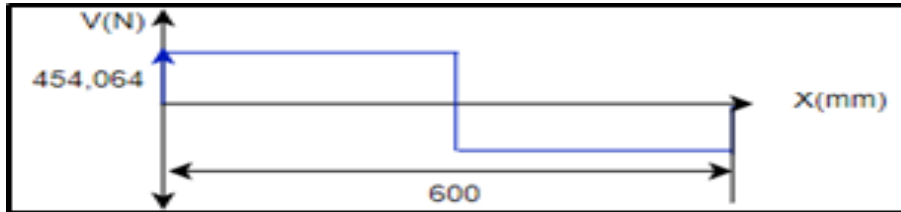
$$-272438,7Nmm + 250Rb = 0$$

$$RB = \frac{272438,7Nmm}{600mm} = 454,0645N$$

$$RA = 908,129N - 454,0654N = 454,0654N$$

**Figura 204.**

*Diagrama de esfuerzo cortante del disco central de la estructura*



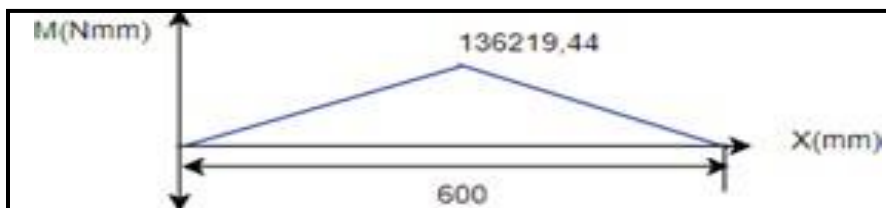
**Nota.** A partir del diagrama de cortante, se establecen los momentos actuantes sobre el elemento.

$$M1 = M2 = 300\text{mm} * 454,064\text{N} = 136219,2\text{Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo:

**Figura 205.**

*Diagrama de momento flector del disco central de la estructura*



**Nota.** Se establece que el momento máximo sobre la columna es 136219,44 Nmm.

Para el dimensionamiento del elemento se tienen en cuenta las siguientes características del acero ASTM-A500 grado C:

$$\sigma_y = 295\text{Mpa} = 2,95E^8\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8\text{pa})$$



$$\sigma_{adm} = 265,5E^6pa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{136,219Nm}{265,5E^6pa} = 5,13065E^{-7}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

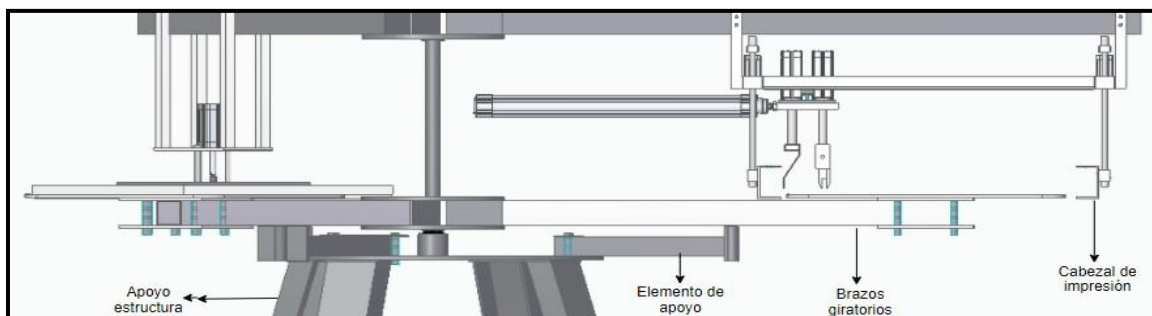
$$h = 2,2650E^{-3}m = 2,2650mm$$

Para garantizar una deformación cercana al valor inferior del rango de media precisión, se asigna un espesor comercial de 8 mm. (Ver anexo 7).

Adicionalmente, la estructura cuenta con tres elementos que sirven de apoyo y soporte para los brazos giratorios, en el momento en el que estos se encuentren en las posiciones de los cabezales.

### Figura 206.

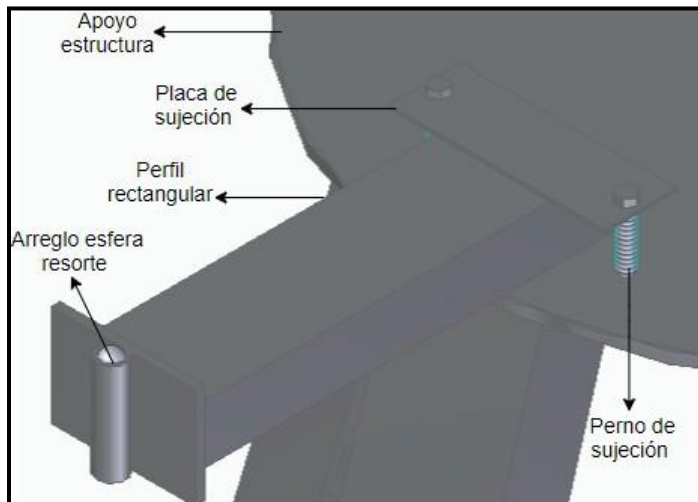
*Inclusión del elemento de apoyo de brazos giratorios*



**Nota.** Como se evidencia en la figura anterior, la función del elemento de apoyo es disminuir el momento flector máximo y la deflexión presente en los brazos giratorios, creando un nodo adicional sobre el perfil que permite que las cargas se distribuyan en dos puntos en lugar de uno.

**Figura 207.**

*Composición del elemento de apoyo de brazos giratorios*



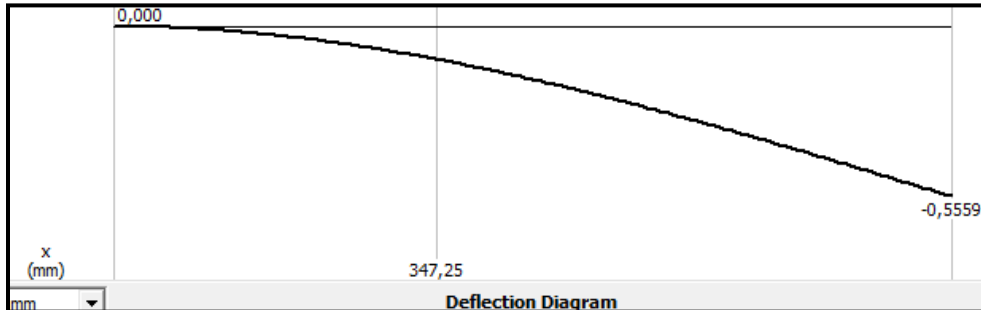
**Nota.** El elemento en su totalidad consiste en un perfil rectangular de acero A36 empotrado al disco central de la estructura mediante un arreglo de pernos y una placa de acero del mismo material.

En el extremo libre del perfil se encuentra soldada una placa que cuenta con un arreglo de esfera y resorte; cuando los perfiles de la mesa giratoria se encuentran con este arreglo, la presión sobre la esfera hace que el resorte se comprima y se extienda únicamente cuando la esfera no esté en contacto con nada.

Como se menciona anteriormente, lo que se pretende es reducir el momento flector sobre las mesas giratorias, el cual antes del arreglo presentado era del orden de 320,4 Nm, mientras que su deflexión por la carga a la cual está sometida sería:

**Figura 208.**

*Momento flector sobre las mesas giratorias sin el elemento de apoyo*

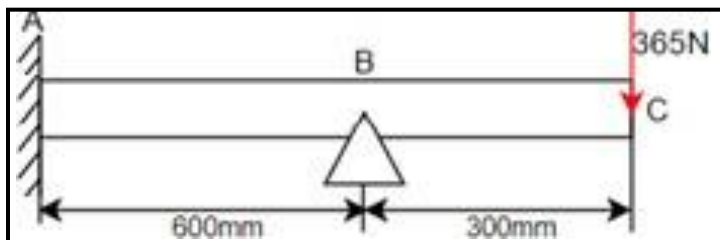


**Nota.** Si bien la deflexión sobre los brazos es menor a 1 mm para garantizar el correcto funcionamiento de los cabezales, se debe reducir al máximo la deflexión, este teniendo en cuenta que la variación de la posición de las mesas de trabajo, afectarían los actuadores asociados al cabezal de impresión y fijación.

Con la implementación del arreglo mostrado en la figura 206 se genera el siguiente caso de estudio:

**Figura 209.**

*Caso de estudio, análisis del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo*

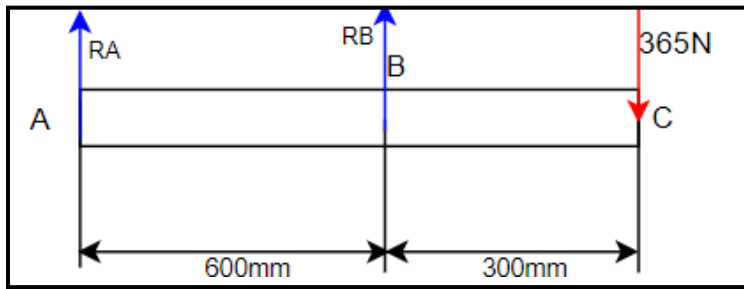


**Nota.** El nuevo análisis para los brazos giratorios incluye un nuevo apoyo que restringe la deflexión del elemento.

Realizando el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

**Figura 210.**

*Diagrama de cuerpo libre del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo*



**Nota.** A partir del diagrama, se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum FY = 0$$

$$RA + RB - 365N = 0$$

$$RA + RB = 365N$$

$$\sum MA = 0$$

$$-(365N \times 900mm) + 600mmRb = 0$$

$$-328500Nmm + 600mmRb = 0$$

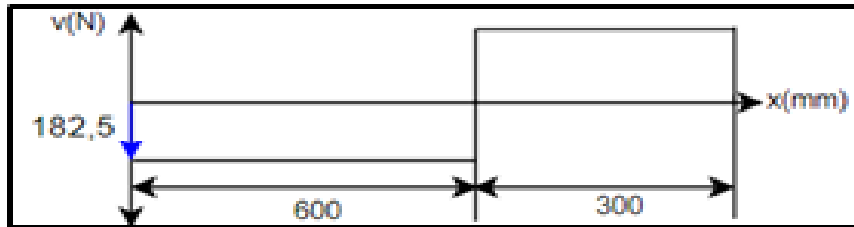
$$Rb = \frac{328500Nmm}{600mm} = 547,5N$$

$$RA = 365N - 547,5N = -182,5N$$

Mediante la reacción calculada se elabora el diagrama de esfuerzo cortante:

**Figura 211.**

*Nuevo diagrama de esfuerzo cortante del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo*



**Nota.** Mediante la figura se establecen los momentos que actúan sobre el elemento.

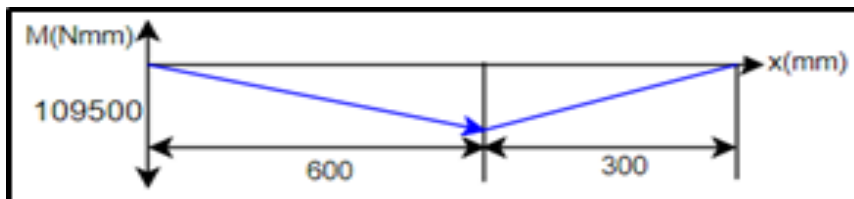
$$M1 = 600mm * 182,5N = 109500Nmm$$

$$M2 = 300mm * 365N = 109500Nmm$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo:

**Figura 212.**

*Nuevo diagrama de momento flector del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo*

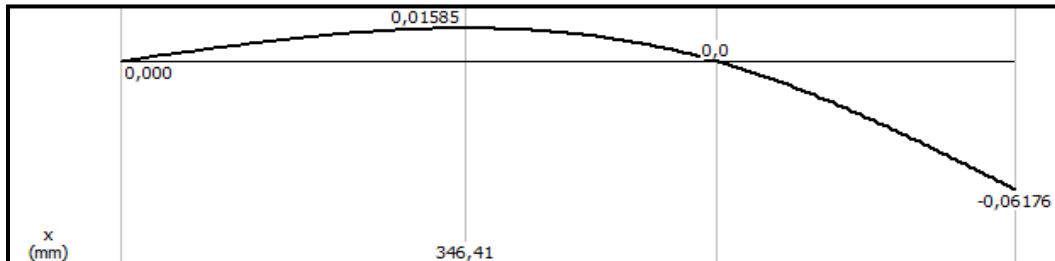


**Nota.** Comparando el momento flector máximo obtenido en la figura 207, se puede evidenciar la capacidad del arreglo ya que el momento flector máximo disminuyó en un 65,82%, pasando de 320,4 Nm a 109,5 Nm.

Analizando la nueva flexión en el brazo giratorio se obtiene:

**Figura 213.**

*Nueva deflexión del perfil de los brazos giratorios en presencia del elemento de apoyo*



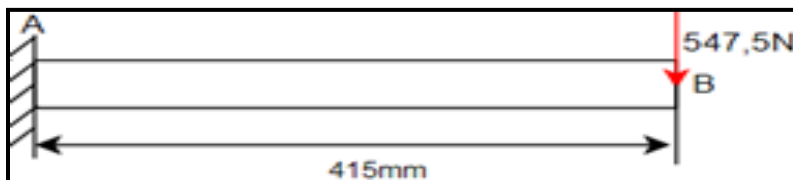
**Nota.** Mediante la nueva deflexión se establece que mediante la implementación del nuevo elemento la deflexión de los brazos giratorios se reduce un 88,89% pasando de 0,555mm a 0,06176mm de deflexión máxima. Tomado de MDsolids.

#### **4.4.5. Selección del perfil rectangular del elemento de apoyo**

A partir del análisis de los brazos giratorios soportados sobre elemento de apoyo se establecen las condiciones de operación de dicho elemento obteniendo el siguiente caso de estudio:

**Figura 214.**

*Caso de estudio elemento de apoyo de brazos giratorios*

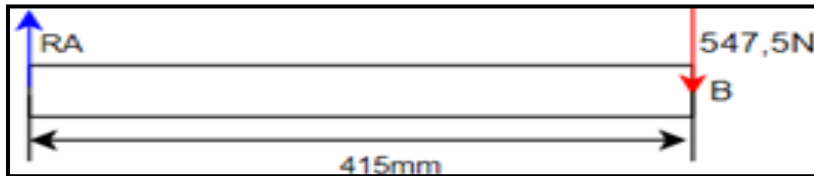


**Nota.** La carga del punto que se observa en la figura, es la reacción en el apoyo que se genera sobre el punto B del caso de estudio del elemento de apoyo.

Donde realizando el diagrama de cuerpo libre se obtiene:

**Figura 215.**

*Caso de estudio elemento de apoyo de brazos giratorios*



**Nota.** Al analizar el elemento como un elemento empotrado en su extremo, se obtiene una única reacción.

A partir del diagrama, se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum FY = 0$$

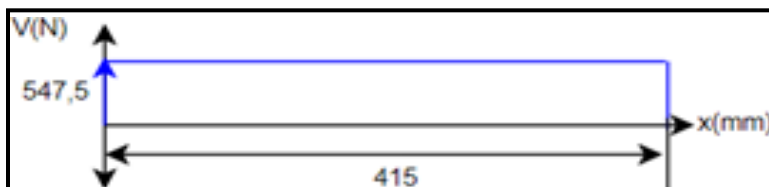
$$RA - 547,5N = 0$$

$$RA = 547,5N$$

Mediante la carga calculadas se elabora el diagrama de esfuerzo cortante

**Figura 216.**

*Diagrama de esfuerzo cortante del elemento de apoyo de brazos giratorios*



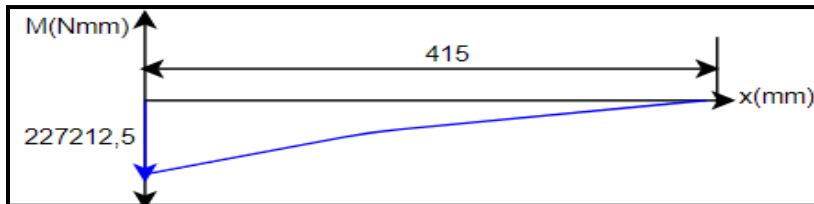
**Nota.** A partir del diagrama de cortante, se establece el momento flector actuante sobre el elemento.

$$M1 = 415\text{mm} * 547,5\text{N} = 227212,5\text{Nmm}$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector máximo.

**Figura 217.**

*Diagrama de momento flector del elemento de apoyo de brazos giratorios*



**Nota.** La figura mostrada anteriormente muestra el valor del momento flector sobre el elemento (227,12 Nm) y el punto donde se genera.

Para la selección del perfil se tienen en cuenta las propiedades del acero A-36:

$$\sigma_y = 295\text{Mpa} = 2,95\text{E}^8\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95\text{E}^8\text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5\text{E}^6\text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

Calculando el módulo de sección:

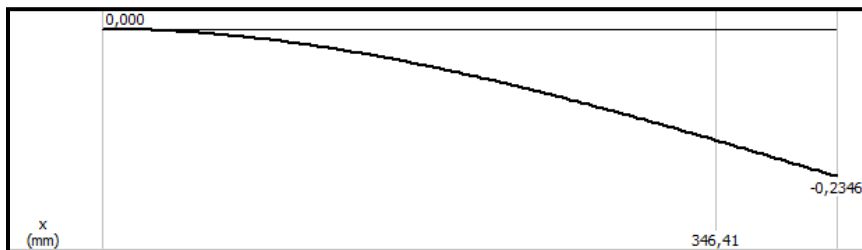


$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{227,2125Nm}{265,5E^6pa} = 8,5579E^{-7}m^3 = 0,8557cm^3$$

A partir del módulo de sección calculado se establece el perfil adecuado para la aplicación, en este caso será de 60x60 con 3mm de espesor. (Ver anexo 5). Teniendo en cuenta las características del perfil seleccionado y un rango de precisión media para deformación del elemento en cuestión, se obtiene la deflexión del elemento de apoyo.

### Figura 218.

*Deflexión del elemento de apoyo de los brazos giratorios*

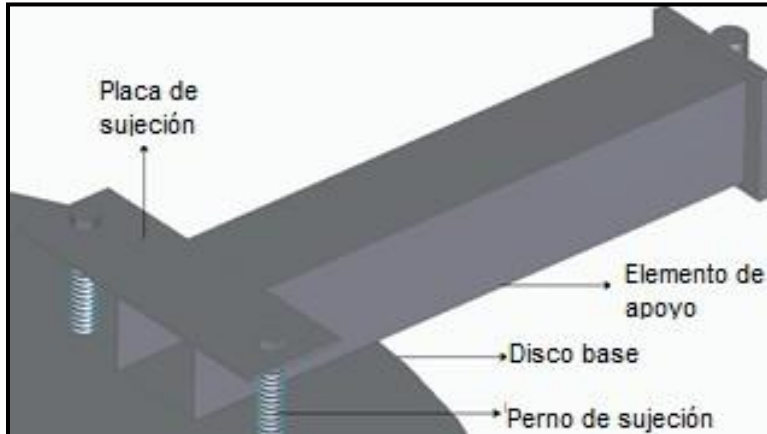


**Nota.** Sabiendo que la deflexión del elemento está dentro del rango de deflexión media o moderada, el perfil resulta ser el adecuado para la aplicación. Tomado de MDsolids.

Con el propósito de fijar el elemento de apoyo con la estructura principal de la máquina se plantea el siguiente montaje:

**Figura 219.**

*Ensamble del elemento de apoyo de los brazos giratorios*

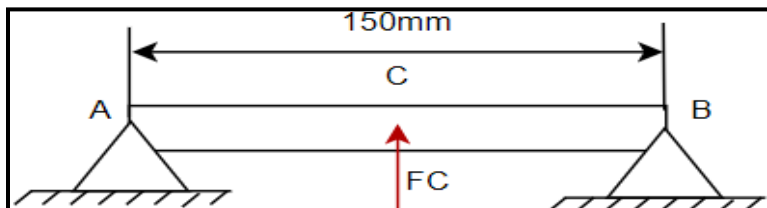


**Nota.** Para evitar hacer perforaciones sobre el perfil estructural se emplea el arreglo de placa de acero A36 que ejerce presión sobre él y se mantiene mediante uniones atornilladas, que realizan la sujeción junto con la placa.

Analizando la placa de sujeción se obtiene la situación problema de la siguiente figura.

**Figura 220.**

*Caso de estudio de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios*

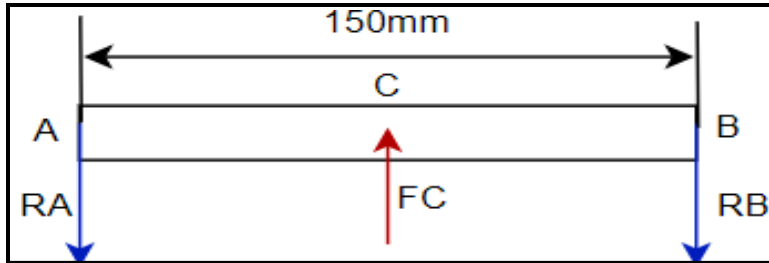


**Nota.** FC representa la reacción en el apoyo obtenida mediante el análisis del elemento de soporte y es del orden de 547,5N.

A partir de la situación presentada, se establece el diagrama de cuerpo libre del elemento obteniendo:

**Figura 221.**

*Diagrama de cuerpo libre de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios*



**Nota.** A partir del diagrama, se plantean las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum FY = 0$$

$$-RA - RB + 547,5N = 0$$

$$RA + RB = 547,5N$$

$$\sum MA = 0$$

$$(547,5N \times 75mm) + 150mmRB = 0$$

$$41062,5Nmm + 150mmRB = 0$$

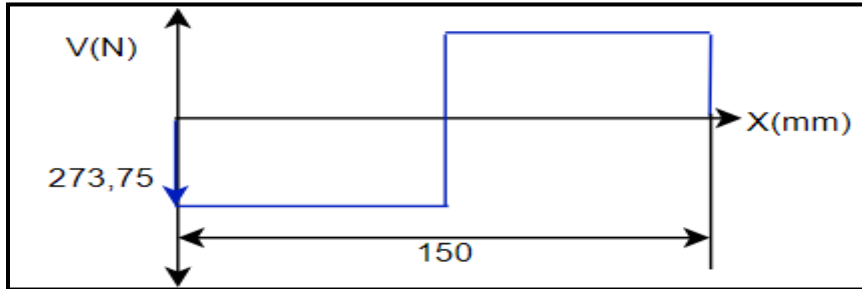
$$RB = \frac{41062,5Nmm}{150mm} = 273,75N$$

$$RA = 547,5N - 273,75N = 273,5N$$

Mediante la reacción calculada se elabora el diagrama de esfuerzo cortante.

**Figura 222.**

*Diagrama de esfuerzo cortante de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios*



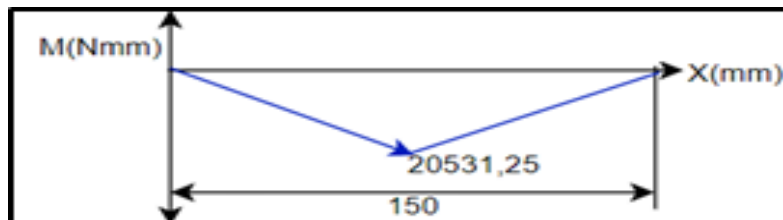
**Nota.** A partir del diagrama de cortante, se establecen los momentos flectores actuantes sobre el elemento.

$$M1 = M2 = 75mm * 273,75N = 20531,25Nmm$$

Mediante el método de áreas se establece el diagrama de momento flector y el nuevo momento flector máximo.

**Figura 223.**

*Diagrama de momento flector de la placa de sujeción de elemento de apoyo de brazos giratorios*



**Nota.** A partir del diagrama se establece que el flector máximo es de  $20,5312$ Nm y se genera en el punto medio del elemento.

Para el determinar el espesor de la placa se tienen en cuenta las propiedades del acero A-36

$$\sigma_y = 295 \text{Mpa} = 2,95E^8 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9\sigma_y$$

$$\sigma_{adm} = 0,9(2,95E^8 \text{pa})$$

$$\sigma_{adm} = 265,5E^6 \text{pa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{fmax}}{S}$$

$$S = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{20,53125 \text{Nm}}{265,5E^6 \text{pa}} = 7,7305E^{-8}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12} b * h^3}{\frac{h}{2}}$$

$$h = 1,7587E^{-3} \text{m} = 1,7587 \text{mm}$$

Aproximando el espesor obtenido a uno comercial, se obtiene un valor de 2,5 mm para la placa en cuestión.

Teniendo en cuenta las características del montaje, el elemento de unión roscada se encuentra bajo esfuerzo normal de tensión, en este caso, la carga F a tensión corresponde a la reacción en el apoyo generada por el elemento dimensionado en la sección anterior (547,5N), teniendo en cuenta la carga y las características del material de los tornillos (Ver anexo 2) el diámetro mínimo del elemento será:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{547,5 \text{N}}{5E^8 \text{Pa}} = 1,095E^{-6} \text{m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{\bar{A}}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,095E^{-6}m^2}{\pi}} = 5,9038E^{-4}m = 0,5903mm$$

$$\varnothing = 2r = 1,1807mm$$

A partir del diámetro calculado, mediante un tornillo de rosca M6 se podría realizar la sujeción del elemento de apoyo, sin embargo, sabiendo que la longitud necesaria del elemento por las características del montaje se emplea un tornillo de rosca M7 de 80 mm de longitud.

Para garantizar el funcionamiento del elemento de soporte se debe garantizar la resistencia de la soldadura referenciada a continuación:

#### **Figura 224.**

*Composición del elemento de apoyo de los brazos giratorios*



**Nota.** El elemento de la figura anterior cuenta con una placa soldada en el extremo que entra en contacto con los brazos giratorios.

Para realizar la soldadura se propone un cordón tipo filete, debido a la característica de la junta en forma de T alrededor del perfil tubular cuadrado, en este caso, la soldadura se encuentra bajo un esfuerzo cortante producto de la fuerza que se ejerce sobre el brazo giratorio y se transmite al arreglo en la unión soldada.

Según lo obtenido del catálogo de Unicon. “Se podrá utilizar cualquier electrodo con denominación superior a E70xx, el criterio que prevalece es que la resistencia a la tracción de la junta sea igual o superior a la del metal base”. [21] Teniendo en cuenta la mínima resistencia a la tracción recomendada y considerando que se trata de una soldadura para aceros al carbono, se selecciona un electrodo AWS A5.1 E7014 el cual además de cumplir con las especificaciones, posee la característica de que se puede aplicar en todas las direcciones, emplea corriente alterna o continua en ambas polaridades y cuenta con revestimiento de rutilo para su fácil manejo y obtención de buenos acabados. Adicionalmente, el tipo de soldadura a emplear es tipo SMAW, teniendo en cuenta que se trabaja con espesores pequeños y con un material de punto de fusión elevado.

El electrodo seleccionado cuenta con los siguientes parámetros y recomendaciones de funcionamiento (Ver anexo 8)

Para garantizar la resistencia de la soldadura de una junta se debe cumplir que:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

La carga aplicada en el extremo del elemento genera un esfuerzo cortante sobre la soldadura de la siguiente magnitud:

$$\frac{F_{real}}{A} = \frac{547,5N}{5,07E^{-4}m^2} = 1,0792MPa$$

A partir del esfuerzo real calculado se establece que se cumple que:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

$$1,0792MPa \leq 482,633Mpa$$

Una vez corroborada la resistencia de la soldadura, se dimensiona el filete a partir de la siguiente expresión: [20]

$$\sigma_{resistente} = \frac{F_{real}}{GT * L}$$

Despejando la garganta teórica del filete:

$$GT = \frac{547,5N}{482,6337E^6Pa * 0,06} = 1,89066E^{-5}m$$

Las dimensiones (W) de la soldadura de filete, pueden expresarse en función de la garganta del mismo de la siguiente manera.

$$GT = 0,7071W$$

$$\frac{GT}{0,7071} = W = \frac{1,89066E^{-5}m}{0,7071} = 2,6738E^{-5}m = 0,0267mm$$

El valor de W representa las dimensiones mínimas de la soldadura, sin embargo, el valor es muy pequeño y una soldadura de esas dimensiones no se podría realizar, debido a esto, se acuden a los parámetros establecidos en la norma a AWS para establecer las dimensiones del filete. Teniendo en cuenta que el material base es una placa de acero ASTM A-500 grado C de 6,35 mm de espesor, las dimensiones del filete serán de  $W=3mm= 1/8''$  (Ver anexo 7)

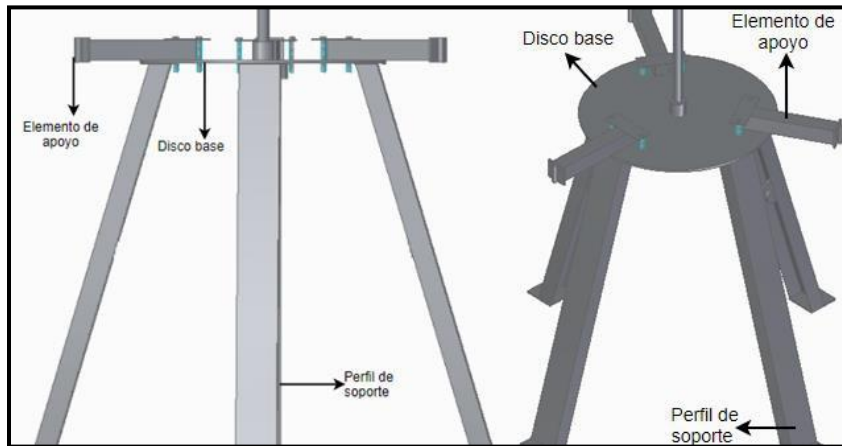
#### **4.4.6. Selección de los perfiles base de la estructura**

La parte final de la estructura principal, consiste en un arreglo de cuatro perfiles tubulares cuadrados que se encargan de soportar el peso total de la máquina de serigrafía textil, como se muestra a continuación:



**Figura 225.**

*Vinculación de perfiles de soporte de la estructura principal*



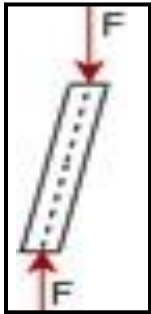
**Nota.** La carga total de los cabezales se concentra en el punto de unión entre el disco base y la columna principal.

De igual manera el peso combinado de los elementos ya mencionados se soporta sobre el arreglo de perfiles, que le brinda estabilidad y sujeción debido a la configuración que se plantea.

Para el dimensionamiento y selección de los perfiles que servirán como apoyo, se analizará un solo elemento del conjunto en un estado de carga crítica, en el que se soportará el peso de toda máquina sobre uno solo de los perfiles.

## Figura 226.

*Caso de estudio perfiles de soporte de la estructura principal*



**Nota.** La carga actúa en dirección vertical respecto al suelo, sin embargo, como el perfil de apoyo se encuentra inclinado, las cargas con esa magnitud y dirección no actúan sobre el eje de la columna.

La carga F hace referencia al peso total de la máquina sin incluir los perfiles de apoyo:

$$F = (M \text{ perfiles discos sujeción} + M \text{ cabezal fijación} + M \text{ cabezal impresión} + M \text{ conjunto brazos} + M \text{ columna} + M \text{ discobase} + M \text{ apoyos}) * g$$

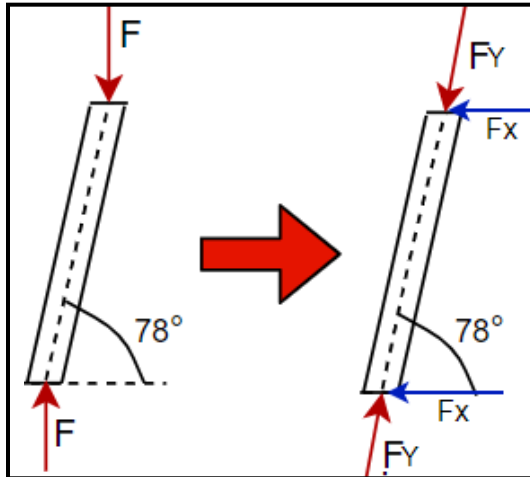
$$F = (35,30761kg + 16kg + 10,33kg + 24,281kg + 6,7236kg + 17,7647kg + 4,6517kg) * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1127,5743N$$

Sabiendo que la carga F se encuentra en un principio orientada verticalmente sobre el extremo del perfil, es necesario transformar la carga en coordenadas del eje axial de la columna como se muestra a continuación:

**Figura 227.**

*Transformación de la carga en componentes rectangulares a partir del ángulo de inclinación del perfil*



**Nota.** La componente en el eje Y se emplea para realizar el análisis de compresión del elemento en cuestión como una columna, mientras que la componente en X se emplea para el análisis de los elementos unión a cortante.

A partir de la consideración, la carga sobre el eje de axial de la columna (eje y) será:

$$F_y = 1127,5743N * \text{sen}(78^\circ) = 1102,9340N$$

$$F_x = 1127,5743N * \text{cos}(78^\circ) = 234,4358N$$

Con la carga a compresión sobre el eje axial del perfil, se calcula el esfuerzo a compresión sobre la columna de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Asumiendo un perfil de 60x60 (Ver anexo 5), el esfuerzo a compresión sobre el elemento será:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1102,9340N}{5,07E^{-4}m^2} = 2175412,229Pa = 2,1754MPa$$

Siguiendo el procedimiento mostrado en la figura 209, para calcular el esfuerzo máximo que va a soportar la columna, inicialmente se establece la longitud efectiva de la columna mediante la siguiente expresión

$$Le = K * L$$

Donde:

K= Constante que depende de los extremos de la columna y sus apoyos

L= Longitud real de la columna

Para establecer un valor de K se compara el caso de estudio con los casos mostrados en la figura 210.

Puesto que la carga esta aplicada en un extremo libre y el restante se encuentra empotrado, el valor de K para este caso será igual a 2.

$$Le = K * L = 0,5 * 1m = 0,5m$$

Posteriormente, mediante el catálogo se determina el radio de giro del perfil seleccionado, donde se obtiene:

$$r = 2,34cm = 0,0234m$$

A continuación, se calcula la relación de esbeltez de la columna mediante la siguiente expresión:

$$\frac{K * L}{r} = \text{Relacion de esbeltez}$$

$$\frac{K * L}{r} = \frac{0,5 * 1m}{0,0234m} = 21,3675$$

Consecutivamente, a partir del esfuerzo de fluencia ( $S_y$ ) y el módulo de elasticidad ( $E$ ) del material, se calcula la constante de la columna como se muestra a continuación:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200E^9Pa}{3,1577E^8Pa}} = 111,8135$$

Puesto que  $\frac{KL}{r} < C_c$ ; la columna es corta, por lo tanto, para determinar el esfuerzo máximo que puede soportar la columna, se emplea la fórmula para carga crítica de Johnson, la cual establece:

$$P_{Cr} = A * S_y \left(1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E}\right)$$

$$\frac{P_{Cr}}{A} = S_y \left(1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E}\right)$$

$$\sigma_{Cr} = S_y \left(1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E}\right) = 3,1577E^8Pa \left(1 - \frac{3,1577E^8Pa(21,3675)^2}{4\pi^2(200E^9Pa)}\right)$$

$$= 310,0042E^6Pa$$

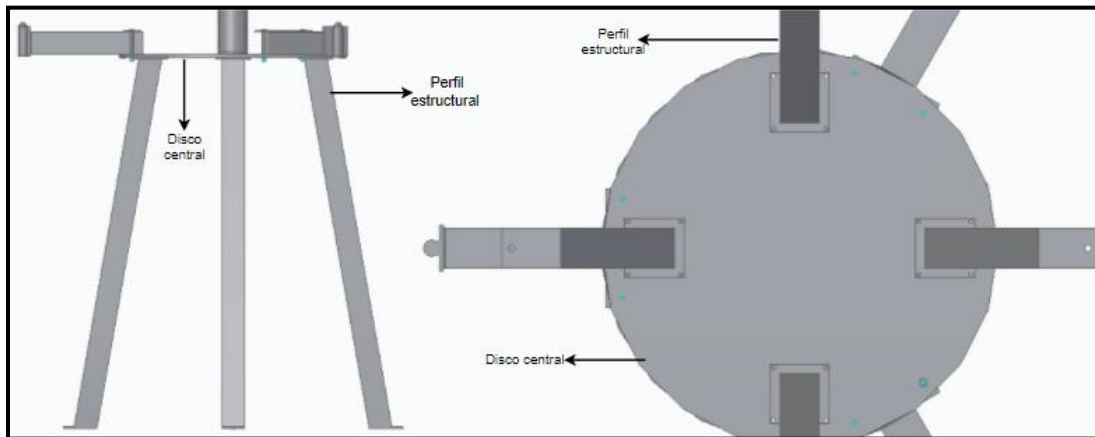
$$\sigma_{Cr} = 310,0042Mpa$$

Teniendo en cuenta que el esfuerzo real ( $\sigma$ ) es menor que el esfuerzo máximo ( $\sigma_{max}$ ), el perfil es adecuado para la aplicación.

Para facilitar el ensamble de los apoyos de la estructura principal se propone el siguiente arreglo:

**Figura 228.**

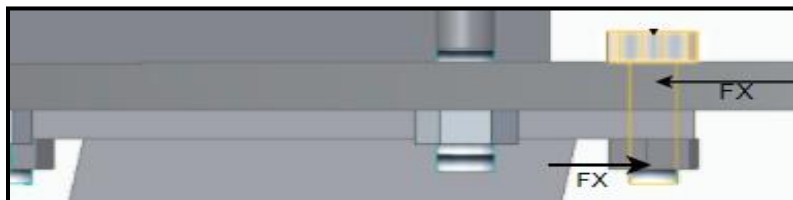
*Ensamble perfiles de soporte de la estructura principal*



**Nota.** Los elementos roscados que mantienen los perfiles estructurales unidos al disco de soporte principal de la estructura, están sometidos a esfuerzo cortante generado por la componente en X de la carga soportada por los mismos (234,435N).

**Figura 229.**

*Condición de carga de los elementos roscados de la unión del perfil de soporte con el disco de la estructura principal*



**Nota.** Para establecer las dimensiones del elemento roscado se analiza por cortante teniendo en cuenta las propiedades del material (Ver anexo 2).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{234,435N}{5E^8Pa} = 4,6887E^{-7}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4,6887E^{-7}m^2}{\pi}} = 3,8632E^{-4}m = 0,3863mm$$

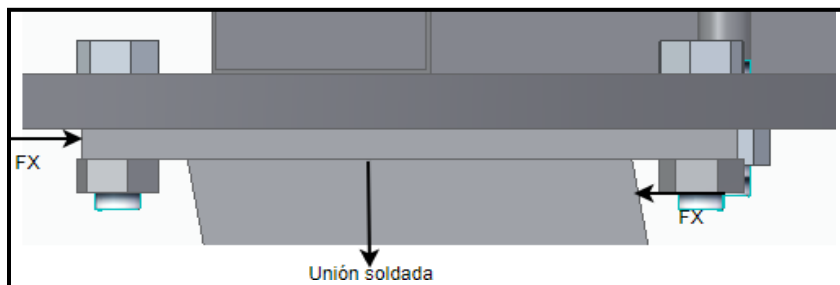
$$\varnothing = 2r = 0,7726mm$$

A partir del diámetro calculado, mediante un tornillo de rosca M6 y de una longitud de 20 mm sería adecuado para la aplicación (Ver anexo 2).

De igual manera los perfiles que se encargan de soportar el peso total de la máquina de serigrafía, presentan este esfuerzo constante en la siguiente sección:

### Figura 230.

Condición de carga para la unión soldada



**Nota.** Teniendo en cuenta que tanto el perfil estructural como la placa soldada en su extremo son de acero ASTM A-500 grado C, al igual que en la soldadura del elemento de apoyo de los brazos giratorios, se recomienda emplear el mismo procedimiento usando los mismos parámetros y el mismo electrodo, es decir, se aplicara una soldadura tipo SMAW y electrodo AWS A5.1 E7014.

El electrodo seleccionado cuenta con los siguientes parámetros y recomendaciones de funcionamiento. (Ver anexo 8)

Para garantizar la resistencia de la soldadura de una junta se debe cumplir que:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

La carga aplicada en el extremo del elemento genera un esfuerzo cortante sobre la soldadura de la siguiente magnitud:

$$\frac{F_{real}}{A} = \frac{234,435N}{4,5E^{-4}m^2} = 520,9666KPa$$

A partir del esfuerzo real calculado se establece que se cumple que:

$$\sigma_{real} \leq \sigma_{resistente}$$

$$520,9666KPa \leq 482,633Mpa$$

Una vez corroborada la resistencia de la soldadura, se dimensiona el filete a partir de la siguiente expresión: [20]

$$\sigma_{resistente} = \frac{F_{real}}{GT * L}$$

Despejando la garganta teórica del filete:

$$GT = \frac{234,435N}{482,6337E^6Pa * 0,09} = 5,3971E^{-6}m$$

Las dimensiones (W) de la soldadura de filete, pueden expresarse en función de la garganta del mismo de la siguiente manera.

$$GT = 0,7071W$$



$$\frac{GT}{0,7071} = W = \frac{5,3971E^{-6}m}{0,7071} = 7,63275E^{-6}m = 7,63275E^{-3}mm$$

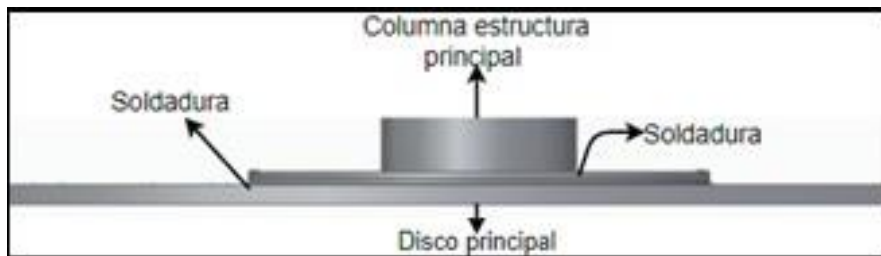
El valor de W representa las dimensiones mínimas de la soldadura, sin embargo, el valor de W es muy pequeño y una soldadura de esas dimensiones no se podría realizar, debido a esto, se acuden a los siguientes parámetros para establecer las dimensiones del filete (Ver anexo 7).

Teniendo en cuenta que el material base es una placa de acero ASTM A-500 grado C de 6,35 mm de espesor, las dimensiones del filete serán de  $W=2mm= 1/16''$

Por último, para fijar la columna principal al disco principal de la estructura se emplea el siguiente arreglo:

### Figura 231.

*Unión de columna y disco central de estructura*

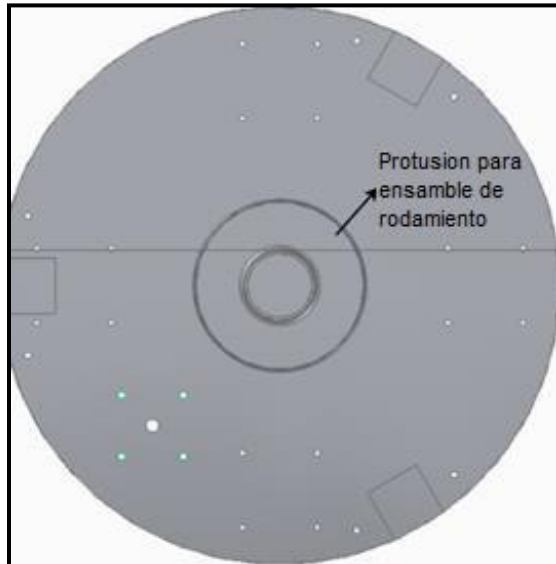


**Nota.** La unión soldada no va a estar bajo la presencia de momentos ni cargas generadas por los cabezales conectados a los discos superiores de la estructura, debido a que en el diseño de la columna se tuvieron en cuenta estos factores.

A partir de lo mencionado anteriormente, Para dimensionar la soldadura se acude a los parámetros de dimensiones mínimas para un cordón de la norma AWS (ver anexo 7). Por lo tanto, el cordón mínimo para aplicación de acuerdo al espesor del material base es de 5mm en soldadura de filete.

## Figura 232.

### *Unión soldada para ensamble de rodamiento*



**Nota.** Al igual que para la columna, se realiza una unión soldada que facilita la instalación del rodamiento, consiste en un tramo de tubería de 180 mm de diámetro soldado en la cara del disco central, la cual que no se encuentra bajo la presencia de cargas.

A partir de lo mencionado anteriormente, Para dimensionar la soldadura se acude a los parámetros de dimensiones mínimas para un cordón de la norma AWS (ver anexo 7). Por consiguiente, el cordón mínimo para aplicación según el espesor del material base es de 2 mm en soldadura de filete.

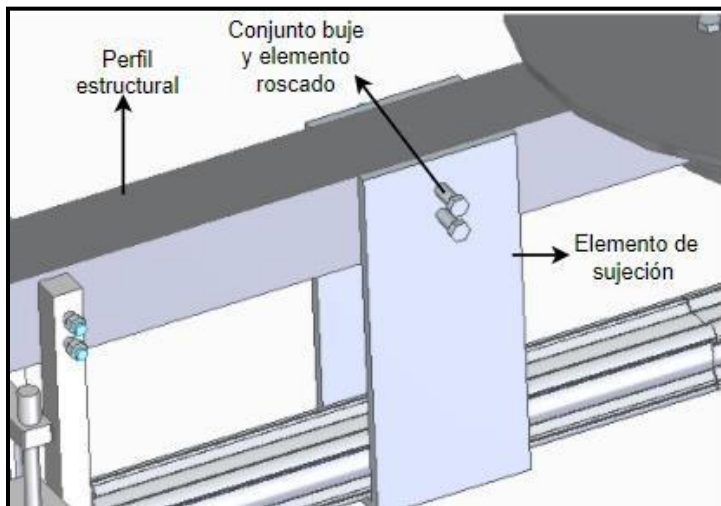
Para ambos casos, «se trata de elementos de se selecciona un electrodo AWS A5.1 E6013 (Ver anexo 7) el cual además de cumplir con las especificaciones de funcionamiento, posee la característica de que se puede aplicar la soldadura en todas las direcciones, emplea corriente alterna o continua en ambas polaridades y además

cuenta con revestimiento de rutilo para su fácil manejo y obtención de buenos acabados. Adicionalmente, el tipo de soldadura a emplear es tipo SMAW, teniendo en cuenta que se trabaja con espesores pequeños y con un material de punto de fusión elevado». [22]

Para finalizar el diseño de la máquina, se elabora el siguiente ensamble para la sujeción del cilindro neumático de desplazamiento horizontal.

### Figura 233.

*Ensamble para la sujeción del cilindro neumático de desplazamiento horizontal.*



**Nota.** El elemento de sujeción consiste en una placa de aluminio doblada, las dimensiones justifican ya que el área de sección transversal  $278,64 \text{ mm}^2$ , es mayor que la necesaria para sostener el cabezal de impresión completo.

#### 4.5. Diseño del sistema de control

Para el diseño del sistema de control, es necesario establecer cuáles van a ser las variables a manipular, así como los tipos de actuadores, sensores y controladores

necesarios para efectuar los movimientos correspondientes a cada una de las etapas del proceso.

#### **4.5.1. Variables a controlar**

A partir del modo funcional establecido para la máquina, es posible identificar las variables a controlar según cada uno de los sistemas que la compone, partiendo del sistema de impresión, donde sus movimientos se dan a partir del accionamiento de actuadores neumáticos cuyas variables a controlar es

- Posición de los cilindros neumáticos que intervienen en el proceso.

Por otro lado, en el sistema de fijación y secado, como en el sistema de impresión, este cuenta con un actuador neumático y además de esto, tiene un subsistema de calentamiento mediante una resistencia eléctrica la cual debe tener la posibilidad de ser controlada, por lo tanto, las variables son:

- Posición de los cilindros neumáticos que intervienen en el proceso.
- Temperatura de la plancha térmica.

#### **4.5.2. Sistema de control**

Antes de poder realizar el control a cada uno de los sistemas involucrados, es necesario determinar el tipo de controlador más adecuado de acuerdo a la aplicación, para esto, se dispuso de un análisis Scoring, mediante el cual se estableció la mejor opción a partir de diferentes criterios y ponderaciones.

Inicialmente se presentan las diferentes alternativas presentes en el mercado para realizar control de procesos mediante sensores y otros elementos, entre ellos se encuentran los siguientes:

- Microcontrolador.
- Arduino.
- PLC (controlador lógico programable).

- Lógica cableada.

Seguidamente, se establecen los criterios en los que cada una de las alternativas debe ser evaluada:

- **Confiabilidad:** Es de gran importancia que el dispositivo de control sea confiable al momento de transferir y recibir la información.
- **Fácil conexión:** Teniendo en cuenta los elementos a conectar sobre el dispositivo, primero, es esencial que su modo de conexión le sea de fácil acceso, además, si los puertos no presentan la seguridad recomendada, esto presentaría un error de comunicación.
- **Eficiencia:** es de gran importancia que la comunicación entre dispositivos se lo más eficiente posible, de esta manera el proceso de la máquina dará los resultados esperados.
- **Factor económico:** Como se sabe, cualquier proyecto debe representar una ganancia económica para la empresa, es por eso que el factor económico es de gran importancia.

Como siguiente paso se le da un valor de importancia a cada uno de los criterios anteriormente expuestos, de acuerdo a los valores del siguiente cuadro:

**Tabla 15.**

*Ponderación*

1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

**Nota.** Significado de cada valor de ponderación.

Ahora, los valores asignados a cada criterio son:

**Tabla 16.**

*Criterios de evaluación*

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>
Confiabilidad	5
Fácil conexión	5
Eficiencia	4
Factor económico	5

**Nota.** Criterios a evaluar con su respectiva ponderación.

Una vez se le ha dado un grado de importancia a cada uno de los criterios, se procede a evaluar cada uno de ellos con un valor de satisfacción representado en el siguiente cuadro:

**Tabla 17.**

*Valores de satisfacción*

1	Extra bajo
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Poco bajo
5	Medio
6	Poco alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Extra alto

**Nota.** Significado de cada valor de satisfacción.

Una vez determinados estos valores, se evalúan los valores ponderados y se selecciona la alternativa más adecuada en la siguiente tabla:

**Tabla 18.**

*Resultados del método Scoring*

Criterios	Ponderación $W_i$	Microcontrolador $r_{i1}$	Arduino $r_{i2}$	PLC $r_{i3}$	Lógica cableada $r_{i4}$
Confiabilidad	5	6	7	8	6
Fácil conexión	5	6	5	8	5
Eficiencia	4	8	8	8	7
Factor económico	5	9	9	7	7
Total	23	29	29	31	25

**Nota.** Ponderación para la selección de la mejor alternativa.

Al observar los resultados obtenidos en la tabla anterior se determina que la mejor alternativa para este tipo de aplicación industrial es el PLC puesto que brinda seguridad en la transferencia de información, las conexiones son estables. A pesar de sus elevados costos, esta aplicación cuenta con un amplio número de entradas y salidas, las cuales no sería fácil de manipular con las otras alternativas, demostrando la eficiencia que puede presentar el PLC.

4.5.2.a. Sistema de transmisión de potencia. Como ya fue mencionado en el capítulo anterior, para el sistema de generación y transmisión de potencia se seleccionó un servo motor, conectado directamente al programador lógico programable.

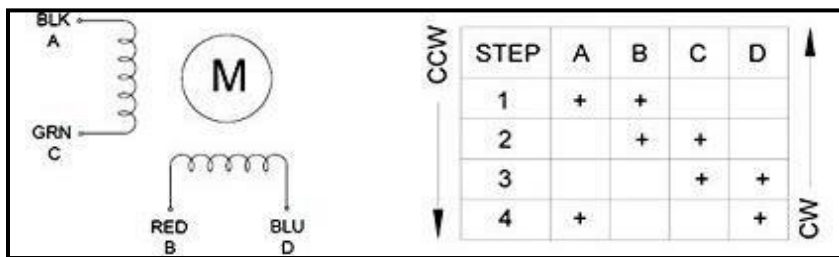
Para el correcto funcionamiento del motor se deben enviar pulsos eléctricos para el avance, así mismo, de acuerdo al tiempo entre pulsos se controla la velocidad. Teniendo en cuenta la ficha técnica del motor, este tiene un ángulo de paso por pulso



correspondiente a 1,8°, cuyo avance se realiza mediante pulsos de máximo 5V enviados desde el PLC. Además, este cuenta con 4 cables, cada uno conectado a una bobina del motor. Estos se encargan de posicionar el rotor de acuerdo a un orden de secuencia. Puesto que son cuatro bobinas nombradas como “A”, “B”, “C” y “D”, se debe seguir la siguiente secuencia:

**Figura 234.**

*Embobinado y secuencia para realizar los pasos del motor*



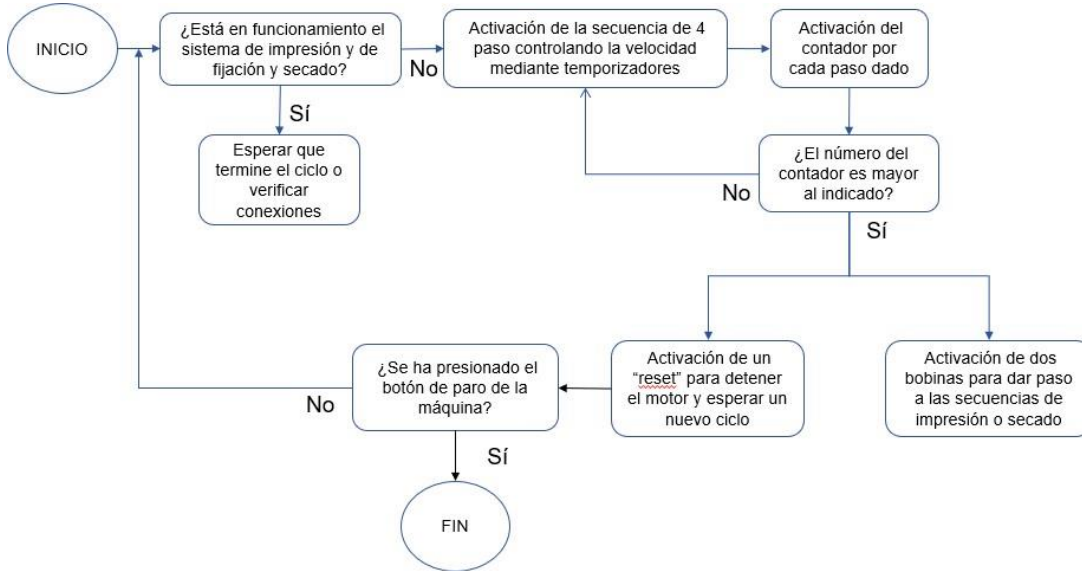
**Nota.** Instrucciones del orden de energización para el movimiento y dirección del motor paso a paso.

Para determinar la velocidad de cada uno de los pasos anteriormente descritos, estos deben ser comandados mediante temporizadores que mantendrán cada uno de los pasos y luego permitirán hacer el siguiente.

Finalmente, para que el PLC pueda realizar las acciones anteriormente mencionadas, mediante el software Codesys se realizó la programación descrita en la siguiente figura.

**Figura 235.**

*Diagrama de flujo programación del sistema de transmisión de potencia*

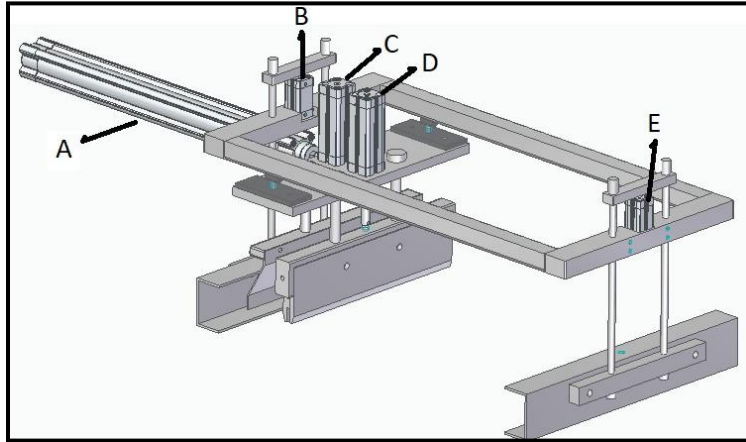


**Nota.** Explicación general del funcionamiento de la programación para el sistema de transmisión de potencia. Para programación en detalle (ver anexo 18).

4.5.2.b. Sistema de impresión. Una vez el sistema de transmisión de potencia ubique una mesa con una prenda bajo el cabezal de impresión, éste le enviará una señal al controlador, dando inicio a la secuencia de impresión, donde, a partir de los cilindros neumáticos presentes en este sistema, se debe realizar la siguiente secuencia:

**Figura 236.**

*Disposición de los cilindros del sistema de impresión.*



**Nota.** Ubicación y asignación de una letra a cada uno de los cilindros que componen el sistema de impresión.

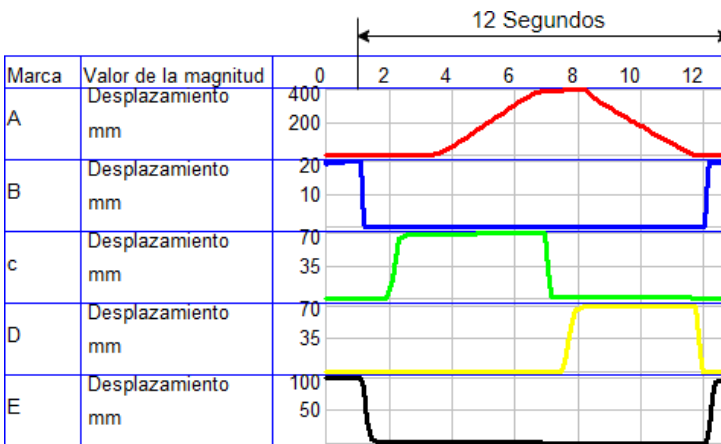
Como primera condición, la mesa de trabajo se debe encontrar bajo el cabezal de impresión, por lo tanto, esta señal será proporcionada por los pulsos configurados para el motor paso a paso. Además de esto, sobre la mesa debe haber una prenda textil, para esto, se dispone de un sensor capacitivo con la capacidad de detectar el material textil. Una vez estas condiciones son verdaderas, el sistema de impresión entra en funcionamiento con los siguientes movimientos de los actuadores neumáticos. Como primer movimiento los cilindro B y E deben posicionar el marco con el diseño a imprimir sobre la prenda textil, seguido de esto se aplica la tinta activando la válvula que regula la caída de tinta sobre la malla, una vez haya la tinta suficiente, el cilindro C baja para que la espátula esparza la tinta a lo largo de la malla, esto con ayuda de la salida del cilindro A; cuando A haya llegado a su final de carrera, C retrocede y D avanza para posicionar la racleta sobre la malla para que finalmente A retroceda transfiriendo la tinta de la malla a la prenda textil. Como últimos pasos D retrocede y finalmente B y E simultáneamente, dando así final al proceso de impresión.

Secuencia de los cilindros: B- E-/C+/A+/C-/D+/A-/D-/B+ E+

Teniendo en cuenta los parámetros de operación de los cilindros que intervienen en el proceso (diámetro de embolo y vástago, carrera del cilindro, ángulo de montaje, condición de carga), se obtiene el diagrama espacio fase de la figura 236, donde para un grado de abertura de válvulas reguladoras de caudal del 50%, se evidencia que el tiempo empleado para el proceso de impresión es de 12 seg.

**Figura 237.**

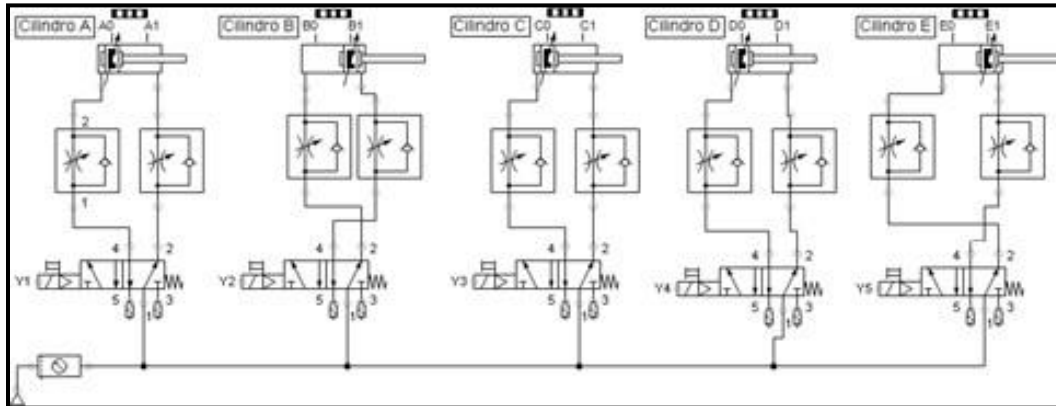
*Diagrama espacio fase sistema de impresión*



**Nota.** Diagrama espacio fase para cada uno de los cilindros que componen el sistema de impresión.

**Figura 238.**

*Diagrama de conexión neumática para el cilindro del sistema de impresión*



**Nota.** Representación gráfica según norma ISO para elementos neumáticos.

Como siguiente paso, es necesario determinar los elementos necesarios para poder realizar esta secuencia, donde los principales dispositivos a seleccionar son:

- Válvulas de accionamiento neumático controladas electrónicamente.
- Sensores de posición para los actuadores.
- Válvula de estrangulación y antirretorno.

Con el propósito de adquirir un producto funcional y económico, además del hecho que se deben contar con un gran número de válvulas de accionamiento, se seleccionó una válvula 5/2 monoestable con retorno por muelle mecánico que cuenta con las siguientes características:

**Figura 239.**

*Válvula de direccionamiento.*



**Nota.** Características físicas de una válvula monoestable pilotada de direccionamiento. Tomado del catálogo de Micro (ver anexo 17).

De acuerdo a la configuración y posicionamiento de los actuadores dentro de la máquina, los sensores de posición más adecuados para esta aplicación deben ser magnéticos ubicados directamente sobre el actuador neumático, de esta manera le es posible determinar la posición del émbolo de manera efectiva aprovechando el espacio reducido. Ahora, según lo anterior, se procede a seleccionar los sensores en el catálogo más adecuado, obteniendo de esta manera un sensor SMT-8M-A con las siguientes características:

**Figura 240.**

*Sensor magnético de proximidad de Festo.*



**Nota.** Características físicas del sensor magnético de Festo. Tomado de: Festo. [En línea]. Disponible:

**Figura 241.**

*Hoja de datos sensor magnético de Festo*

<b>Hoja de datos</b>	
Ficha de datos técnicos completa: los valores parciales dependen de su configuración.	
Característica	Valor
Construcción	para ranura en T
Basado en la norma	EN 60947-5-2
Homologación	RCM Mark c UL us - Listed (OL)
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre EMC según la normativa UE sobre protección contra explosión (ATEX) según la directiva RoHS-RL de la UE
Caracteres KC	KC-EMV
Categoría ATEX para gas	II 3G
Tipo de protección contra explosión de gas	Ex nA IIC T4 X Gc
Categoría ATEX para polvo	II 3D
Tipo de protección contra explosión por polvo	Ex tc IIIC T120°C X Dc IP65
Temperatura ambiente con riesgo de explosión	-40°C ≤ Ta ≤ +70°C
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE Conforme con RoHS Sin halógeno
Magnitud de la medición	Posición
Principio de medición	magnetorresistivo
Temperatura ambiente	-40 ... 85 °C
Precisión de repetición	0.2 mm
Salida	NPN PNP PNP/NPN conmutable Bifilar, sin contacto
Función del elemento de conmutación	contacto cerrado en reposo Normalmente cerrado / normalmente abierto, conmutable contacto de trabajo
Tiempo de conexión	≤ 1.3 ms
Tiempo de desconexión	≤ 1.4 ms
Frecuencia máx. de conmutación	180 Hz
Corriente máxima de salida	100 mA
Corriente máx. de salida en los kits de fijación	100 mA
Rendimiento DC máximo de conmutación	1.9 ... 2.8 W
Potencia de conmutación máxima DC en los kits de fijación	1.2 ... 2.8 W
Caída de tensión	< 6 V
Anticortocircuitaje	sí
Resistencia a sobrecargas	presente
Tensión de servicio calculada DC	24 V
Margen de tensión de funcionamiento DC	5 ... 30 V
Polos inconfundibles	para todas las conexiones eléctricas

**Nota.** Características del sensor magnético de Festo. Tomado de: Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_050100](https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_050100)

Para el control del caudal se dispone de una válvula estranguladora, la cual permite variar dicha variable de acuerdo al porcentaje de apertura que está presente, de esta manera es posible manipular dicha variable sin la necesidad de un sensor. Por lo tanto, recurriendo a catálogos comerciales se encontró un dispositivo con las siguientes características:



**Figura 242.**

*Hoja de datos para la válvula reguladora de caudal*

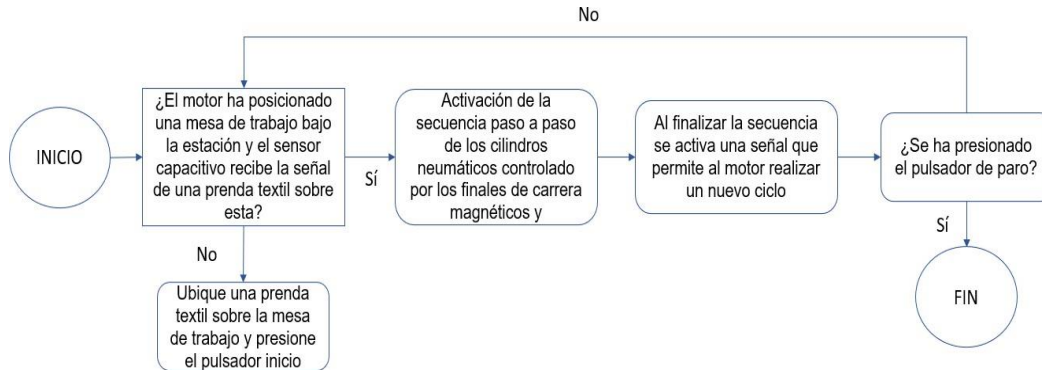
<b>Hoja de datos</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Función de las válvulas	Válvula reguladora de caudal, antirretorno del escape
Conexión neumática 1	QS-B
Conexión neumática 2	G1/4
Tipo de accionamiento	manual
Elemento de ajuste	Hexágono exterior
Tipo de fijación	atomillable
Caudal nominal normal en sentido de la estrangulación	530 l/min
Caudal nominal normal en el sentido del antirretorno	402 ... 578 l/min
Temperatura ambiente	0 ... 150 °C
Posición de montaje	indistinto
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	0,2 ... 10 bar
Caudal estándar en sentido de regulación del flujo: 6 → 0 bar	720 l/min
Caudal estándar en sentido de bloqueo: 6 → 0 bar	610 ... 760 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Temperatura de almacenamiento	-10 ... 150 °C
Temperatura del medio	0 ... 150 °C
Par de apriete nominal	5 Nm
Tolerancia para el par de apriete nominal	± 10 %
Peso del producto	37 g

**Nota.** Características de la válvula reguladora de caudal de Festo. Tomado de: Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_021003](https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_021003)

Finalmente, se muestra un diagrama de flujo que muestra a grandes rasgos cómo es el funcionamiento de la programación de esta secuencia observada en el anexo 13.

**Figura 243.**

*Diagrama de flujo programación para el sistema de impresión.*

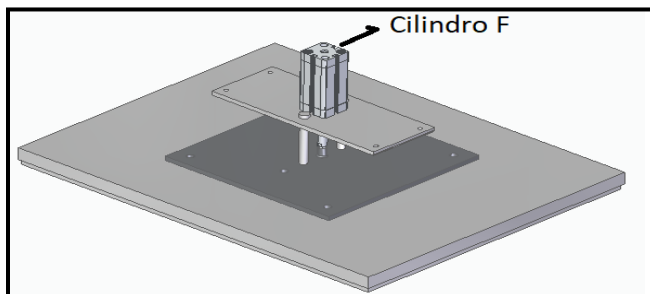


**Nota.** Explicación general del funcionamiento de la programación para el sistema de impresión.

4.5.2.c. Sistema de Fijación y secado. Para este sistema es necesario poder controlar tanto el subsistema neumático, como el subsistema de calentamiento. Como se realizó para el sistema anterior, como primer paso se elabora el circuito neumático con el fin de mostrar los elementos que intervienen en dicho funcionamiento. Por lo tanto, se diseña el siguiente circuito:

**Figura 244.**

*Ubicación cilindro F*



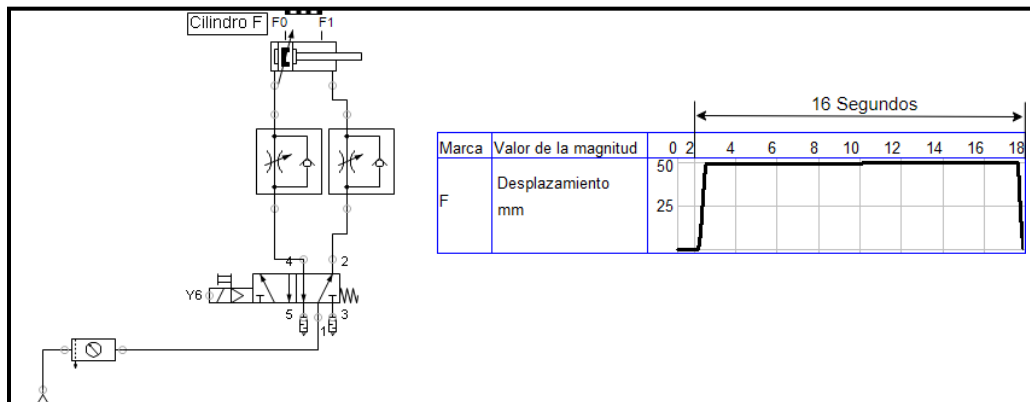
**Nota.** Ilustración de la ubicación del cilindro F.

Secuencia del sistema de fijación: F+/15 segundos/F-

Teniendo en cuenta los parámetros de operación del cilindro que intervienen en el proceso (diámetro de embolo y vástago, carrera del cilindro, ángulo de montaje, condición de carga), se obtiene el diagrama espacio fase de la siguiente figura, donde para un grado de abertura de válvulas reguladoras de caudal del 50%, se evidencia que el tiempo empleado para el proceso de impresión es de 16 seg.

**Figura 245.**

*Diagrama de conexión neumática y espacio fase para el cilindro del sistema de fijación*



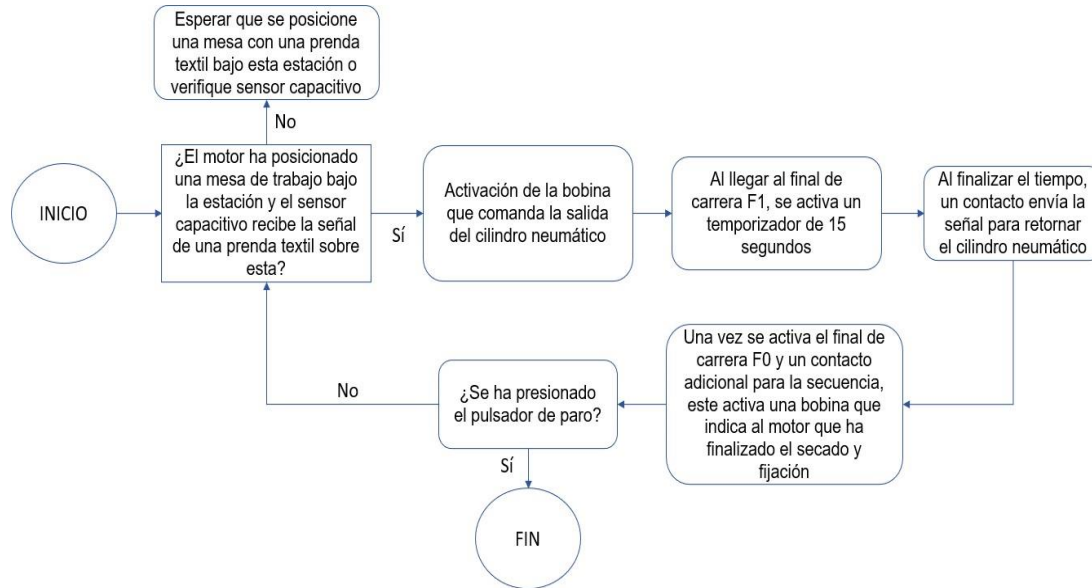
**Nota.** Representación gráfica según norma ISO para elementos neumáticos.

Para el circuito neumático mostrado anteriormente se deben cumplir que la mesa de trabajo debe contener una prenda sobre la misma, además de estar ubicada bajo la placa térmica. Una vez estas condiciones se cumplen, el cilindro F sale y se sostiene 15 segundos en esta posición. Al terminar el tiempo, el cilindro retorna a su posición de reposo, dando por terminado el ciclo de fijación y secado.

Ahora bien, para la programación de este, el siguiente diagrama de flujo permite entender el funcionamiento de la programación realizada en el anexo 15:

**Figura 246.**

*Diagrama de flujo programación para el sistema de fijación y secado.*



**Nota:** Explicación general del funcionamiento de la programación para el sistema de fijación y secado.

Para controlar la temperatura, se acude al proveedor Autonics que dispone de un sistema con microcontrolador y sensor de termocupla para poder manipular dicha variable, Las características de este dispositivo son:

**Figura 247.**

*Características del controlador de temperatura Autonics TC4S*

	<b>Controlador de temperatura</b>	
	<b>Marca</b>	Autonics
	<b>Modelo</b>	TC4S
	<b>Voltaje</b>	100 a 240 voltios AC
	<b>Fuente de poder</b>	Fuente de Poder de 24 VCA a 50/60 Hz, 24 a 48 VCD
	<b>Temperatura de control</b>	1200°C máx
	<b>Dimensiones</b>	48x48mm
	<b>Tipos de entrada</b>	Termocuplas J-K Pt -100

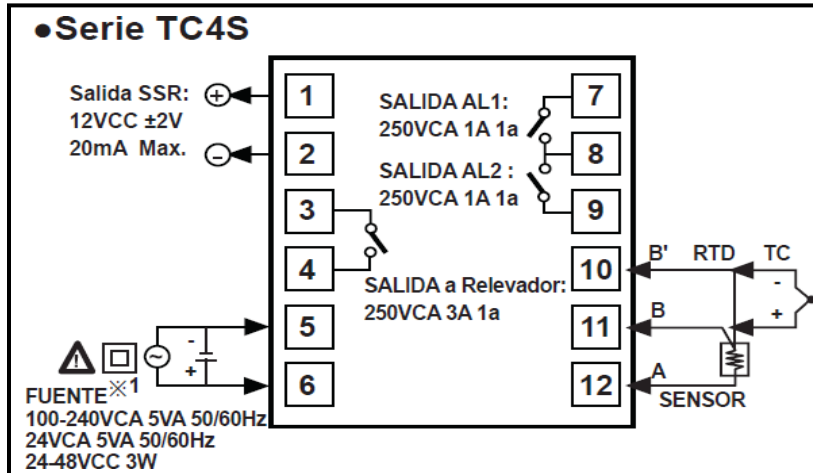
**Nota.** Ilustración física del controlador y características operacionales del controlador. Tomado de Exhibir. [En línea].

Disponibile: [https://exhibirequipos.com/producto/control-de-temperatura-autonics-tc4s/?gclid=CjwKCAiA4o79BRBvEiwAjteoYAPf0\\_ql-9KGDVY6f0ouZHizDWkyjodkczAz-v2SNGKrLbcxVSw2xoCMQYQAvD\\_BwE](https://exhibirequipos.com/producto/control-de-temperatura-autonics-tc4s/?gclid=CjwKCAiA4o79BRBvEiwAjteoYAPf0_ql-9KGDVY6f0ouZHizDWkyjodkczAz-v2SNGKrLbcxVSw2xoCMQYQAvD_BwE)

Para poder enviar la señal de temperatura a este controlador se seleccionó un sensor Pt-100 ya que maneja un rango de temperatura baja y brinda una alta precisión en la medición. Este dispositivo maneja un rango de temperaturas de entre -200°C a 450°C, son económicos y fáciles de conseguir. Para la conexión de este controlador se tiene el siguiente circuito: la fuente de alimentación será conectada a los puertos 5 y 6 respectivamente. Luego de las salidas 1 y 2 se conecta la entrada del relé que controlará la energía que llega a la resistencia térmica conectada a la salida del relé, de igual manera el relé es alimentado por la fuente de alimentación. Finalmente, el sensor de temperatura estará conectado a los puertos 10 y 11 del controlador. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido por la ficha técnica.

**Figura 248.**

*Diagrama para la conexión del controlador de temperatura*

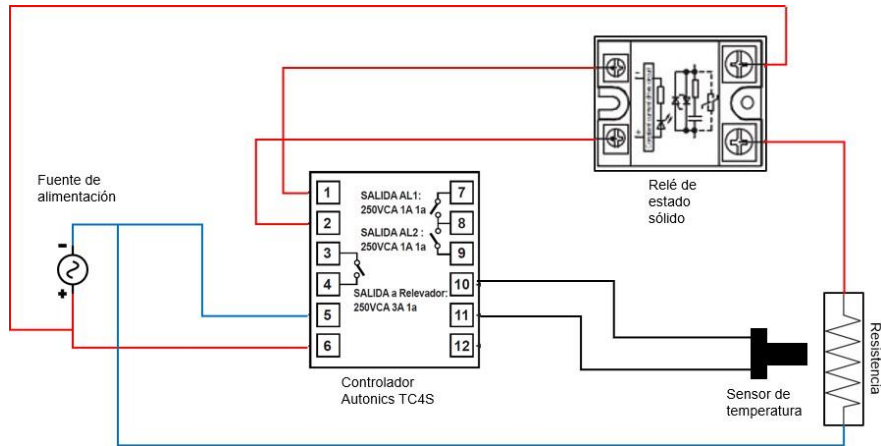


**Nota.** Representación gráfica para la conexión del controlador Autonics TC4S. Tomado de la ficha técnica del controlador de temperatura Autonics series TC (ver anexo 20).

Por último, es necesario enviar la señal de control hacia un relé, el cual tiene la función de permitir o no corriente a la resistencia térmica, por esto se selecciona un relé de estado sólido teniendo la siguiente conexión eléctrica:

**Figura 249.**

*Diagrama de conexión de acuerdo a la aplicación del diseño*



**Nota.** Representación gráfica de la conexión eléctrica del relé, el controlador, el sensor y la resistencia eléctrica. Tomado de la ficha técnica del controlador Autonics. (ver anexo 20).

Por un lado, se conecta la señal que le dará control al relé y por el otro se encuentra la carga, que en este caso es una resistencia eléctrica y así mismo a la fuente de alimentación AC.

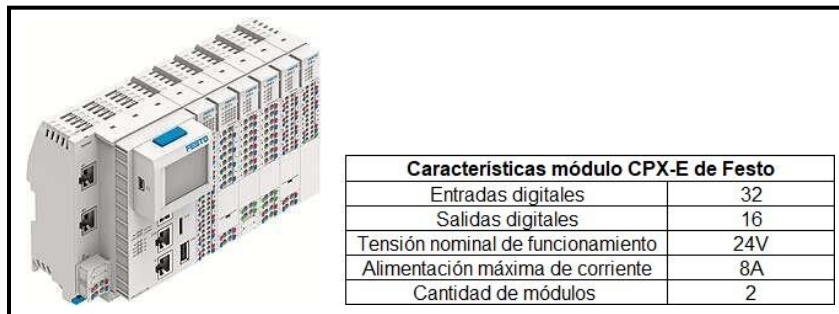
### **4.5.3. Selección PLC**

Para la selección del PLC, la variable principal a tener en cuenta, es el número de entradas y salidas que vaya a poseer el sistema, por lo tanto, de acuerdo a las señales anteriormente mencionada para el funcionamiento de cada uno de los sistemas que componen la máquina, las entradas necesarias deben ser 17 y de acuerdo a las salidas, son necesarias 10 salidas. Tanto las entradas como las salidas son digitales. Además de lo anterior, dado que el software utilizado para la programación es CODESYS, brindado por la compañía Festo, el PLC más recomendable para seleccionar es aquel que tenga la capacidad de leer este. Por lo tanto, según lo anteriormente mencionado,

el dispositivo seleccionado es un sistema de automatización por módulos de entradas y salidas digitales CPX-E, el cual tiene las siguientes características:

**Figura 250.**

*Imagen de un módulo de automatización CPX-E de Festo*



**Nota.** Ilustración de un módulo de automatización CPX-E. Tomado de Festo. [En línea]. Disponible: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_CPXE](https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_CPXE)

#### **4.5.4. Selección de la fuente de alimentación**

Finalmente, los dispositivos anteriormente mencionados, es necesario tener una fuente de alimentación variable, teniendo en cuenta que estos poseen diferentes características en cuanto a voltaje y corriente. Para la selección, se establece la corriente que debe ser suplida por la fuente de voltaje a partir de los equipos que conforman la máquina y su consumo.



**Tabla 19.**

*Consumo eléctrico componentes de la máquina de serigrafía*

Equipo	Cantidad	Corriente (AMP)
Servo motor	1	6
Sensor magnetico	12	1,2
Electrovalvulas	6	0,225
Controlador Autonix TC4S	1	0,6
Rele controlador	1	0,02
Sensor PT100	1	0,0008
Resistencia calefactora	1	4,34
PLC	1	8
Pulsadores	4	10
<b>Total</b>		<b>30,386</b>

**Nota.** Corriente consumida por los equipos que conforman la máquina.

Aplicando un factor de tolerancia del 20% la corriente que debe suministrar la fuente seria de 36,386 Amp. Teniendo en cuenta la corriente y teniendo en cuenta el voltaje bajo el cual operan los diferentes equipos que conforman la máquina, se selecciona la siguiente fuente de alimentación.

**Figura 251.**

*Características de la fuente de alimentación*



Fuente de alimentación suicheada	
Referencia	SP-500-24
Voltaje de entrada	110V/220V AC
Voltaje de salida	24V
Amperaje	20A
Frecuencia	50-60 Hz
Protección corto circuito	Sí
Consumo de energía	480W

**Nota.** Características generalizadas de una fuente de alimentación. Tomado de la ficha técnica de fuentes de alimentación S-500 (ver anexo 21).

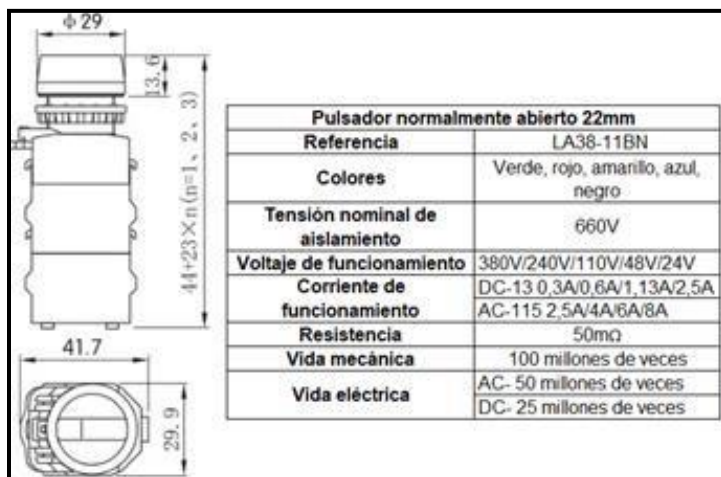
Mediante la fuente se seleccionada, se emplea una conexión en paralelo de dos de los ejemplares referenciados en la figura anterior para suplir la corriente necesaria.

#### 4.5.5. Selección de los pulsadores de control

Finalmente, para el panel de control donde el operario tendrá la posibilidad de controlar el proceso de la máquina se dispondrá de tres pulsadores necesarios para un correcto funcionamiento de la máquina. El primero, representado por el color verde y un texto representativo que indica “inicio”, tendrá la función de iniciar un ciclo de trabajo. El segundo, cuyo color representativo será de color rojo y un texto que indica “paro”, tiene la función de detener el proceso en dado caso de un accidente, mal operación o en dado caso que el ciclo de trabajo haya terminado. Finalmente, el tercer pulsador, representado con el nombre “reset” y el color amarillo, tendrá la función de restablecer los valores iniciales en caso de un paro de emergencia, así la máquina tendría la posibilidad de empezar un nuevo ciclo de trabajo. los pulsadores empleados poseen las siguientes características:

**Figura 252.**

*Pulsador normalmente abierto 22 mm*



**Nota.** Ilustración de las característica geométrica y funcionales del pulsador. Tomado de Vistrónica. [En Línea].

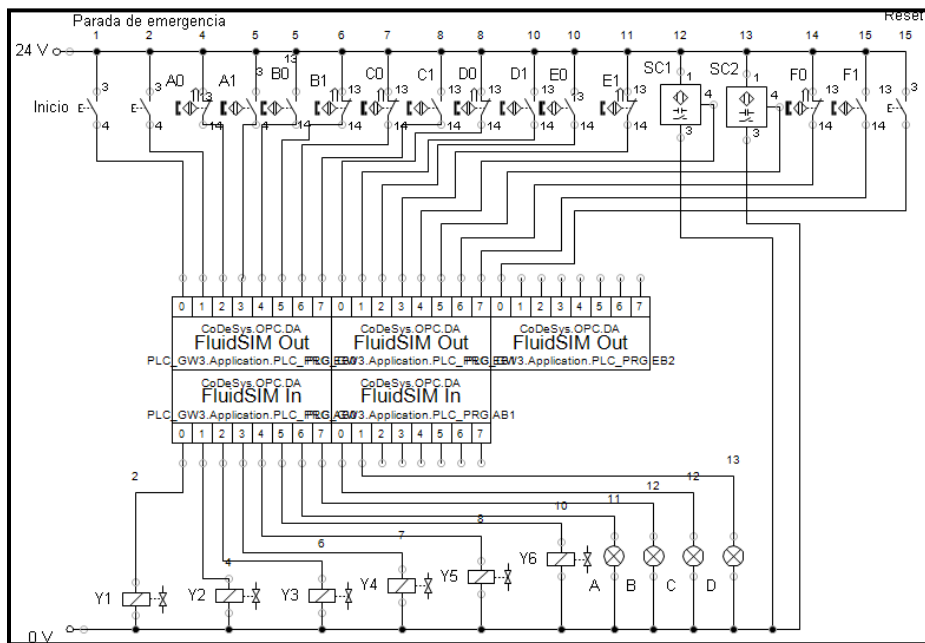
Disponible: <https://www.vistronica.com>

#### 4.5.5. Conexión al PLC

De acuerdo a los elementos necesarios para el control de la secuencia de la máquina para realizar el proceso de máquina y con el apoyo del software Fluidsim, se realiza un diagrama con la conexión de los elementos de entrada y salida al PLC de la siguiente manera:

**Figura 253.**

*Conexión de los dispositivos de entrada y salida al PLC.*



**Nota.** Diagrama que representa la conexión al PLC.

Para completar el diseño de la máquina de serigrafía, se establece la capacidad de producción de la misma teniendo en cuenta los tiempos empleados en el proceso de serigrafía (figura 236), fijación (figura 244) y el desplazamiento y posicionamiento de las mesas de trabajo sobre los cabezales, teniendo en cuenta que la velocidad del servo motor es de 10 Rpm.

**Figura 254.**

*Tiempo de producción por prenda de la máquina de serigrafía (Capacidad máxima).*



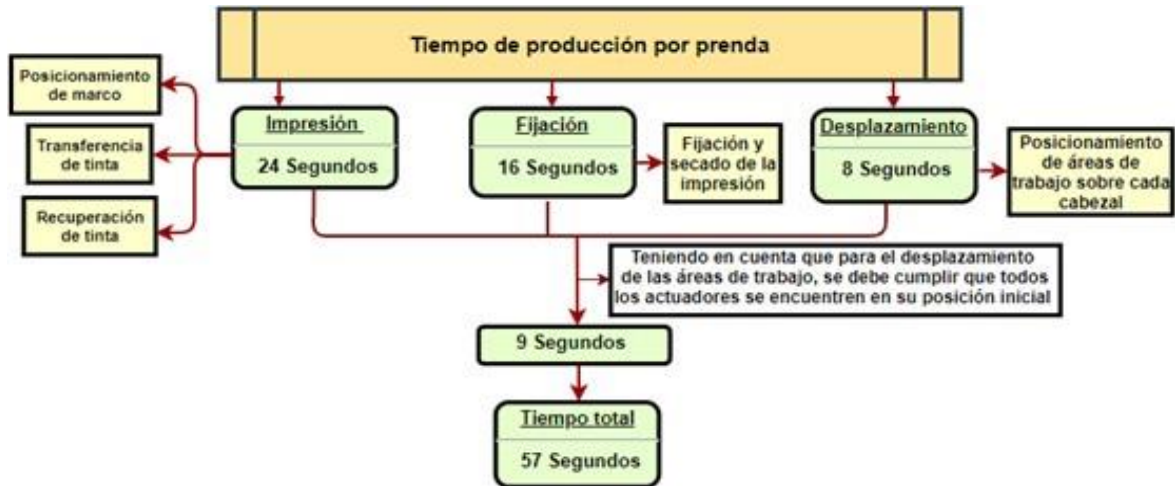
**Nota:** El tiempo de producción por prenda referenciado en la figura anterior, hace referencia a la capacidad máxima de la máquina que es igual a 40 p/hora o 720 p/día (en un día laboral de 8 horas).

Se debe tener en cuenta que a partir del 50% de grado de abertura de válvulas reguladoras de flujo, la capacidad de la máquina se ve restringida por el tiempo en el que se ejecuta el proceso de fijación y los actuadores asociados a este vuelven a su posición inicial.

Respecto a la capacidad mínima permisible de la máquina, esta se da cuando las válvulas reguladoras de flujo están en un grado de abertura del 20%, teniendo en cuenta esto los tiempos de producción serían.

**Figura 255.**

*Tiempo de producción por prenda de la máquina de serigrafía (Capacidad mínima).*



**Nota:** El tiempo de producción por prenda referenciado en la figura anterior, hace referencia a la capacidad máxima de la máquina que es igual a 63 p/hora o 505 p/día (en un día laboral de 8 horas).

A partir de los tiempos totales de producción actuales y los referenciados en las figuras 257 y 258, se establecen los porcentajes de mejora máximo y mínimo del proceso de serigrafía textil en la empresa.

$$\%Max = \frac{720 \frac{p}{h} - 320 \frac{p}{h}}{320 \frac{p}{h}} * 100 = 125\%$$

$$\%Min = \frac{505 \frac{p}{h} - 320 \frac{p}{h}}{320 \frac{p}{h}} * 100 = 57,81\%$$

## 5. ELABORACIÓN DE MANUALES PARA LA MÁQUINA

### 5.1. Manual de instalación

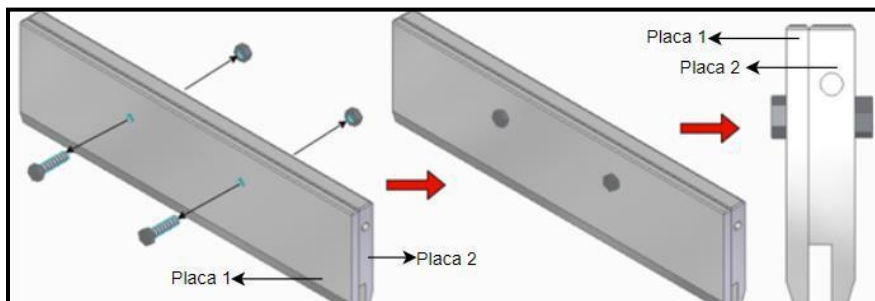
A continuación, se especifican los procedimientos a seguir para el correcto ensamble e instalación de cada uno de los sistemas de la máquina de serigrafía automatizada.

#### 5.1.1. Sistema de impresión

5.1.1.a. Ensamble de racleta y placa recolectora.

#### Figura 256.

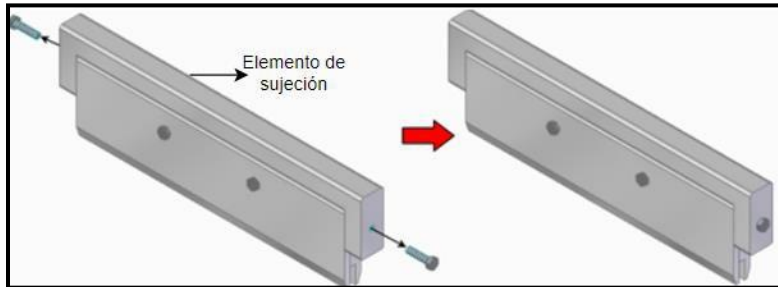
*Paso 1 del ensamble*



**Nota.** Posicione las placas de sujeción de racleta 1 y 2 enfrentadas entre sí, posteriormente realice la unión mediante dos tornillos de cabeza hexagonal de ros M6 y longitud de 25mm como se muestra a continuación.

**Figura 257.**

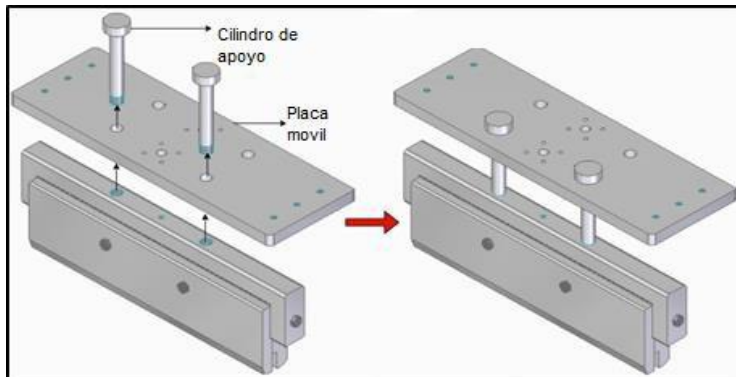
*Paso 2 del ensamble*



**Nota.** Ubique el elemento de sujeción de racleta en la parte superior del conjunto obtenido anteriormente como se muestra en la figura 256, a continuación, para lograr la correcta fijación asegure la unión del ensamble mediante tornillos de cabeza hexagonal de rosca M6 y 30mm de longitud.

**Figura 258.**

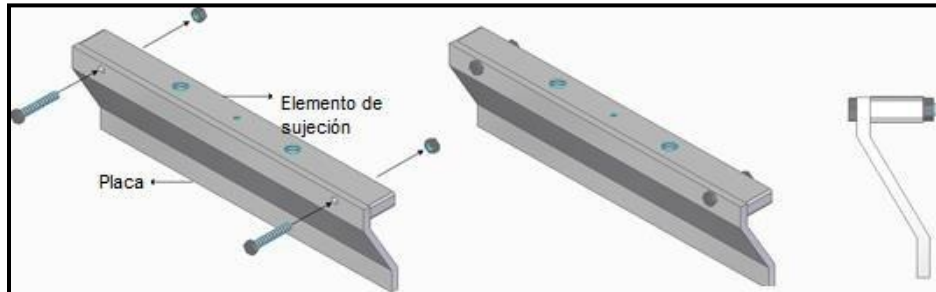
*Paso 3 del ensamble*



**Nota.** Alinee los agujeros roscados del elemento de sujeción de racleta con los agujeros frontales de la placa móvil y con los cilindros de apoyo, posteriormente atravesese la placa móvil con los cilindros por los agujeros señalados y fíjelos en la racleta.

**Figura 259.**

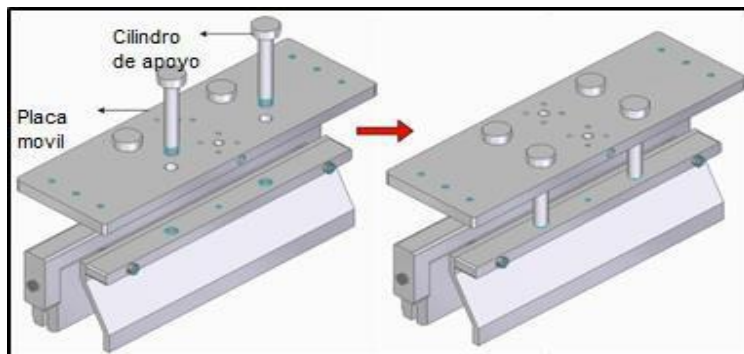
*Paso 4 del ensamble*



**Nota.** posicione la placa de recolección y el elemento de sujeción de la misma enfrentadas entre sí, posteriormente realice la unión mediante dos tornillos de cabeza hexagonal de rosca M6 y longitud de 40mm.

**Figura 260.**

*Paso 5 del ensamble*

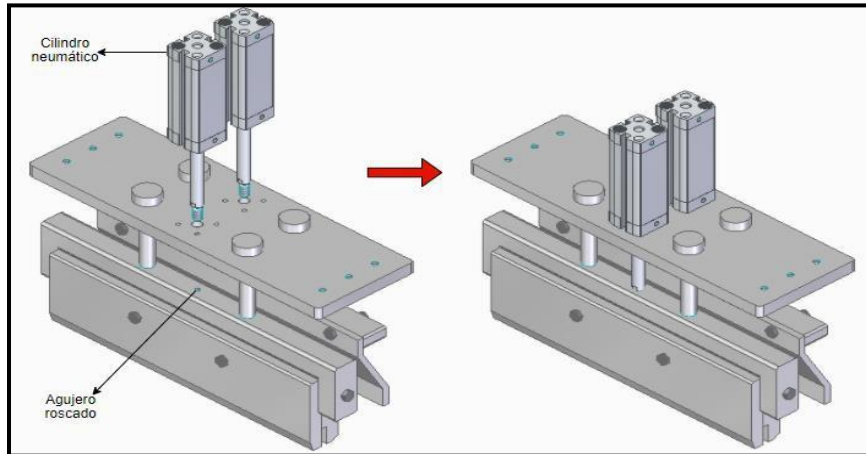


**Nota.** De manera similar a como se procedió con la raqueta, alinee los agujeros roscados del elemento de sujeción con los agujeros frontales y los cilindros de apoyo correspondientes, posteriormente atraviese la placa con los cilindros y enrósquelos sobre el elemento de sujeción.



**Figura 261.**

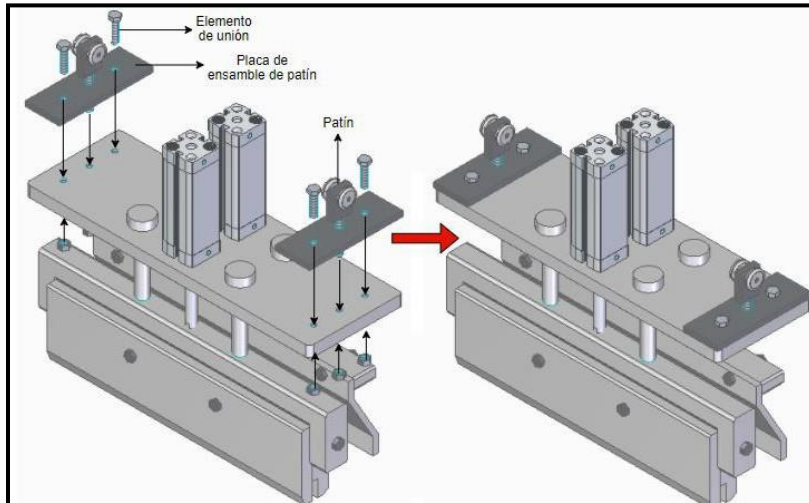
*Paso 6 del ensamble.*



**Nota.** A continuación posicione los cilindros neumáticos de manera que alinee los vástagos con los agujeros centrales de la placa móvil , inserte los vástagos en la placa y enrosque las roscas de los vástagos en los elementos de sujeción tanto de la raqueta como de la placa de recolección de tinta, consecutivamente , emplee los elementos roscados provistos por el fabricante de los actuadores para fijarlos a la placa móvil, tenga en cuenta que son tornillos tipo Bristol y deben asegurarse con las llave correcta.

**Figura 262.**

*Paso 7 del ensamble*

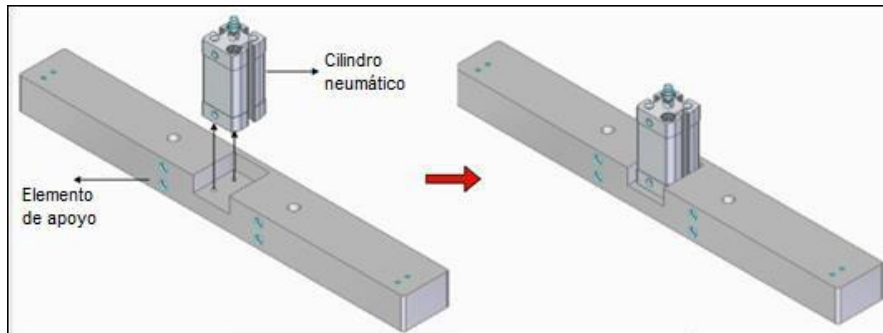


**Nota.** Finalmente, para completar el ensamble de la racleta, fije el patín y sus accesorios (placa) a la placa móvil mediante tornillos de cabeza hexagonal de rosca m6 como se muestra a continuación.

5.1.1.b. Ensamble del conjunto sujetador de marco. Para la instalación del conjunto que permite subir y bajar el marco respecto al área de trabajo se deben seguir los siguientes pasos

**Figura 263.**

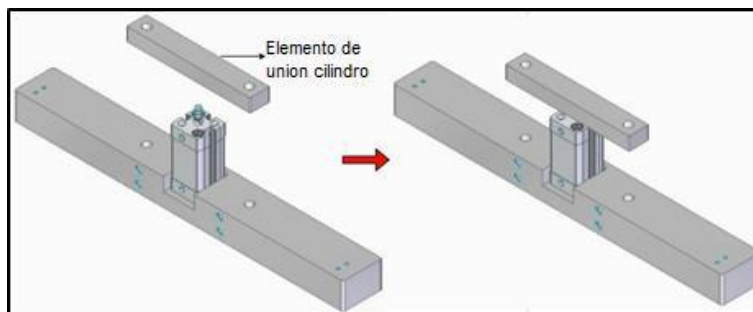
*Paso 8 del ensamble*



**Nota.** Asegure el cilindro neumático de carrera más corta con su elemento base, empleando los tornillos Bristol facilitados por el fabricante de la siguiente manera.

**Figura 264.**

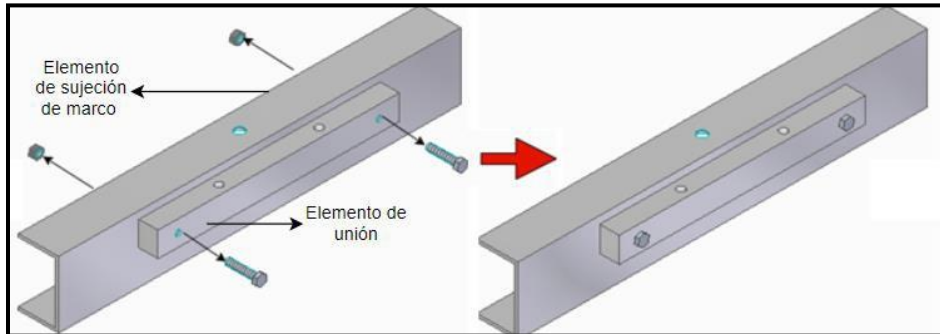
*Paso 9 del ensamble*



**Nota:** Enrosque el elemento el elemento de unión de cilindros sobre el vástago del cilindro neumático.

**Figura 265.**

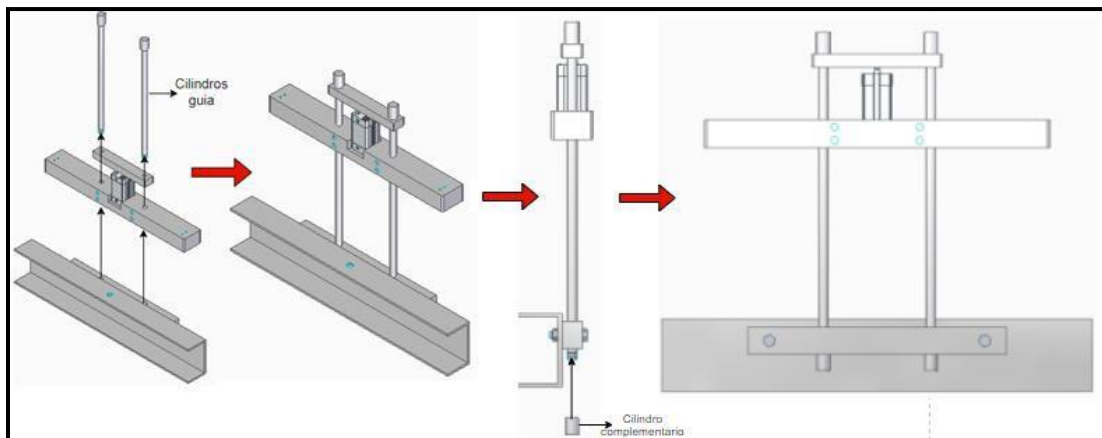
*Paso 10 del ensamble*



**Nota.** Enfrente el perfil en C o elemento de sujeción de marco con el elemento de unión, alineando los agujeros de ambos elementos, a continuación, realice la fijación del ensamble mediante tornillos de cabeza hexagonal de 30mm de longitud como se muestra a continuación.

**Figura 266.**

*Paso 11 del ensamble*



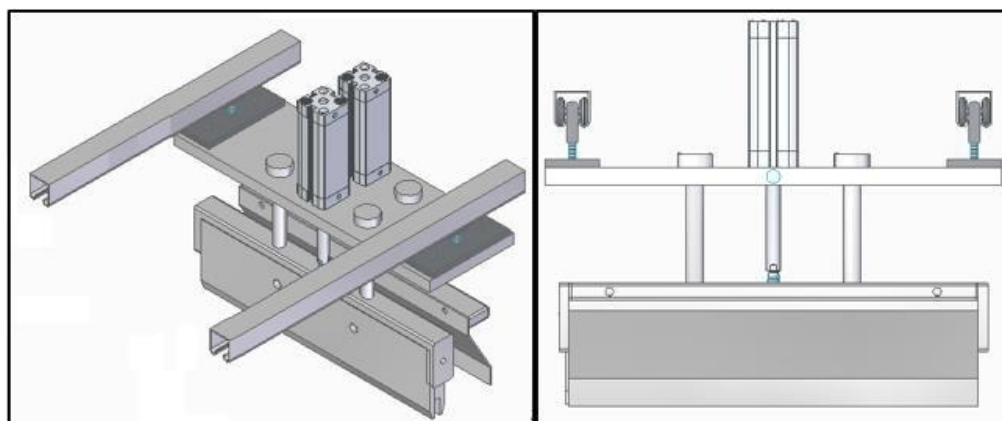
**Nota.** Posicione los cilindros guía de manera que atraviesen lo elementos anteriormente mencionados y asegure el cilindro de apoyo enroscando su extremo con el cilindro complementario como se muestra a continuación.

Paso 12. Repita los procedimientos para ensamblar el segundo conjunto sujetador de marco

5.1.1.c. Ensamble riel de desplazamiento horizontal.

**Figura 267.**

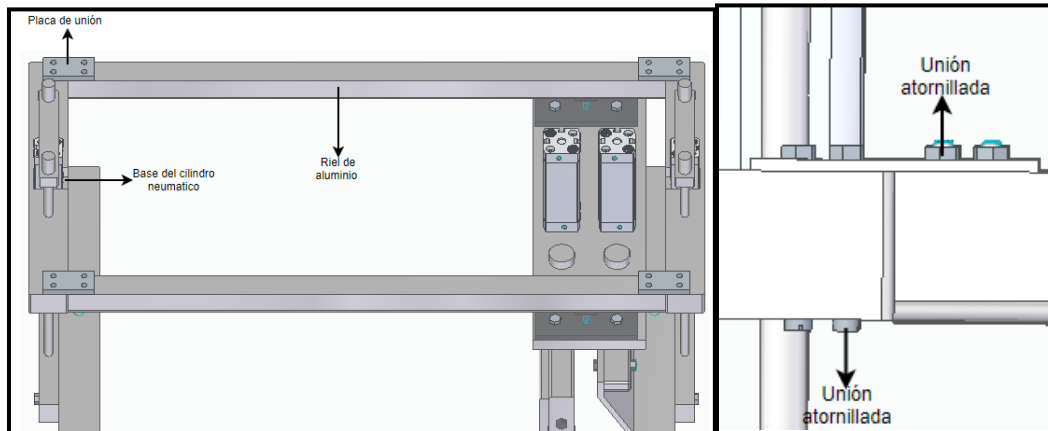
*Paso 13 del ensamble*



**Nota:** Posicione el patín del conjunto de la racleta dentro del riel de aluminio como se muestra en la figura.

**Figura 268.**

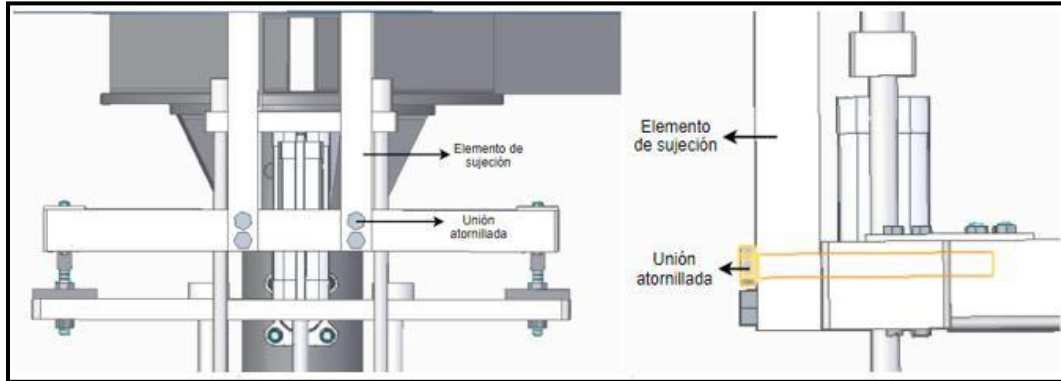
*Paso 14 del ensamble*



**Nota.** Posicione los rieles de aluminio en la parte superior del ensamble de sujeción de marco, alinee la palca de sujeción con los agujeros que tienen en la parte superior el ensamble y los rieles y efectúe el ensamble mediante tornillos de cabeza redonda para destornillador de pala de rosca M3 y longitud de 10mm en la sección del riel y de 30mm para la sección del soporte de cilindro neumático junto con sus respectivas tuercas como se muestra a continuación.

**Figura 269.**

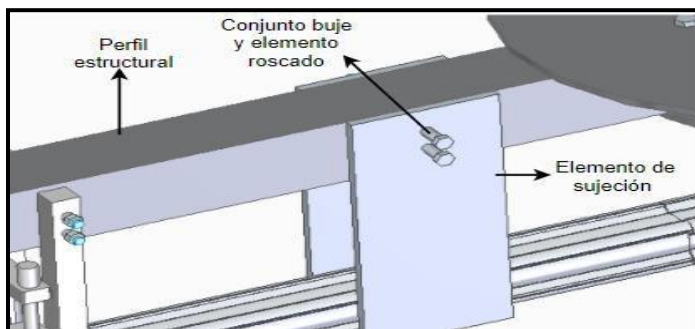
*Paso 15 del ensamble*



**Nota.** Fije los elementos de sujeción estructural a los agujeros roscados de la base de cilindro neumático de movimiento de marco, empleando tornillos de cabeza hexagonal de rosca M7 de 70mm de longitud, como se muestra a continuación.

**Figura 270.**

*Ubicación y fijación del cilindro de desplazamiento horizontal*

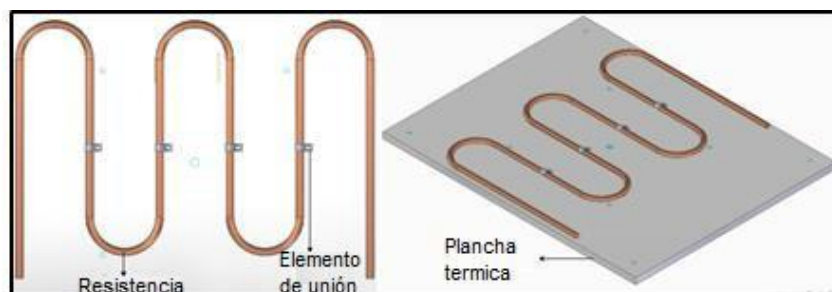


**Nota.** Fije el cilindro de desplazamiento horizontal, enroscando el vástago en la placa móvil de impresión, simultáneamente ubique el cuerpo del cilindro en el interior del elemento de sujeción, y realice la sujeción mediante bujes y tornillos de rosca M7.

### 5.1.2. Sistema de fijación y secado

Figura 271.

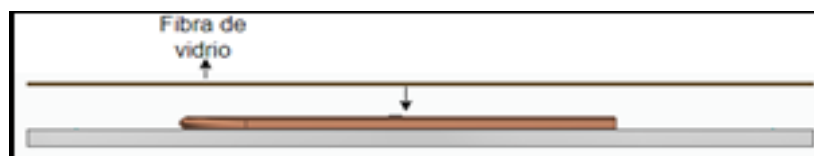
Paso 16 del ensamble



**Nota.** Fije la resistencia eléctrica calefactora a la plancha térmica mediante tornillos de cabeza hexagonal M6 y las arandelas de sujeción, como se muestra a continuación.

Figura 272.

Paso 17 del ensamble

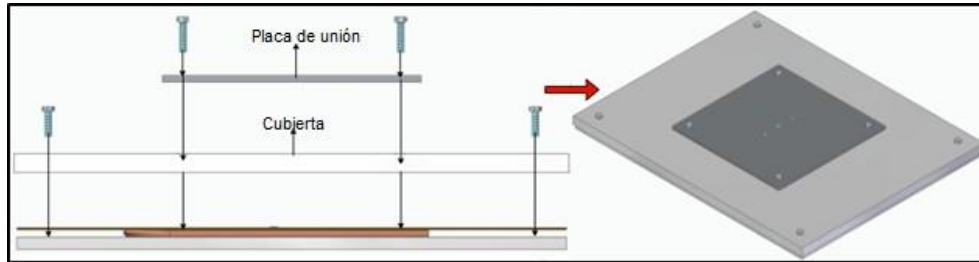


**Nota:** posicione encima de la resistencia el tramo de aislante térmico de fibra de vidrio.



### Figura 273.

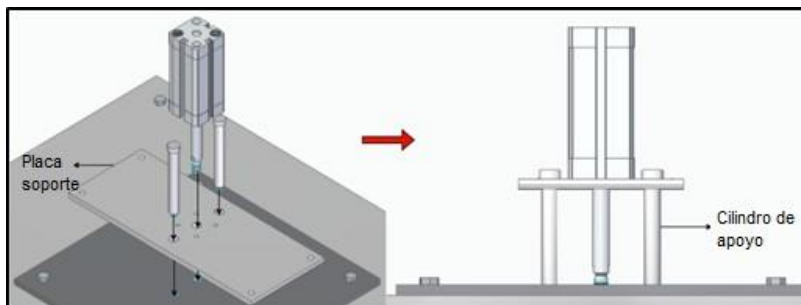
#### Paso 18 del ensamble



**Nota.** A continuación, se ensambla la cubierta de la plancha termográfica y el elemento de sujeción, tanto como para la cubierta como para la placa se emplean tornillos de cabeza hexagonal de rosca M6 de 25mm de longitud para la cubierta y de 30mm para la placa, se debe tener en cuenta que estos elementos roscados van fijos a la plancha térmica.

### Figura 274.

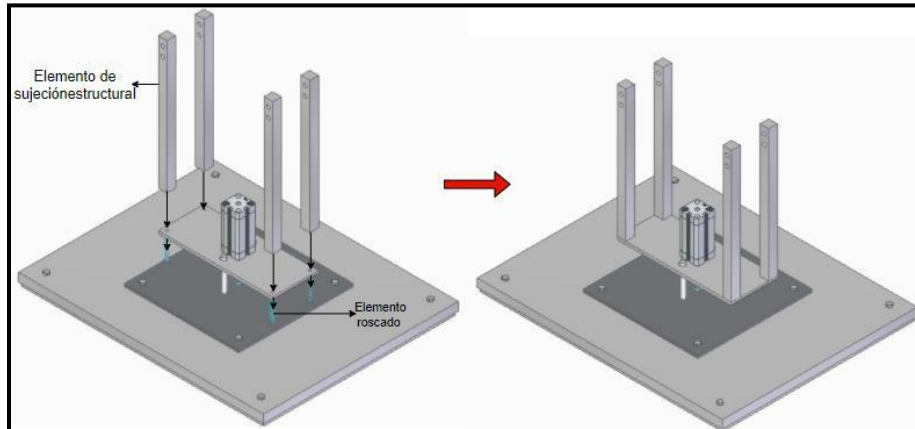
#### Paso 19 del ensamble



**Nota.** Ubique el cilindro neumático y los cilindros de apoyo de manera que atraviesen la placa de soporte de cilindro y enrosque los extremos de todos los cilindros con el agujero roscado de la placa de unión como se muestra a continuación, para fijar el cilindro neumático a la placa soporte emplee los elementos roscados provistos por el fabricante.

**Figura 275.**

*Paso 20 del ensamble*

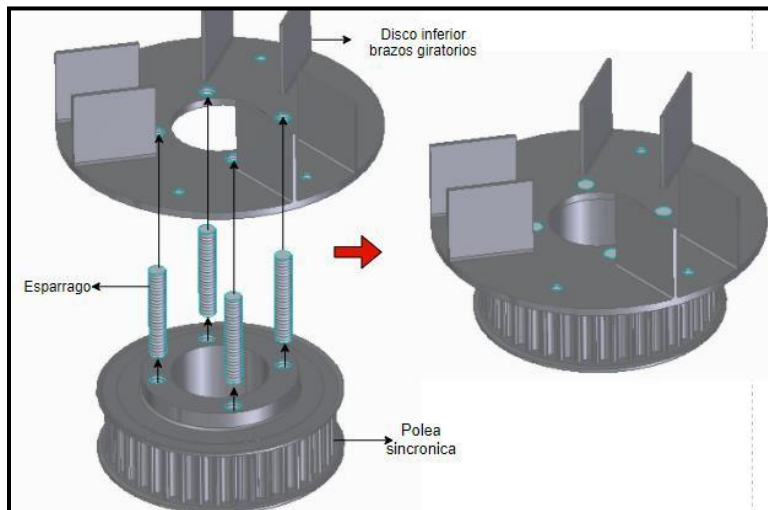


**Nota.** Para realizar la fijación a la estructura de la máquina, se debe ensamblar los elementos de sujeción del cabezal, para cada uno de los elementos emplea los tornillos de rosca M6 y longitud de 50mm.

### 5.1.3. Sistema de generación y transmisión de potencia (Brazos giratorios)

Figura 276.

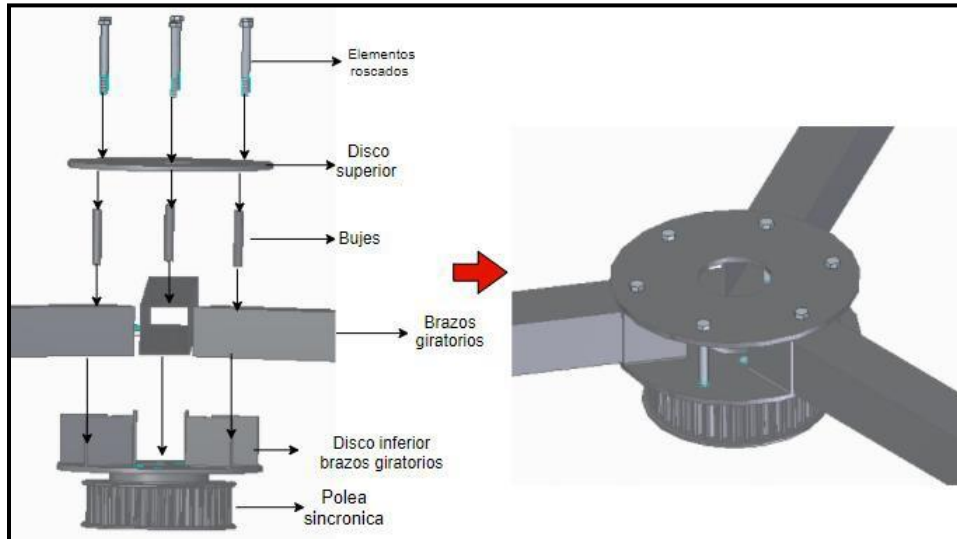
Paso 21 del ensamble



**Nota.** Inicialmente ensamble la polea sincrónica conducida con el disco inferior de los brazos giratorios, mediante los espárragos de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 70 mm de longitud.

**Figura 277.**

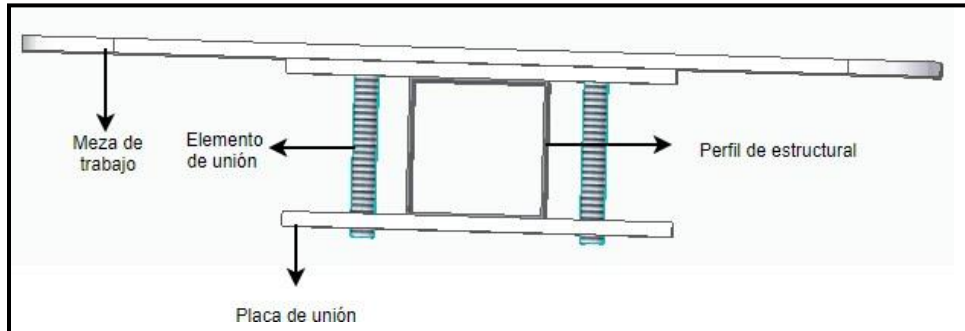
*Paso 22 del ensamble*



**Nota.** Consecutivamente ubique el buje correspondiente en el agujero de unión de los brazos giratorios con los discos y alinee con los agujeros que se encuentran dentro de las placas, posteriormente ubique el disco de los brazos superiores enfrente con los brazos giratorios, alineando los agujeros, posteriormente realice la unión mediante los tornillos de cabeza hexagonal de rosca M8 y de 80mm de longitud.

**Figura 278.**

*Paso 23 del ensamble*

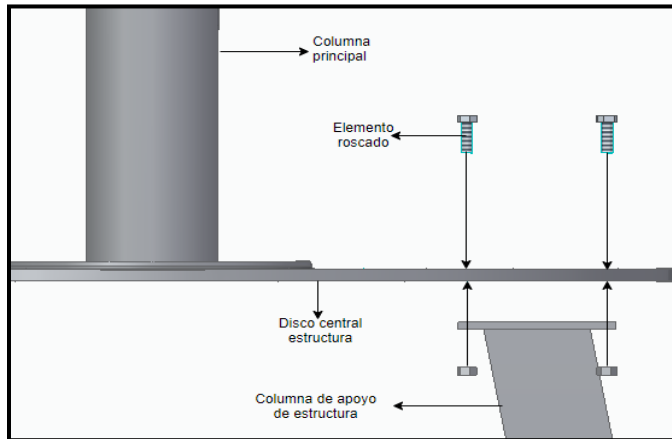


**Nota:** A continuación, se fijan las mesas de trabajo, ubicándolas en el extremo del perfil de los brazos giratorios; inicialmente apoye la mesa, ubique la placa de sujeción y mediante los espárragos de 1/2" y longitud de 70 mm asegure el ensamble como se muestra en la imagen.

#### 5.1.4. Sistema estructural

Figura 279.

Paso 24 del ensamble

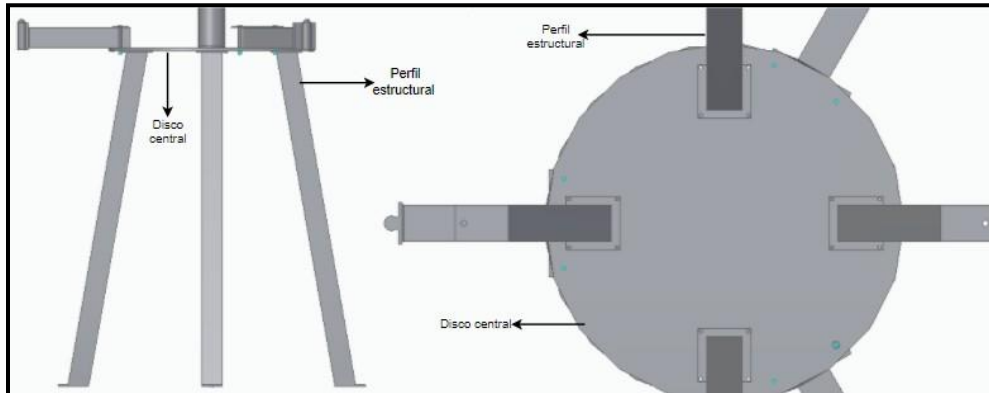


**Nota.** Tome las columnas de apoyo de la estructura principal, y asegúrelas al disco principal de la estructura mediante 4 tornillos de cabeza hexagonal de rosca M6 y 20mm de longitud como se muestra a continuación.

Realice el procedimiento anterior para cada una de las columnas de apoyo de la estructura para obtener el siguiente ensamble.

**Figura 280.**

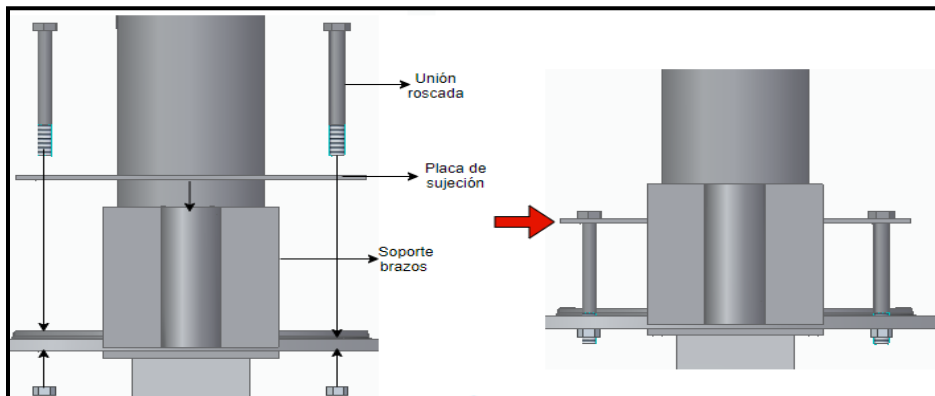
*Visualización del ensamble de los otros soportes.*



**Nota.** Imagen que ilustra la posición del resto de columnas base

**Figura 281.**

*Paso 25 del ensamble.*

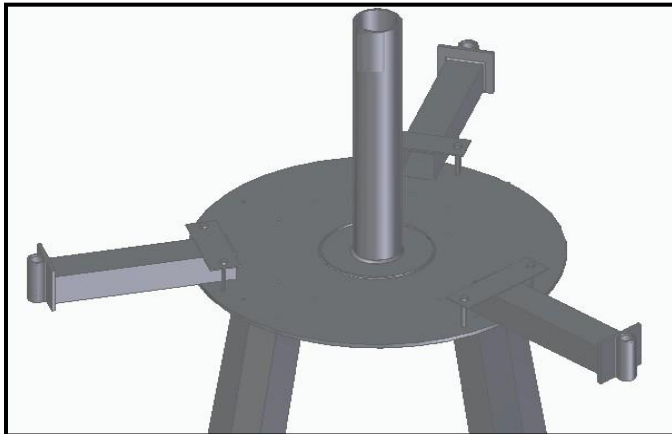


**Nota.** A continuación, se posicionarán los elementos de apoyo de los brazos giratorios, ubicándolos en ellos espacios designados y asegurándolos mediante una placa de sujeción y tornillos de cabeza hexagonal de rosca M7 de 80 mm como se evidencia en la figura.

Realizando el procedimiento para cada uno de los tres apoyos con los que cuenta la máquina se obtiene:

**Figura 282.**

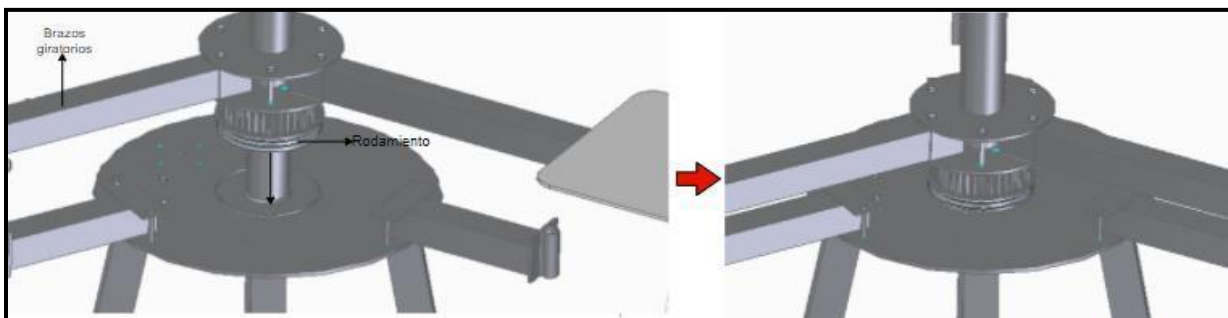
*Ensamble de los tres brazos de apoyo*



**Nota:** Ilustración del ensamble completo de los brazos de apoyo.

**Figura 283.**

*Paso 26 y 27 del ensamble*

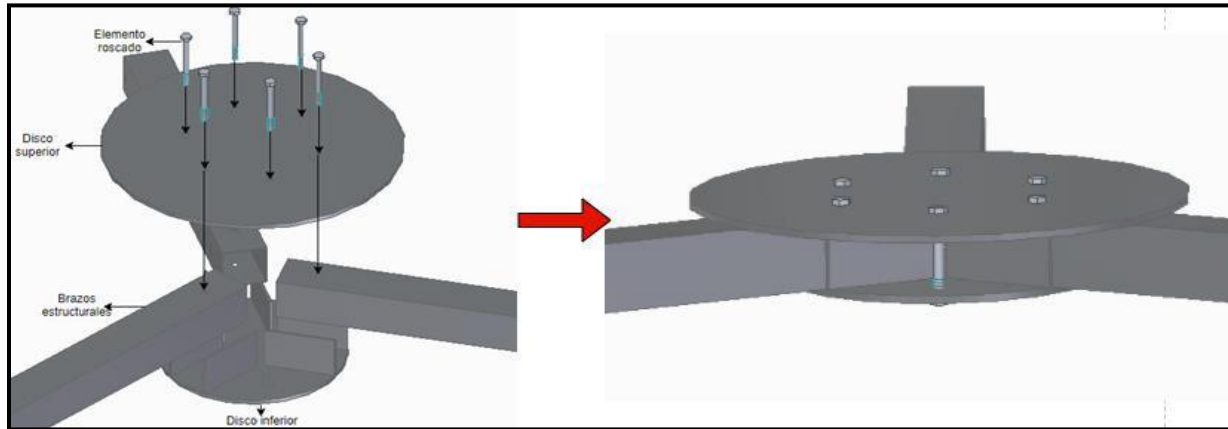


**Nota.** Posicione el rodamiento sobre el eje de la columna de manera que este encaje dentro del realce del disco de la estructura principal, posteriormente posicione el ensamble de los brazos giratorios sobre el rodamiento como se muestra a continuación



**Figura 284.**

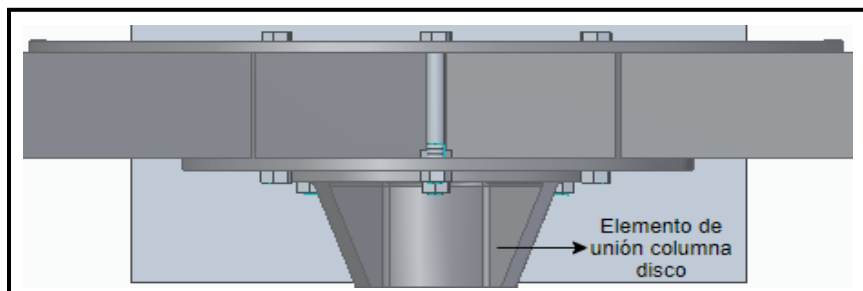
*Paso 28 del ensamble*



**Nota.** Realice el montaje de los brazos estructurales superiores, para esto ensamble los brazos estructurales con los discos superiores de la máquina, de la siguiente manera. Empleando tornillos de cabeza hexagonal de rosca M8 y de 70mm de longitud

**Figura 285.**

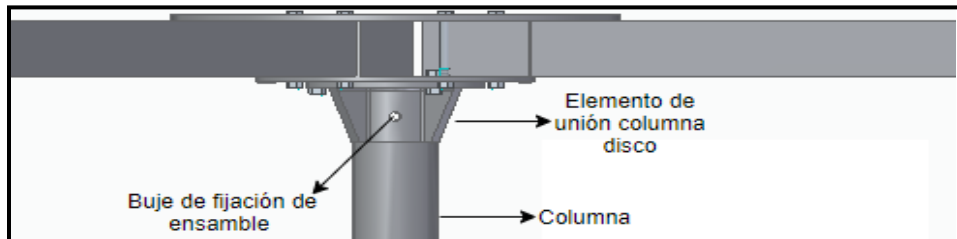
*Paso 29 del ensamble*



**Nota.** Ubique el elemento de unión de la columna y los discos superiores como muestra la figura y asegure el elemento de unión a los discos mediante tornillos de cabeza hexagonal de rosca M3 y de 10mm de longitud.

## Figura 286.

### *Paso 30 del ensamble*

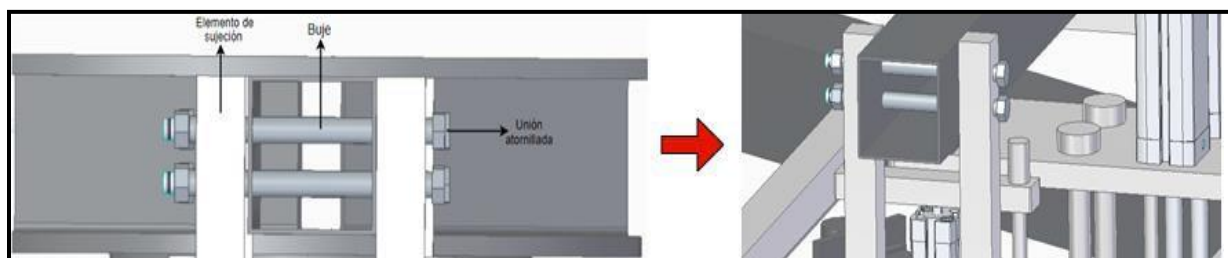


**Nota.** Posicione el conjunto de brazos estructurales sobre la columna y asegure el ensamble mediante el pasador para la columna.

Paso 31. Ubique los cabezales sobre los brazos estructurales de la siguiente manera:

## Figura 287.

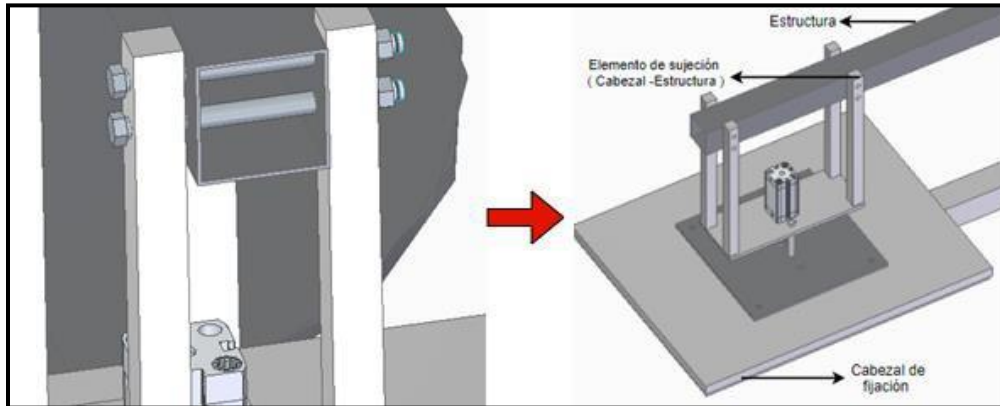
### *Ensamble del cabezal de impresión con la estructura*



**Nota.** Ubique el buje correspondiente de manera que este en contacto con el perfil estructural y con el elemento de fijación del cabezal, posteriormente, repita el proceso, pero ahora con el tornillo de cabeza hexagonal de rosca M7 y longitud de 110mm. Repita el proceso para las dos secciones en las que se realiza la fijación.

**Figura 288.**

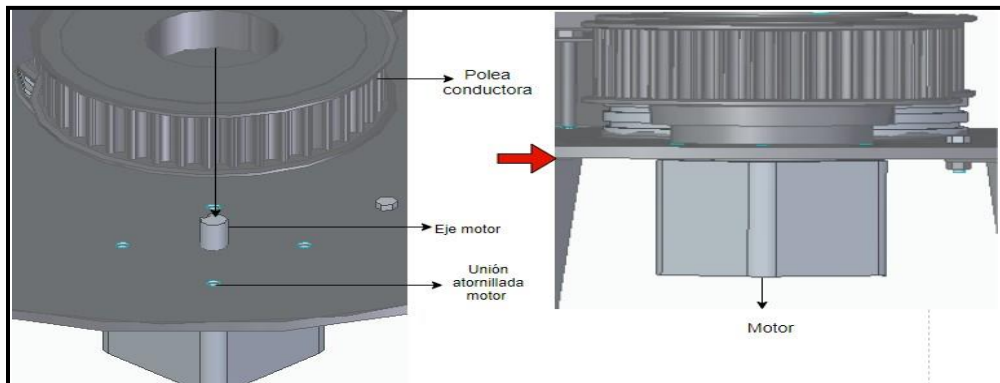
*Ensamble del cabezal de fijación con la estructura*



**Nota.** Para el cabezal de fijación el procedimiento es similar, se emplea el mismo arreglo de buje y tornillo con las mismas designaciones en dos secciones a lo largo del perfil estructural como se muestra a continuación.

**Figura 289.**

*Paso 32 de ensamble*



**Nota.** Para finalizar ubique el motor sobre el disco de la estructura principal mediante tonillos hexagonales de rosca M3 y longitud de 20mm y ensamble el buje unido a la polea motriz mediante el chavetero.

## 5.2. Manual de operación

El propósito de este manual es darle una guía al operario para hacer un manejo adecuado de la máquina. Además de lo anterior, este cuenta con un manual de elementos y procedimientos de seguridad, los cuales debe seguir con el fin de no tener una lesión física.

### 5.2.1. Manual de seguridad

Para un correcto manejo de la máquina, es preciso seguir las siguientes normas de seguridad, tanto para el adecuado funcionamiento de la máquina como para la integridad de la persona encargada de manejar la máquina o aquellos externos que puedan estar en contacto con la misma.

**Tabla 20.**

*Señalización necesaria que debe poseer la máquina y sus alrededores.*

Tipo de señal	Señalización	Descripción
Advertencia	 A warning sign consisting of a yellow triangle with a black border. Inside the triangle, there is a black silhouette of a hand being crushed by a downward-pointing arrow. Below the triangle is a yellow rectangular box with the text "RIESGO DE APLASTAMIENTO" in black capital letters.	Dado que la plancha térmica del sistema de fijación y secado ejerce una presión sobre la prenda textil, esta puede producirle una lesión al operario.

<p>Advertencia</p>		<p>La máquina contiene un conjunto de elementos cuyo funcionamiento es eléctrico, por lo tanto, es de gran importancia que ninguno de estos elementos sea manipulado inadecuadamente, puesto que puede ser un riesgo tanto para el operario, como para el correcto funcionamiento de la máquina.</p>
<p>Advertencia</p>		<p>Hablando nuevamente del sistema de fijación y secado, es preciso prevenir todo contacto con la planche térmica puesto que está se encuentra a una temperatura de 200°C</p>
<p>Advertencia</p>		<p>Puesto que la máquina al comenzar su secuencia de trabajo de manera automática, es de vital importancia no meter extremidades mientras esta esté en movimiento,</p>

		podría producir alguna lesión.
Obligación		Para un correcto funcionamiento de la máquina, es pertinente hacer las correspondientes conexiones de los sistemas que componen la máquina (neumático, eléctrico, térmico y control).
Obligación		Puesto que la máquina cuenta con un gran número de dispositivos alimentados con energía eléctrica, es recomendable que, al término de su uso, esta sea desconectada.
Señal contra incendio		Es necesario tener señalizado un elemento para la extinción de llamas, dado el caso catastrófico de incendio

**Nota.** Señales gráficas para la seguridad de las personas que operen o estén alrededor de la máquina. Tomado del catálogo de señales de seguridad industrial. (Ver anexo 22)

Adicional a lo anterior, es necesario seguir las siguientes recomendaciones al momento de presentarse algún inconveniente con la máquina o algún tipo de accidente:

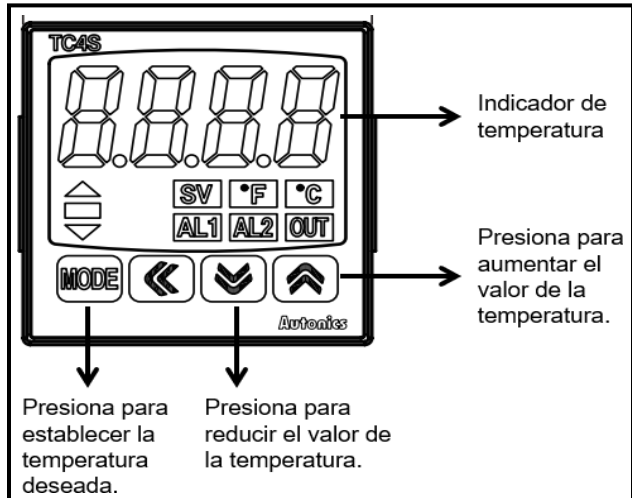
- Es necesario leer completamente el manual de operación para poder evitar accidentes.
- En dado caso que haya ocurrido un accidente, presione el botón de “paro”. Esto detendrá el movimiento de la máquina inmediatamente. Posterior a esto, presione el botón “Reset”. Este permitirá que todos los elementos móviles de la máquina vuelvan a su posición inicial.

Una vez se tienen en cuenta las normas de seguridad anteriormente mencionadas, se procede a realizar una inspección visual de los diferentes sistemas, comprobando el buen estado de las conexiones eléctricas, neumáticas y de transmisión. Cuando se ha comprobado el buen estado de la máquina se procede a conectar y encenderla. A continuación, se repasará el paso a paso para la operación de esta:

**Primer paso:** Al tener la máquina encendida, es necesario establecer los parámetros funcionales de la máquina, donde se para el caso de esta máquina se podrá controlar la velocidad de impresión, para esto es necesario regular las válvulas de estrangulamiento que alimentan al Cilindro A de acuerdo a la aplicación que se desee. Como siguiente parámetro, es necesario establecer la temperatura que va a poseer el sistema de fijación y secado. Para esto, se establece la temperatura a la cual se quiere llegar en el panel del controlador TC4S, para esto, una vez configurado el controlador para funcionamiento por relé SSR (leer manual del controlador para esta configuración) presionar el botón “mode” seguido de esto utilizar las flechas para establecer la temperatura deseada entre 0°C y 200°C. Seguido de esto, debe esperar hasta que el indicador muestre que ha llegado a la temperatura deseada.

**Figura 290.**

*Configuración del controlador térmico*



**Nota.** Representación gráfica del panel de control de temperatura. Tomado de la ficha técnica del controlador Autonics TC4S (ver anexo 20).

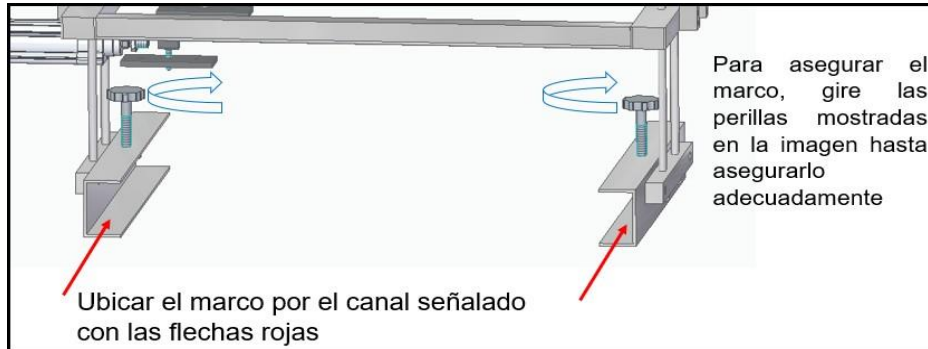
**Segundo paso:** Como siguiente paso, hay que preparar las mesas de trabajo donde se van a posicionar las prendas textiles deben estar descontaminadas, sin ninguna sustancia que pueda afectar el aspecto estético de las prendas. No obstante, es necesario aplicar un adhesivo que no vaya a manchar la prenda, con el propósito de que esta se quede en su lugar a lo largo del proceso de impresión y secado.

**Tercer paso:** El siguiente paso a realizar, es acomodar el marco con el diseño a imprimir en el canal dispuesto para este, apriete las mordazas con la suficiente presión, de esta manera el marco se quedará en una posición estable.



**Figura 291.**

*Posicionamiento del marco sobre el sistema de impresión.*



**Nota.** Visualización del posicionamiento del marco con el diseño a imprimir sobre las prendas textiles.

**Cuarto paso:** La siguiente tarea a realizar, es depositar la tinta necesaria para el trabajo, sin embargo, antes de esto hay que verificar que el depósito y la manguera estén limpios (para el caso que se haya trabajado con una tinta de diferente color). Verificado lo anterior, se procede a depositar la tinta.

**Quinto paso:** Como siguiente paso, se debe posicionar la prenda la cual se vaya a imprimir. Una vez esta se encuentre en su posición, se procede a accionar la máquina mediante el pulsador de inicio mostrado en el panel de control, seguido de esto la máquina realizará la secuencia programada para la impresión y secado de prendas. Mientras una prenda está posicionada bajo el sistema de impresión puede posicionar la siguiente prenda.

**Sexto paso:** Para detener el proceso de la máquina, una vez pase la última prenda por los sistemas de impresión y secado, se debe presionar el pulsador de paro, de esta manera la máquina queda suspendida y preparada para su apagado.

Como sugerencia adicional, en caso de un mal funcionamiento de la máquina, un error de posicionamiento de la prenda o un accidente, es necesario presionar el pulsador de paro, de esta manera la máquina detendrá su funcionamiento. En caso de ocurrir un

accidente o que el proceso deba reiniciarse, se presiona el botón de reset para que todos los elementos vuelvan a su posición de origen y la máquina quede en ceros. Para volver a iniciar el proceso, se debe presionar el pulsador “inicio”. Verifique que no haya prendas posicionadas bajo ningún sistema de la máquina.

### **Figura 292.**

*Panel de control con pulsadores de la máquina.*



**Nota.** Diagrama que representa el panel de control de la máquina.

A continuación, se muestran algunas recomendaciones que debe tener durante la operación de la máquina.

Sí hay algún inconveniente con el posicionamiento de las prendas, presione el botón “Paro” para que la máquina se detenga.

Sí la prenda se ha movido de su posición original, presione “Paro” para detener la máquina y luego de esto presione “Reset” para que la mesa retorne a su primera ubicación.

### **5.3. Manual de mantenimiento**

Este manual le brindará una guía al operario con un conjunto de actividades que debe realizar con el fin de preservar la vida útil del activo (en este caso corresponde a la

máquina), incluyendo acciones que debe realizar, tales como ajustes, lubricación, entre otras. De esta manera, verifica de manera sencilla el correcto funcionamiento de los elementos que componen cada uno de los sistemas que contiene la máquina y no compromete el estado funcional de esta.

Como primer paso, el operario debe estar en la capacidad de reconocer los diferentes sistemas que componen la máquina, de esta manera podrá seguir un paso a paso de las respectivas actividades que debe seguir al momento de realizar el mantenimiento. Por lo tanto, el siguiente ítem le brinda una guía a seguir para cada uno de los sistemas que componen la máquina.

### **5.3.1. Sistema de impresión**

Para este sistema es esencial reconocer los subsistemas que la componen, de esta manera es posible determinar las posibles fallas que pueda presentar y las acciones a realizar para poder prevenirlas. Por lo tanto, de acuerdo al funcionamiento que posee este sistema se encuentran los siguientes subsistemas:

- Subsistema neumático
- Subsistema estructural

5.3.1.a. Subsistema neumático. Para el subsistema neumático, deben realizarse las siguientes inspecciones:

Inicialmente, es preciso inspeccionar el compresor, puesto que esta máquina es la que se encarga de alimentar los elementos que dan movimiento al sistema de impresión. Por lo tanto, de acuerdo a lo indicado por el fabricante respecto a el mantenimiento preventivo que se le debe realizar al compresor, es necesario examinar los siguientes elementos:

- Filtro de aire: Este elemento tiene la función de atrapar todos aquellos agentes contaminantes provenientes del aire, los cuales pueden dañar los elementos internos que componen el compresor, así como los actuadores, válvulas y otros

dispositivos neumáticos. Por lo anterior, es recomendable realizar una limpieza de este elemento al cabo de un ciclo de trabajo. No obstante, este elemento tiene una vida útil y el fabricante recomienda el reemplazo de la misma al cabo de un año.

- Tanque: Para el tanque hay diferentes inspecciones y tareas a realizar periódicamente. Como primera inspección, es adecuado observar las juntas soldadas evitando que haya fugas. Ahora, como segunda inspección y tarea, es pertinente evacuar el condensado acumulado que pueda poseer este, puesto que un exceso de líquido puede producir un daño por corrosión a piezas que no deberían estar en contacto con el agua.
- Motor eléctrico: Dado que este compresor de doble pistón funciona mediante un motor eléctrico, es recomendable realizar una inspección a los elementos que componen este subsistema, donde al momento de percibir ruido, vibración o mal funcionamiento del mismo, se realice un ajuste, alineamiento, cambio de correa o de rodamientos desgastados.

Luego de realizar una adecuada rutina de inspección al compresor, se procede a realizar una actividad similar a todos los elementos neumático ubicados sobre el sistema de impresión, donde se encuentran los siguientes equipos:

- Unidad de mantenimiento: este elemento se encarga de filtrar los agentes contaminantes que el filtro del compresor no pudo retener, por eso, es pertinente que el estado del filtro sea óptimo. Además de lo anterior, estos poseen un aceite lubricante que cuidan las válvulas y actuadores neumáticos, por lo tanto, es necesario revisar que el nivel de este sea adecuado.
- Válvulas de direccionamiento: Dado que el funcionamiento de este dispositivo se va a realizar de manera eléctrica, es adecuado inspeccionar visualmente el estado de las conexiones eléctricas, evitando un mal contacto y, por lo tanto, un mal funcionamiento del mismo. Además, es necesario que las conexiones neumáticas no presenten fugas.
- Actuadores neumáticos: Igual que las válvulas, estos elementos no deben presentar fugas de aire, puesto que podría presentar un mal funcionamiento del

mecanismo. Por lo tanto, es preciso realizar una inspección a las conexiones neumáticas. Finalmente, es adecuado revisar las juntas atornilladas, asegurándose que se encuentren ajustadas, evitando vibraciones y desalineamientos.

5.3.1.b. Subsistema estructural. Por último, puesto que este presenta una estructura que se encarga de darle soporte a cada uno de los elementos que le dan funcionamiento al sistema de impresión. Por lo tanto, es adecuado realizar un ajuste a las juntas atornilladas que se puedan encontrar flojas y puedan comprometer el funcionamiento completo de la máquina. Así mismo, es adecuado realizar lubricación a las piezas móviles que tiene contacto unas con otras.

### **5.3.2. Sistema de fijación y secado**

De acuerdo al funcionamiento del sistema de secado y fijación, este se encuentra conformado por dos subsistemas que le brindan el correcto funcionamiento, los cuales son: subsistema eléctrico y el subsistema neumático. Por lo anterior, a cada uno de ellos le corresponde una inspección determinada, explicadas a continuación.

5.3.2.a. Subsistema neumático. De igual manera que el subsistema neumático anteriormente descrito, para los elementos que componen este subsistema, tales como cilindros neumáticos, unidad de mantenimiento, redes de conexión neumática y válvulas de direccionamiento no presenten fugas de aire y el aceite de lubricación se encuentre al nivel adecuado.

5.3.2.b. Subsistema eléctrico. Dado que el sistema de secado funciona a partir del calentamiento de una resistencia termo-eléctrica, la cual le entrega su energía térmica a una placa de aluminio. Por lo tanto, esta posee un circuito eléctrico conectado a una fuente de alimentación y así mismo, a un sistema de control de temperatura (Autonics TC4S) y un relé de estado sólido el cuál controla la corriente que es suministrada a la resistencia. De acuerdo a lo anterior es preciso realizar las siguientes inspecciones. Cabe resaltar que estas inspecciones se realizan con la máquina apagada:

- Revisar las conexiones eléctricas, verificando que todo este correctamente conectado, así mismo contemplar el buen estado de los cables.
- Inspeccionar que la fuente de alimentación esté en buen estado y enviando el voltaje adecuado.

### **5.3.3. Sistema de generación y transmisión de potencia**

Para el mantenimiento de debe realizarse al sistema de generación y transmisión de potencia que contiene esta máquina, es preciso aclarar el funcionamiento y el tipo de motor empleado. Por lo tanto, de acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior acerca de este, es adecuado aclarar cuáles son los subsistemas que lo componen. Donde, inicialmente se tiene un subsistema eléctrico para la activación y control del mismo, además de esto contiene un subsistema de transmisión para generar el movimiento rotacional de las mesas de trabajo.

5.3.3.a. Subsistema eléctrico. Como se ha descrito anteriormente, el motor empelado para este diseño, es un motor paso a paso controlado a partir de un controlador lógico programable que a su vez es alimentado por una fuente de alimentación. Por lo tanto, se deben realizar las siguientes inspecciones:

- Revisar el estado de los contactos de las señales conectadas al PLC, así como a la fuente de alimentación.
- Inspeccionar el estado de los diodos Zener al igual que el estado de sus contactos.
- Observar sí el voltaje de la fuente de alimentación corresponde a la adecuada.

5.3.3.b. Subsistema de transmisión. Para realizar la transmisión de movimiento proporcionada por el motor paso a paso a las mesas rotatorias, se dispone de un subsistema de transmisión a partir de poleas sincrónicas, para las cuales se deben realizar las siguientes inspecciones para su mantenimiento:

- Ajuste de los elementos de conexión en las juntas atornilladas.
- Alineamiento de las correas dentadas.

- Inspección del estado de las correas, incluyendo una buena tensión.
- Revisar el buen estado de los rodamientos, incluyendo su lubricación y estado de los elementos rodantes.

#### **5.3.4. Sistema estructural**

Para el sistema estructural de la máquina se indican dos inspecciones de acuerdo a el tipo de uniones que la componen. Siendo estas las uniones atornilladas y la soldadura. Por lo tanto, para estas anteriores se deben realizar las siguientes actividades:

- Ajustar las uniones atornilladas y verificar el buen estado de las mismas
- Revisar el estado de las uniones soldadas buscando alguna porosidad o agrietamiento de la misma.

Ahora, cada una de las inspecciones de mantenimiento anteriormente mencionadas deben ser realizadas con una periodicidad, de acuerdo a la cantidad de ciclos que algunos elementos completen, así como recomendación de los fabricantes de algunos elementos seleccionados para el diseño de esta máquina. Por lo tanto, en la tabla mostrada a continuación se muestra la periodicidad para el mantenimiento según cada uno de los sistemas que componen la máquina:

**Tabla 21.***Listado de actividades de mantenimiento a realizar*

Sistema	Componente	Actividad	Falla	Periodicidad
Impresión	Cilindros neumáticos	Revisar las conexiones neumáticas en busca de alguna fuga.	Fugas	Mensual
	Válvulas direccionales	Revisar contactos de conexión eléctrica y neumática	Mala conexión y fugas	Mensual
	Compresor	Revisar alineamiento de correas, nivel del tanque y ruidos del motor	Vibración, desalineamiento de correas, grietas	Semanal
	Uniones atornilladas	Ajustar tornillos y tuercas	Desajuste	Mensual
	Unidad de mantenimiento	Revisar estado del aceite lubricante	Deterioro de elementos	Semanal
Secado y fijación	Cilindro neumático	Revisar conexiones neumáticas	Fugas	Semanal
	Resistencia eléctrica	Revisar contactos eléctricos	Malas conexiones	Diario
	Uniones atornilladas	Ajustar tornillos y tuercas	Desajuste	Semanal
Generación y transmisión de potencia	Rodamientos	Revisar estado de los elementos rodantes y lubricación	Vibración, ruido y desgaste	Trimestral
	Poleas	Revisar alineamiento	Desalineamiento	Trimestral
	Correas	Revisar estado de las correas	Desgaste	Anual
	Motor paso a paso	Revisar contactos eléctricos y voltaje	Sobrecarga eléctrica o mala conexión	Diario
	Uniones atornilladas	Ajustar tornillos y tuercas	Desajuste	Mensual
Estructural	Uniones atornilladas	Ajustar tornillos y tuercas	Desajuste	Mensual
	Soldadura	Verificar estado de la soldadura	Porocidades o grietas	Anual

**Nota.** Conjunto de actividades de mantenimiento por cada subsistema a realizar con su respectiva falla y periodicidad.



## 6. EVALUACIÓN FINANCIERA Y DE IMPACTO AMBIENTAL

### 6.1. Evaluación de impacto ambiental de la máquina

En este ítem se realizará el estudio para determinar el impacto ambiental que pueda presentar la instalación y la operación de la máquina en dado caso de presentarse una implementación de la misma en la empresa. Por lo tanto, de acuerdo a la normativa expedida por la secretaria distrital de ambiente, la evaluación se debe realizar de acuerdo al resultado del valor ponderado de la siguiente expresión:

$$I = A * P * D * R * C * N$$

Donde:

I= Importancia

A= Alcance

P= Probabilidad

D= Duración

R= Recuperabilidad

C= Cantidad

N= Normatividad

La explicación y los valores a asignar deben ir de acuerdo a lo explicado en la siguiente tabla:

**Figura 293.**

*Tabla de valoración del impacto ambiental para un proyecto.*

TABLA 3. VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL				
CRITERIOS DE VALORACIÓN	SIGNIFICADO	ESCALA DE VALOR		
<b>ALCANCE (A)</b>	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno donde se genera.	<b>1(puntual):</b> El Impacto queda confinado dentro del área donde se genera.	<b>5(local):</b> Trasciende los límites del área de influencia.	<b>10(regional):</b> Tiene consecuencias a nivel regional o trasciende los límites del Distrito.
<b>PROBABILIDAD (P)</b>	Se refiere a la posibilidad que se dé el impacto y está relacionada con la "REGULARIDAD" (Normal, anormal o de emergencia).	<b>1(baja):</b> Existe una posibilidad muy remota de que suceda	<b>5(media):</b> Existe una posibilidad media de que suceda.	<b>10(alta):</b> Es muy posible que suceda en cualquier momento.
<b>DURACIÓN (D)</b>	Se refiere al tiempo que permanecerá el efecto positivo o negativo del impacto en el ambiente. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como son: Generación de ruido por fuentes de combustión externa, por fuentes de combustión interna y uso de publicidad exterior visual.	<b>1(breve):</b> Alteración del recurso durante un lapso de tiempo muy pequeño.	<b>5(temporal):</b> Alteración del recurso durante un lapso de tiempo moderado.	<b>10(permanente):</b> Alteración del recurso permanente en el tiempo.

<b>RECUPERABILIDAD (R)</b>	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial del recurso afectado por el impacto. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como: vertimientos domésticos y no domésticos. Para la generación de residuos aprovechables la calificación será de 10 tanto para el impacto positivo como negativo.	<b>1(reversible):</b> Puede eliminarse el efecto por medio de actividades humanas tendientes a restablecer las condiciones originales del recurso.	<b>5(recuperable):</b> Se puede disminuir el efecto a través de medidas de control hasta un estándar determinado.	<b>10(irrecuperable /irreversible):</b> El/los recursos afectados no retornan a las condiciones originales a través de ningún medio. 10 (Cuando el impacto es positivo se considera una importancia alta)
<b>CANTIDAD (C).</b>	Se refiere a la magnitud del impacto, es decir, la severidad con la que ocurrirá la afectación y/o riesgo sobre el recurso, esta deberá estar relacionada con la "REGULARIDAD" seleccionada. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como: la generación de residuos peligrosos, escombros, hospitalarios y aceites usados.	<b>1(baja):</b> Alteración mínima del recurso. Existe bajo potencial de riesgo sobre el recurso o el ambiente.	<b>5(moderada):</b> Alteración moderada del recurso. Tiene un potencial de riesgo medio sobre el recurso o el ambiente.	<b>10(alta):</b> Alteración significativa del recurso. Tiene efectos importantes sobre el recurso o el ambiente.
<b>NORMATIVIDAD (N)</b>	Hace referencia a la normatividad ambiental aplicable al aspecto y/o el impacto ambiental.	<b>1:</b> No tiene normatividad relacionada.	<b>10:</b> Tiene normatividad relacionada.	

**Nota.** Explicación de los factores de evaluación de impacto ambiental. Tomado de: secretaria distrital de ambiente. [En línea]. Disponible: [http://www.ambientebogota.gov.co/en/c/document\\_library/get\\_file?uuid=92aa0378-5f62-4623-b973-9e632e0c1e40&groupId=10157](http://www.ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=92aa0378-5f62-4623-b973-9e632e0c1e40&groupId=10157)

Ahora bien, de acuerdo a lo anterior se establecen los posibles impactos ambientales que pueda representar la máquina, asignando de igual manera un valor de 1, 5 o 10, en relación al impacto que este represente a los factores anteriormente descritos.

**Tabla 22.***Matriz para la evaluación del impacto ambiental de la máquina.*

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Alcance	Probabilidad	Duración	Recuperabilidad	Cantidad	Normatividad	Ponderación
Generación de residuos	Contaminación del recurso agua	1	1	1	10	5	10	500
	Contaminación del recurso aire	1	1	1	10	1	10	100
Generación de ruido	Generación de contaminación auditiva	1	1	5	1	5	10	250
	Perturbación del ambiente de trabajo	1	1	5	1	5	10	250
Generación de residuos no aprovechables	Piezas textiles utilizadas en la limpieza de tinta	1	10	1	5	10	1	500
	Desechos de los almacenamientos de tinta	1	5	1	5	5	1	125
Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de un recurso no renovable	1	5	5	10	5	10	12500
Total:								14225

**Nota.** Tabla con los aspectos ambientales en los que incide y su correspondiente valor ponderado.

Ahora, una vez se ha realizado la tabla con los posibles impactos que la máquina representa al medio ambiente, se debe determinar si el resultado obtenido debe establecer mecanismos de control operacional para reducir la afectación al medio ambiente que este provoca. Por lo tanto, según la secretaría distrital de ambiente, se indican los siguientes rangos de importancia:

- Alta: 125.000 a 1.000.000
- Moderada: 25.000 a 125.000
- Baja: 1 a 25.000

Al obtener un resultado menos a 25.000, se puede determinar que resulta necesario hacer un seguimiento al aspecto con mayor impacto ambiental, en cuyo caso es el consumo energético, cuidando de esta manera los tiempos de operación de la máquina, para así reducir este factor. Además, resulta de gran importancia implementar un correcto manejo de los materiales que tenga recuperabilidad, ya sean almacenadores plásticos o piezas textiles sobrantes, así se puede generar un control adecuado a la generación de desechos.

Por otro lado, se puede observar que el proyecto no presenta una contaminación auditiva representativa, esto gracias al uso de elemento neumáticos, cuyo funcionamiento contiene elementos que reducen el ruido proveniente de las salidas de aire.

Finalmente, es necesario tener presente el consumo de agua que requieran los elementos que componen la máquina al momento de limpieza, puesto que este es un recurso preciado e imprescindible, es necesario que el consumo del mismo sea responsable.

## **6.2. Evaluación financiera de la máquina**

La evaluación financiera de la máquina de serigrafía textil, se propone realizar una comparación entre los flujos de caja correspondientes a la inclusión de la máquina desarrollada en el presente documento y un ejemplar que se encuentra actualmente en el mercado, con el propósito de analizar indicadores financieros que permitan establecer la viabilidad de la máquina diseñada respecto a una comercial.

### **6.2.1. Costos de la máquina**

A continuación, se establecen los costos de fabricación de la máquina teniendo en cuenta los correspondientes a:

- Costos de ingeniería
- Costos de fabricación
- Costos de materiales

### 6.2.1.a. Costos de ingeniería.

**Tabla 23.**

#### *Costos de ingeniería para la máquina*

ITEMS	Unidad	Valor unidad	Cantidad	Total
Diseñador 1	Hora	\$ 3.000	700	\$ 2.100.000
Diseñador 2	Hora	\$ 3.000	700	\$ 2.100.000
Costo computacional	Hora	\$ 500	550	\$ 275.000
Software Solid Edge	Licencia	Gratuita	1	0
Software FluidSim	Licencia	Gratuita	1	0
Software Codesys	Licencia	Gratuita	1	0
			Total	\$ 4.475.000

**Nota.** Costos asociados a la labor de ingeniería en el proyecto.

6.2.1.b. Costos de fabricación. Para los costos de fabricación se tienen los diferentes tipos de mecanizado necesario para obtener las formas que requiera la máquina. Así mismo se incluyen los precios para su ensamble de acuerdo al tiempo invertido. De acuerdo a lo anterior, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 24.**

#### *Precios para la fabricación de la máquina*

Tipo de mecanizado	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Torneado	Horas	16	\$ 26.500	\$ 424.000
Fresado	Horas	32	\$ 32.000	\$ 1.024.000
Cortadora	Horas	16	\$ 32.000	\$ 512.000
Dobladora	Horas	6	\$ 27.000	\$ 162.000
Soldadura	Horas	6	\$ 22.500	\$ 135.000
Eléctrico	Horas	16	\$ 25.000	\$ 400.000
Ensamble	Horas	16	\$ 38.000	\$ 608.000
			Total	\$ 3.265.000

**Nota.** Conjunto de precios por hora para el mecanizado de piezas y la cantidad de tiempo invertida según el caso.

6.2.1.c. Costos de materiales. En este apartado se realiza la tabla de costos para cada uno de los materiales necesarios para fabricar la máquina.

**Tabla 25.**

*Listado de elementos para la fabricación de la máquina.*

Costos de fabricación				
Elemento	Unidad	Valor de la unidad	Cantidad	Total
Tubo estructural cuadrado 60x60 3mm	6m	\$ 94.600	1	\$ 94.600
Lamina de acero A36 1/4"	4x8m	\$ 493.600	1	\$ 493.600
Tubo estructural circular 3"	6m	\$ 108.000	1	\$ 108.000
Barra cuadrada 1 1/2" en aluminio	6m	\$ 103.550	1	\$ 103.550
Barra cilíndrica 1/2" en aluminio	6m	\$ 30.000	1	\$ 30.000
Riel en aluminio S341	2m	\$ 49.250	1	\$ 49.250
Barra cuadrada 1 " en aluminio	6m	\$ 60.000	1	\$ 60.000
Barra cuadrada 3/4" en aluminio	6m	\$ 31.950	1	\$ 31.950
Lámina de aluminio 1/4"	1x2m	\$ 738.000	1	\$ 738.000
Resistencia eléctrica 1 KW	1 unidad	\$ 25.000	1	\$ 25.000
Cilindro neumático 12 mm ø /20 mm crr	1 unidad	\$ 185.600	2	\$ 371.200
Cilindro neumático 32 mm ø /50 cm crr	1 unidad	\$ 495.600	1	\$ 495.600
Cilindro neumático 25mm ø /100 mm crr	1 unidad	\$ 332.500	3	\$ 997.500
PLC cpx-6		\$ 2.500.000	1	\$ 2.500.000
Sensor magnético	1 unidad	\$ 17.800	12	\$ 213.600
Sensor capacitivo	1 unidad	\$ 41.650	2	\$ 83.300
Motor paso a paso	1 unidad	\$ 584.290	1	\$ 584.290
Poleas sincrónicas	2 unidades	\$ 282.355	2	\$ 564.710
Tornillo M6 X20mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1 unidades	\$ 4.200	16	\$ 67.200
Tornillo M6 X25mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1 unidades	\$ 5.760	12	\$ 69.120
Tornillo M6 X30mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1 unidades	\$ 400	12	\$ 4.800
Tornillo M6 X40mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 1.047	2	\$ 2.094
Tornillo M3 X10mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 250	11	\$ 2.750
Tornillo M3 X30mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 120	8	\$ 960
Tornillo M6 X40mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 1.047	2	\$ 2.094
Tornillo M3 X10mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 250	11	\$ 2.750
Tornillo M3 X30mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 120	8	\$ 960
Tornillo M6 X50mm Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 4.200	4	\$ 16.800
Esparrago de 1/2" x70mm acero de medio carbono aleado	1unidades	\$ 5.500	10	\$ 55.000
Tornillo M8 x 80 Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 1.200	12	\$ 14.400
Tornillo M7x 80 Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 423	2	\$ 846
Tornillo M7x 110 Cabeza hexagonal acero bajo carbono	1unidades	\$ 520	8	\$ 4.160
Controlador térmico Autonics	1 unidad	\$ 199.500	1	\$ 199.500
Sensor de temperatura PT-100	1 unidad	\$ 25.000	1	\$ 25.000
Válvula de direccionamiento neumático	1 unidad	\$ 51.000	6	\$ 306.000
Válvula neumática de asiento	1 unidad	\$ 259.000	1	\$ 259.000
Manguera para líquidos	10 metros	\$ 56.000	1	\$ 56.000
Pulsador normalmente abierto 22mm	1 unidad	\$ 10.600	4	\$ 42.400
Válvula de estrangulamiento neumático	1 unidad	\$ 8.600	12	\$ 103.200
Aislante térmico (fibra de vidrio)	1 mtr2	\$ 24.000	1	\$ 24.000
Manguera neumática	12 metros	\$ 56.000	1	\$ 56.000
Relé de estado sólido	1 unidad	\$ 31.500	1	\$ 31.500
Diodo Zener	1 unidad	\$ 3.500	4	\$ 14.000
Fuente de alimentación 24 V 20 A	1 unidad	\$ 151.130	2	\$ 302.260
Unidad de mantenimiento neumático	1 unidad	\$ 118.400	1	\$ 118.400
Racor rosca G7/4"	1 unidad	\$ 2.700	25	\$ 67.500
			<b>Total</b>	<b>\$ 9.387.040</b>

**Nota.** Costos de los elementos necesarios para la fabricación de la máquina.

Finalmente se realiza la sumatoria de todos los costos correspondientes a la máquina, de esta manera se obtiene la inversión inicial para una posible implementación.

**Tabla 26.**

*Sumatoria de los costos de la máquina*

Costos totales	
Costos de ingeniería	\$ 4.880.550
Costos de fabricación	\$ 3.364.000
Costos de materiales	\$ 9.387.040
Total	\$ 17.631.590

**Nota.** Valor total de inversión en caso de una implementación del proyecto en la empresa.

### **6.2.2. Análisis financiero**

Para realizar el análisis financiero, se tomaron dos posiciones para determinar mediante los indicadores financieros si el proyecto representa una viabilidad en dado caso que este sea implementado. Para esto, es necesario determinar los ingresos que la empresa genera actualmente y los que podría generar con la inclusión del proyecto. Además, es necesario calcular los costos de producción, administrativos y finalmente, para el caso del proyecto, realizar una tabla de amortización en caso de adquirirla mediante un préstamo.

6.2.2.a. Ingresos. Para los ingresos que genera la empresa mediante el proceso de serigrafía textil, se realizó el siguiente análisis:

De acuerdo al tiempo que invierte un operario para imprimir y secar una prenda de manera manual (100 segundos) y el tiempo que necesita la máquina de acuerdo a la programación y ejecución de la secuencia de los diferentes sistemas de la máquina se obtuvo que:



**Tabla 27.***Cantidad de prendas impresas en día laboral.*

horas laborales	Tiempo de impresión de una prenda sin proyecto (s)	Total prendas	320
8	90		
Segundos	Tiempo de impresión con proyecto (s)	Total prendas	960
28800	30		

**Nota.** Comparación tiempo invertido por un operario y la máquina al momento de imprimir una prenda. Así mismo se muestra la cantidad de prendas que se podrían sacar al cabo de un día laboral.

Una vez se tiene la cantidad de prendas posibles a imprimir en un día laboral, se determina los ingresos por la impresión de cada una de estas prendas. Para esto, se toma un valor promedio para la impresión de diseños de diferente tamaño otorgado por la empresa, obteniendo lo siguiente:

**Tabla 28.***Ingresos de la empresa por serigrafía textil.*

Ingresos			
Precio de impresión promedio de una prenda textil		\$ 1.000	
Ingresos sin proyecto		Ingresos con proyecto	
Diario	\$ 320.000	Diario	\$ 960.000
Mensual	\$ 7.680.000	Mensual	\$ 23.040.000
Anual	\$ 92.160.000	Anual	\$ 276.480.000

**Nota.** En la tabla se observan los ingresos que podría generar la empresa con y sin el proyecto.

6.2.2.b. Costos de producción. Para los costos de producción de la máquina, se utilizaron los respectivos costos de la materia prima necesitada para el proceso y el consumo energético de la máquina de acuerdo al precio del Kwh del lugar donde está ubicada la empresa, obteniendo los siguientes datos.

**Tabla 29.***Costos de producción diarios.*

Costos de producción	Valor	Sin proyecto	Con proyecto
		Diario	Diario
Materia prima en una prenda	\$ 500	\$ 144.000	\$ 576.000
Precio de luz KWh	\$ 542	\$ 4.336	\$ 8.672

**Nota.** Tabla con los costos operacionales de acuerdo al consumo eléctrico en cada uno de los casos y la materia prima invertida.

6.2.2.c. Gastos administrativos. Para los gastos administrativos de la empresa se tuvieron en cuenta los salarios de el o los operarios necesarios para realizar el proceso de serigrafía sin y con el proyecto, donde se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 30.***Costos administrativos de la empresa.*

	Costos administrativos		Valor mensual
	Salario del operario		\$ 1.100.000
	Cantidad de operarios	Total	Anual
Sin proyecto	2	\$ 2.200.000	\$ 26.400.000
Con proyecto	1	\$ 1.100.000	\$ 13.200.000

**Nota.** Tabla con el salario manejado por la empresa para sus operarios de serigrafía y los necesarios con y sin el proyecto.

6.2.2.d. Flujo de caja sin el proyecto. Una vez se establecen los ingresos y costos posibles que posee la empresa al momento de realizar su proceso de serigrafía textil, se realiza un flujo de caja para finalmente evaluarlo de acuerdo a los indicadores financieros VPN, TIR Y TIO. Por lo tanto, al realizar el flujo con tres periodos de estudio, un impuesto de renta del 33% y un aumento a los ingresos anuales del 3%, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 31.***Flujo de caja sin el proyecto.*

Periodo	0	1	2	3
Ingresos		\$ 92.160.000	\$ 94.924.800	\$ 97.772.544
Costos de producción		\$ 47.328.768	\$ 47.328.768	\$ 47.328.768
Gastos administrativos		\$ 26.400.000	\$ 26.400.000	\$ 26.400.000
Utilidad antes de impuestos		\$ 18.431.232	\$ 21.196.032	\$ 24.043.776
Impuesto (33%)		\$ 6.082.307	\$ 6.994.691	\$ 7.934.446
Utilidad después de impuestos		\$ 12.348.925	\$ 14.201.341	\$ 16.109.330
<b>Flujo de caja neto</b>		\$ 12.348.925	\$ 14.201.341	\$ 16.109.330

**Nota.** Resultado del flujo de caja de la empresa sin el proyecto.

6.2.2.e. Flujo de caja con el proyecto. Finalmente se realiza el análisis de flujo de caja con la adquisición del proyecto por parte de la empresa, comparando con los resultados obtenidos en el flujo de caja para la empresa sin la inclusión del proyecto y determinando cuál es la mejor opción para la empresa. Por lo tanto, inicialmente se realiza una tabla de amortización para determinar los pagos del préstamo para la inversión con la que se debe contar para implementar el proyecto.

**Tabla 32.***Tabla de amortización para adquisición de la máquina mediante un crédito*

PERÍODO	SALDO	CUOTA	INTERÉS	AMORTIZACIÓN
0	17.631.590	-	-	-
1	12.420.508	7.376.241	2.165.159	5.211.082
2	6.569.506	7.376.241	1.525.238	5.851.003
3	0	7.376.241	806.735	6.569.506

**Nota.** Tabla de amortización para un total de tres periodos, una deuda inicial y una tasa de interés anual de 12,28%.

Una vez se ha realizado la tabla de amortización, se procede a realizar el flujo de caja para el proyecto:

**Tabla 33.***Flujo de caja con el proyecto*

	0	1	2	3
<b>Ingresos</b>		\$ 276.480.000	\$ 284.774.400	\$ 293.317.632
<b>Costos de producción</b>		\$ 140.737.536	\$ 140.737.536	\$ 140.737.536
<b>Gastos administrativos</b>		\$ 13.200.000	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000
<b>Intereses</b>		2.165.159	1.525.238	806.735
<b>Depreciación</b>		\$ 1.877.408	\$ 1.877.408	\$ 1.877.408
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		\$ 118.499.897	\$ 127.434.218	\$ 136.695.953
<b>Impuestos (33%)</b>		\$ 39.104.966	\$ 42.053.292	\$ 45.109.664
<b>Utilidad después de impuestos</b>		\$ 79.394.931	\$ 85.380.926	\$ 91.586.288
<b>Depreciación</b>		\$ 1.877.408	\$ 1.877.408	\$ 1.877.408
<b>Amortización</b>		\$ 5.211.082	\$ 5.851.003	\$ 6.569.506
<b>Inversión de capital de trabajo</b>	\$ 17.631.590			
<b>Flujo de caja neto</b>	<b>-\$ 17.631.590,00</b>	\$ 72.306.441	\$ 77.652.515	\$ 83.139.375

**Nota.** Flujo de caja con un estimado de producción diaria completa de serigrafía.

Como siguiente paso, se obtiene la diferencia entre los flujos de caja teniendo el proyecto y al no tenerlo, donde se obtendrán los indicadores financieros:

**Tabla 34.***Diferencia de flujos de caja*

Flujo de caja con la máquina	<b>-\$ 17.631.590</b>	\$ 72.306.441	\$ 77.652.515	\$ 83.139.375
Flujo de caja sin la máquina	0	\$ 12.348.925	\$ 14.201.341	\$ 16.109.330
Diferencia	<b>-\$ 17.631.590</b>	\$ 59.957.516	\$ 63.451.174	\$ 67.030.045

**Nota.** Diferencia entre los resultados de los flujos de caja sin y con el proyecto.

Finalmente, se analiza el resultado previamente obtenido mediante el indicador financiero de valor presente neto, donde se visualiza la cantidad de utilidades que el proyecto está en la capacidad de dejarle a la empresa. Para esto se toma una tasa de interés de oportunidad de referencia de acuerdo a lo que la empresa está dispuesta a obtener con la inclusión del proyecto.

$$VPN = -S_0 \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Al realizar el cálculo se obtuvo que:

**Tabla 35.**

*Resultado del valor presente neto.*

<b>VPN</b>	<b>\$ 105.262.557</b>
<b>TIO</b>	<b>25%</b>

**Nota.** Resultado obtenido a partir de la TIO propuesta por la empresa.

## 7. CONCLUSIONES

Al realizar la caracterización de las máquinas presentes en el mercado, pudo determinar que los sistemas más eficientes para realizar el proceso de serigrafía textil, es aquel que utiliza la energía transmitida por el aire comprimido.

De acuerdo a los parámetros funcionales de la máquina y la capacidad operacional de la misma, se determinó que la segunda alternativa de diseño presentaba las mejores cualidades en cuanto a eficiencia, geometría y facilidad de operación, comparada con las otras alternativas.

Del análisis financiero se puede concluir que la máquina representa una opción rentable para la empresa, puesto que, al realizar una notable inversión, la capacidad de producción de serigrafía textil se triplica, dándole la oportunidad a la empresa de abordar nuevos mercados con mayores demandas.

Al observar los resultados del impacto ambiental de la máquina, se puede deducir que su principal incidencia hace relación al gran consumo energético que esta puede llegar a consumir en largos tiempos de operación.

En la elaboración del manual de ensamble se puede concluir que la máquina presenta una facilidad al momento de ser trasladada y ubicada en espacios con pequeños espacios, ya que la mayor parte de esta, se une mediante elementos roscados. No obstante, puede tomar un largo periodo de tiempo para ensamblarla por completo.

Se evidenció que, de acuerdo al funcionamiento de la máquina diseñada, con relación a cómo laboran las máquinas que se encuentran en la industria, esta va de la mano a la serigrafía semiautomática, ya que el control de ciertas variables se realiza de manera manual por el operario.

A partir de los porcentajes de mejora, se establece que la maquina diseñada no solo cumple con el objetivo de aumentar la capacidad de producción en un 50%, (teniendo en cuenta su capacidad mínima 57,81%), sino que también permite triplicarla (teniendo en cuenta su capacidad máxima 125%).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Acuña, *Manual de serigrafía*. Santiago, Chile. 2004. [En línea]. Disponible: <https://armandoacuna.com/Publicanz/Manual%20Serigrafia%20Armando%20Acuna.pdf> (Acceso: Jun. 15, 2020)
- [2] M. Gutiérrez Hinestroza and S. A. Iturralde Kure, *Gutiérrez & Iturralde, 2017 Manual de Instrumentación*. 2017.
- [3] P. Hannifin, “Tecnología Neumática Industrial,” p. 166, 2003, [En línea]. Disponible: [https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001\\_BR\\_Neumatica.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf). (Acceso: Jul. 8, 2020)
- [4] A. C. Solé, *Neumática e Hidráulica*. pp. 45-50, 2012.
- [5] M. Rodriguez, “Máquinas De Corriente Continua,” *Univ. Cantab.*, pp. 1–27, 2017.
- [6] P. A. Daneri, “PLC Automatizacion y Control Industrial.” p. 184, 2008.
- [7] A. Multicriterio, E. N. La, and T. D. E. Decisiones, “Análisis multicriterio en la toma de decisiones.,” *Univ. del Val.*, pp. 1–23, 2005.
- [8] C. A. Marmolejo Castro, “Manual de Diseño de Estructuras de Aluminio,” p. 150, 2014.
- [9] P. E. Robert L. Mott, “Diseño de elementos de máquinas,” *944*, vol. 4, pp. 280–291, 2004.
- [10] H. Juan. “Fórmulas | Calidad.” [En línea]. Disponible: <https://www.resistencias.com/esp/formulas.php> (accessed Dec. 10, 2020).
- [11] Y. A. C. & Y. Cengel, “Heat Transfer: A Practical Approach With EES CD,” p. 896, 2002.



- [12] “Inercia rotacional (artículo) | Khan Academy.” [En línea]. Disponible: <https://es.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/rotational-inertia> (Acceso: Dec. 10, 2020).
- [13] K. J. BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley,” *Igarss 2014*, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [14] A. Astm, “Especificaciones de producto,” no. m, p. 6000, 2011.
- [15] S. A. Welding, “Norma: AWS 2002,” p. 470, 2002.

## **ANEXOS**

# ANEXO 1 GOMA DE SERIGRAFÍA TEXTIL

TRELLEBORG APPLIED TECHNOLOGIES



## UNITEX MARATHON®

### Serigrafía textil

UNITEX MARATHON ofrece serigrafía de máxima calidad a un precio competitivo.

Compuesta a base de MDI (diisocianato de difenilmetano), ha sido diseñada para ofrecer una extraordinaria resistencia a la degradación producida por las tintas, disolventes y monómeros utilizados habitualmente en los procesos modernos de impresión.

#### Ventajas:

- Compatible con la mayoría de tintas para textiles: proporciona los colores vibrantes que demanda su impresión
- Borde de impresión de precisión reproducción detallada
- Excelente resistencia a la abrasión: la última impresión es tan buena como la primera
- Resistente a los disolventes utilizados en los sistemas de tinta modernos: tiradas largas predecibles
- Hecha con poliuretano de alta calidad: compatible con una amplia variedad de tintas y sistemas
- Estrictas tolerancias de fabricación: tiempos mínimos de preparación y reinicio
- Dureza uniforme: mantiene la intensidad y viveza de los colores
- Alto grado de inspección: su última goma en stock no le defraudará
- Experiencia de Trelleborg: alto rendimiento, larga vida útil y valor excepcional



#### Dureza/Codificación mediante colores:

Tolerancia: +/- 3° Shore A



← Goma más blanda Más tinta, colores más intensos → Goma más dura Menos tinta, más detalles

#### Perfil:

- Una lámina
- Varias láminas



#### Características técnicas:

##### UNITEX MARATHON VERDE 75° Shore A (Dureza)

PROPIEDADES	VALORES	UNIDADES	NORMA BRITÁNICA
Dureza Shore A @ 20 °C	72,5	° Sh A	BS ISO 7619-1:2004
Módulo de elasticidad en tracción con alargamiento del 100 %	2,6	Mpa	BS ISO 37:2005
Módulo de elasticidad en tracción con alargamiento del 200 %	3,57	Mpa	BS ISO 37:2005
Módulo de elasticidad en tracción con alargamiento del 300 %	4,591	Mpa	BS ISO 37:2005
Resistencia a la tracción (máxima)	39,73	Mpa	BS ISO 37:2005
Deformación por tracción (rotura)	666,4	%	BS ISO 37:2005
Resistencia al desgarro (resistencia iniciada)	38,14	KN/m	BS ISO 34-1:2004
Peso específico	1,23	g/cm <sup>3</sup>	BS 903:A1:1996
Hinchazón en disolventes (I.P.A. 24 h)	10,03	%	BS ISO 1817:2005
Pérdida de peso por abrasión (mg)	13,2	(mg)	BS 903 :A9:1988



## ANEXO 2 TORNILLOS GUTENBERG

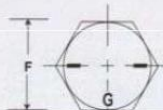
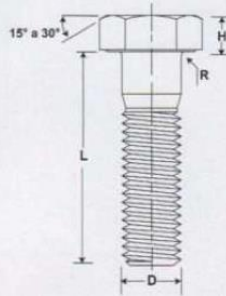
Grado de resistencia (Grade designation)	Especificaciones (Specifications)				
	Material (Material)	Dureza Rockwell (Rockwell hardness)		Carga de prueba (Proof load)	Resistencia mínima a la tracción (Tensile strength min.)
		Min.	Max.		
1	Acero de bajo o medio carbono (Low or medium carbon steel)	B 70	B 100	33 000 lbs/pulg <sup>2</sup> (psi)	60 000 lbs/pulg <sup>2</sup> (psi)

**Nota:** Previa cotización se fabrica SAE Grado 2 y 5.  
**(Note:** SAE Grade 2 and 5 are manufactured on request).



### TORNILLOS DE CABEZA HEXAGONAL (HEX CAP SCREWS)

**SAE GRADO 2 (GRADE 2) ANSI/ASME B 18.2.1 1996**

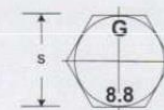
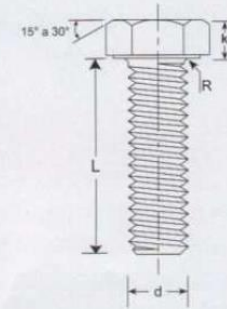


D Diámetro (Diameter)	Hilos por pulg. (Threads per inch)		F Distancia entre caras (Width across flats)	H Altura de la cabeza (Head height)
	R.O. (Coarse)	R.F. (Fine)		
1/4	250	28	7/16	5/32
5/16	312	24	1/2	13/64
3/8	375	24	9/16	15/64
7/16	437	20	5/8	9/32
1/2	500	20	3/4	5/16
9/16	562	18	13/16	23/64
5/8	625	18	15/16	25/64
3/4	750	16	1-1/8	15/32
7/8	875	14	1-5/16	35/64
1	1,000	14 UNS	1-1/2	39/64
1-1/8	1,125	12	1-11/16	11/16
1-1/4	1,250	12	1-7/8	25/32
1-1/2	1,500	12	2-1/4	1-5/16



### TORNILLOS MILIMÉTRICOS HEXAGONALES DE ROSCA TOTAL

(METRIC HEXAGON HEAD BOLTS THREADED FULL LENGTH)  
**DIN 933 - ISO 4017 - PASO ORDINARIO (COARSE THREAD)**  
**DIN 961 - ISO 8676 - PASO FINO (FINE THREAD)**



d Diámetro (Diameter)	Pasos (Pitch)		s Distancia entre caras (Width across flats)	k Altura de la cabeza (Head height)	
	Ordinario (Coarse)	Fino (Fine)			
M6	1	-	10	4	
M7	1	-	11	4,8	
M8	1,25	1	13	5,3	
M10	1,5	1-1,25	(16)	17	6,4
M12	1,75	1,25-1,5	(18)	19	7,5
M14	2	1,5	(21)	22	8,8
M16	2	1,5	24	10	
M18	2,5	1,5	27	11,5	
M20	2,5	1,5-2	30	12,5	
M22	2,5	1,5	(34)	32	14
M24	3	2	38	15	

**Longitudes:** L = 13 mm hasta 80 mm según el diámetro.  
**(Lengths:** L = 13 mm thru 80 mm according to diameter).

## ANEXO 3 CARACTERÍSTICAS DE LA TINTA PLASTISOL



### PLASTISOL AUTOADHESIVO RG3

#### FICHA TECNICA

• **Descripción:** Se trata de un adhesivo termoplástico vinílico (policloruro de vinilo) que una vez fusionado es resistente a la acción de agentes químicos, aceites, combustibles, etc.

• **Viscosidad:** 10.000 cp a 25°C. Varía según las necesidades del cliente.

• **Rango de curado:** Entre 170-200°C. Existe una íntima relación entre la temperatura de curado, tiempo de precalentamiento de la pieza, tiempo de dipping en el plastisol ( espesor deseado del recubrimiento ) y tiempo de curado, como asimismo las características geométricas y físicas del material a recubrir.

#### Propiedades fisico-químicas:

- . **Viscosidad** (medida 15 días después de elaboración)
  - Copa Ford N° 8: 9 - 11 minutos
  - Press Flow, Ø 2 mm , 1 kg/cm<sup>2</sup> , 20 grs. : 35-40 segundos
- . **Densidad a 20°C:** 1,2 - 1,3 gr/cm<sup>3</sup>
- . **Temperatura de gelificación:** 85 - 90°C
- . **Temperatura de fusión (curado):** 175-180°C

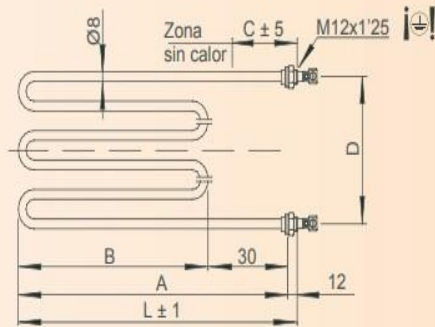
#### Propiedades del plastisol curado:

- . **Dureza:**
  - Autoadhesivo: 75-80 shore A
  - No adhesivo: 60-70 shore A
- . **Resistencia a reactivos químicos:**
  - Acidos: Excelente
  - Alcalinos: Excelente

## ANEXO 4 RESISTENCIA ELÉCTRICA

Modelos Mx360

Código	Dimensiones en mm					Wattios	W/cm <sup>2</sup>	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	A	B	C	D	L				
M4360	360	330	45	90	372	1000	3,1	T-700-T	0,34
M6360	360	330	45	150	372	1500	3,1	T-700-T	0,49
M8360	360	330	45	210	372	2000	3,1	T-700-T	0,58
M12360	360	330	45	330	372	3000	3	T-700-T	0,89



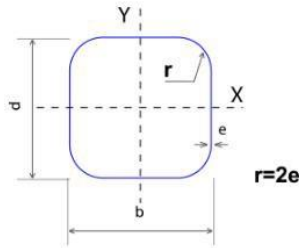
## ANEXO 5 PERFIL TUBULAR CUADRADO

los perfiles tubulares colmena cumplen con la norma A 500 GRADOS , ESFUERZO DE LA FLUENCIA  $f_y=3.200\text{Kg/cm}^2$

(46.000PSI) (322MPa) los tubo en espesor de 1.5mm se suministran en grado B esfuerzo de fluencia  $F_y= 2.953\text{Kg/cm}^2$

(42.00PSI) (295MPa)

### Tubería Estructural Cuadrada



CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACION						PROPIEDADES ESTÁTICAS							UNIDADES DE EMPAQUE	
TAMAÑO PERFIL		Espesor pared e	PESO		AREA cm <sup>2</sup>	FLEXION			TORSION					
TAMAÑO NOMINAL	REAL		Negro	Galvanizado		Momento Inercia	Módulo elástico	Radio de Giro	Módulo Plástico	Momento Inercia	Módulo Elástico			
PULGADAS	MILIMETROS	d mm	b mm	Kg/m	Kg/m	$I_x = I_y$ cm <sup>4</sup>	$S_x = S_y$ cm <sup>3</sup>	$r_x = r_y$ cm	$Z_x = Z_y$ cm <sup>3</sup>	J cm <sup>4</sup>	B cm <sup>3</sup>			
1 X 1	25 X 25	25,00	25,00	1,50	1,12	1,23	1,42	1,22	0,97	0,92	1,17	2,03	1,48	36
		25,00	25,00	2,00	1,49	1,60	1,90	1,48	1,19	0,88	1,47	2,58	1,82	
		25,00	25,00	2,50	1,80	1,90	2,29	1,69	1,35	0,86	1,71	3,07	2,11	
1 1/2 X 1 X/2	40 X 40	40,00	40,00	1,50	1,73	1,90	2,20	5,49	2,75	1,58	3,22	8,77	4,13	25
		40,00	40,00	2,00	2,32	2,49	2,95	6,94	3,47	1,53	4,13	11,36	5,25	
		40,00	40,00	2,50	2,81	2,98	3,58	8,22	4,11	1,52	4,97	13,79	6,25	
2 X 2	50 X 50	50,00	50,00	1,50	2,29	2,53	2,92	11,07	4,43	1,95	5,15	17,45	6,66	25
		50,00	50,00	2,00	3,04	3,31	3,87	14,15	5,66	1,91	6,66	22,73	8,53	
		50,00	50,00	2,50	3,76	3,97	4,79	16,94	6,78	1,88	8,07	27,75	10,26	
2 3/8 X 2 3/8	60 X 60	60,00	60,00	1,50	2,67	2,94	3,39	19,52	6,51	2,40	7,53	30,53	9,78	25
		60,00	60,00	2,00	3,63	3,86	4,63	25,14	8,38	2,33	9,79	39,91	12,61	
		60,00	60,00	2,50	4,37	4,63	5,56	30,34	10,11	2,34	11,93	48,92	15,26	
2 3/4 X 2 3/4	70 X 70	60,00	60,00	3,00	5,19	-	6,61	35,13	11,71	2,31	13,95	57,57	17,73	16
		70,00	70,00	1,50	3,20	3,54	4,08	31,46	8,99	2,78	10,36	48,89	13,50	
		70,00	70,00	2,00	4,32	4,65	5,50	40,73	11,64	2,72	13,52	64,10	17,50	
3 X 3	75 X 75	70,00	70,00	2,50	5,26	5,59	6,70	49,41	14,12	2,72	16,54	78,79	21,27	16
		70,00	70,00	3,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82	
		75,00	75,00	3,00	6,35	-	8,41	71,62	19,10	2,92	22,49	115,14	28,81	
4 1/2 X 3 1/2	90 X 90	75,00	75,00	4,00	8,35	-	10,95	90,19	24,05	2,87	28,76	148,83	36,48	16
		75,00	75,00	5,00	10,30	-	13,36	106,33	28,35	2,82	34,46	180,41	43,33	
		75,00	75,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43	
4 1/2 X 3 1/2	90 X 90	90,00	90,00	2,00	5,58	6,01	7,11	88,86	19,75	3,54	22,78	138,32	29,66	9
		90,00	90,00	2,50	6,81	7,23	8,68	108,55	24,12	3,54	28,00	170,65	36,27	
		90,00	90,00	3,00	8,03	8,45	10,23	127,28	28,29	3,53	33,04	202,14	42,59	

## ANEXO 6 ACEROS NICASTILLO

CALIDADES MAS COMUNES		COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				APLICACIONES MAS FRECUENTES		
		L	C	MN	P	S	SI	CU	LIMITE ELASTICO		RESISTENCIA A LA TRACCION			% ALARGA	
ASTM	DIN		(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)							
A-36	ST 33 - 1.2	MIN		80				15		23Kg/mm2	250MPa	41Kg/mm2	400MPa	20	Estructuras metalicas en general.
		MAX	25	120	4	4	30	20	25Kg/mm3	250MPa	56Kg/mm2	550MPa	23		
A-283 GR C	RST 37 - 1.2	MIN		50				7		-	-	39Kg/mm2	380MPa	20	Tanques de almacenamiento.
		MAX	18	90	3.5	3.5	35	30	21Kg/mm2	205MPa	46Kg/mm2	450MPa	23		
A-285 GR C		MIN								-	-	38Kg/mm2	380MPa	23	Recipientes a presión de baja e intermedia resistencia a la traccion.
		MAX	28	90	3.5	3.5			21Kg/mm2	205MPa	45Kg/mm2	515MPa	27		
A-131 GR A	RST 34 - 1.2	MIN		53						-	-	41Kg/mm2	400MPa	21	Construcción naval en general.
		MAX	21		4	4	50.4		23Kg/mm2	235MPa	50Kg/mm2	490MPa	24		
A-516 GR 70		MIN	27	85				15		-	-	49Kg/mm2	485MPa	17	Recipientes a presión temperaturas media-alta.
		MAX	31	120	4	3.5	40		27Kg/mm2	260MPa	63Kg/mm2	620MPa	21		
A-514 GR A	RQT 601	MIN						1.5		-	-	71Kg/mm2	690MPa	-	Resistencia a la abrasion
		MAX	20	150	3.5	4	50		64Kg/mm2	800MPa	87Kg/mm2	850MPa	19		

### DIMENSIONES Y PESOS DE PLANCHAS COMERCIALES

ESPESOR				M2	1.0 X 2.0 MTS	1.22 X 2.44 MTS ( 4' X 8' )	1.83 X 6.09 MTS ( 6' X 20' )	2.0 X 6.0 MTS	2.44 X 6.09 MTS ( 8' X 20' )
L	CALIBRE	PULGADA	MILIMETRO	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
A	16		1.50	11.78	23.56	35.01	131.00	141.00	175.00
M	14		1.90	14.92	29.85	44.35	166.00	179.00	222.00
I			2.50	19.63	39.27	58.35	219.00	236.00	292.00
N	12		2.66	20.89	41.78	62.09	233.00	251.00	311.00
A	11		3.00	23.56	47.12	70.02	263.00	283.00	350.00
S		1/8"	3.17	24.90	49.79	73.99	278.00	299.00	370.00
			4.00	31.42	62.83	93.37	350.00	377.00	467.00
			4.50	35.34	70.69	105.04	394.00	424.00	525.00
		3/16"	4.76	37.38	74.77	111.11	417.00	449.00	556.00
E			5.00	39.27	78.54	116.71	438.00	471.00	584.00
N			6.00	47.12	94.25	140.05	525.00	565.00	700.00
		1/4"	6.35	49.87	99.75	148.22	556.00	598.00	741.00
		5/16"	7.94	62.36	124.72	185.33	695.00	748.00	927.00
			8.00	62.83	125.66	186.73	700.00	754.00	934.00
			9.00	70.69	141.37	210.07	788.00	848.00	1,051.00
C		3/8"	9.53	74.85	149.70	222.44	834.00	898.00	1,113.00
A			10.00	78.54	157.08	233.41	876.00	942.00	1,167.00
L			12.00	94.25	188.50	280.10	1,051.00	1,131.00	1,401.00
I		1/2"	12.70	99.75	199.49	296.44	1,112.00	1,197.00	1,483.00
F			13.00	102.40	204.80	307.20	1,140.00	1,227.00	1,560.00



## ANEXO 7 NORMA AWS SOLDADURA

Tabla 3.1  
Metal base precalificado – Combinaciones del metal de aporte para la resistencia calificada

G R U P O	Requerimientos de la Especificación del Acero					Requerimientos del metal de aporte			
	Especificación del acero	Esfuerzo / Punto de fluencia mínimo		Rango de tensión		Proceso	Especificaciones del electrodo AWS	Clasificación de Electrodo	
		ksi	MPa	ksi	MPa				
I	ASTM A 36	(≤3/4 in. [20 mm])	36	250	58-80	400-550	SAW	A5.1	E60XX, E70XX
	ASTM A 53	Grado B	35	240	60 min	415 min		A5.5 <sup>3</sup>	E70XX-X
	ASTM A 106	Grado B	35	240	60 min	415 min	SAW	A5.17	F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490			
	ASTM A 139	Grado B	35	241	60 min	414 min			
	ASTM A 381	Grado Y35	35	240	60 min	415 min			
	ASTM A 500	Grado A	33	228	45 min	310 min			
		Grado B	42	290	58 min	400 min			
	ASTM A 501		36	250	58 min	400 min			
	ASTM A 516	Grado 55	30	205	55-75	380-515			
		Grado 60	32	220	60-80	415-550			
	ASTM A 524	Grado I	35	240	60-85	415-586			
		Grado II	30	205	55-80	380-550			
		*					GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC E70C-XM (Los electrodos con el Sufijo -GS de deberán excluir)
	ASTM A 570	Grado 30	30	205	49 min	340 min			
		Grado 33	33	230	52 min	360 min			
		Grado 36	36	250	53 min	365 min			
		Grado 40	40	275	55 min	380 min			
		Grado 45	45	310	60 min	415 min	FCAW	A5.20	(Los electrodos con el sufijo -2, -2M, -3, -10, -13, -14 GS deberán excluirse y los electrodos con el sufijo -11 se deberán excluir para espesores mayores que ½ pulgadas [12 mm] )
	ASTM A 573	Grado 65	35	240	65-77	450-530			
		Grado 58	32	220	58-71	400-490			
	ASTM A 709	Grado 36 (≤3/4 in. [20 mm])	36	250	58-80	400-550	ABS	A5.29 <sup>3</sup>	E6TX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
	API 5L	Grado B	35	240	60	415			
	Grado X42	42	290	60	415				
	Grados A, B, D, CS, DS			58-71	400-490				
	Grado E <sup>2</sup>			58-71	400-490				

## ANEXO 8 CATALOGO ELECTRODO



### BÖHLER FOX 6013 MX

Electrodo para soldar aceros al carbono.

Especificación				
<b>AWS A5.1</b>		<b>AWS A5.1M</b>		
<b>E6013</b>		<b>E4313</b>		
Campo de aplicación				
El Electrodo Bohler Fox 6013 MX es recomendable para soldar láminas delgadas desde calibre 20, así como soleras, placas, perfiles tubulares para herrería, perfiles estructurales tipo PTR, tolvas, tanques recipientes, carrocerías, muebles metálicos, etc.				
Böhler Fox 6013 MX se utiliza para soldar los siguientes materiales, entre otros:				
Aceros hasta un límite elástico de 380 N/mm <sup>2</sup> (52 ksi) S275JR, S235J0G3 - S355J0G3, P235GH, P265GH, P255NH, P235T1, P355T1, P235T2-P355T2, P235G1TH, P255G1TH, L210 - L360NB, L290MB, S235JRS1 - S235J0S1, S235JRS2 - S235J0S2 ASTM A36 a. A53 Gr. all; A106 Gr. A, B, C A 135 Gr. A, B; A283 Gr. A, B, C, D; A366; A285 Gr. A, B, C; A500 Gr. A, B, C; A570 Gr. 30, 33, 36, 40, 45; A607 Gr. 45; A668 Gr. A, B; A907 Gr. 30, 33, 36, 40; A935 Gr.45; A936 Gr. 50; API 5 L Gr. B, X42 - X52				
Características				
El electrodo Bohler Fox 6013 MX tiene un excelente reencendido del arco por lo que se puede soldar con un amperaje relativamente bajo, en materiales delgados, aún con fuentes de poder de baja tensión en vacío, de tipo corriente alterna y continua, produce cordones de superficie suave, de aspecto liso y limpio con poca penetración.				
Análisis estándar del depósito ( % en peso )				
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
< 0.2	< 1.2	< 1.0	N/E	N/E
Propiedades mecánicas del depósito				
<b>Resistencia a la tracción</b>		<b>Límite de Cedencia (0.2%)</b>		<b>Alargamiento ( l = 4d )</b>
<b>MPa</b>		<b>MPa</b>		<b>%</b>
> 430		> 330		> 17
Instrucciones para soldar				
Limpiar la zona por soldar. Manejar el electrodo ligeramente inclinado en la dirección del avance con arco corto. La escoria se quita fácilmente y se debe eliminar entre cada pasada.				
Posiciones de soldadura			Tipos de corriente	
			Corriente Directa / Electrodo Positivo (DC/EP) ( = + )	
			Corriente Directa / Electrodo Negativo ( DC/EN ) ( = - )	
			Corriente Alterna ( ~ )	
Parámetros recomendados				
<b>Electrodo</b>	<b>Ø x L (mm)</b>	2.4 x 350	3.2 x 350	4.0 x 350
<b>Amperaje</b>	<b>(A)</b>	45 - 90	80 - 130	105 - 180
Presentación				



Electrodos en DryPack			
Código	Diámetro pulg / (mm)	Longitud (mm)	Peso del paquete
BOH008	3/32" (2.4mm)	350	5 kg /11 Lbs
BOH009	1/8" (3.2mm)	350	5 kg /11 Lbs
BOH010	5/32" (4.0mm)	350	5 kg /11 Lbs



**BÖHLER 7014**

Electrodo rutilico con polvo de hierro para altas velocidades de depósito.

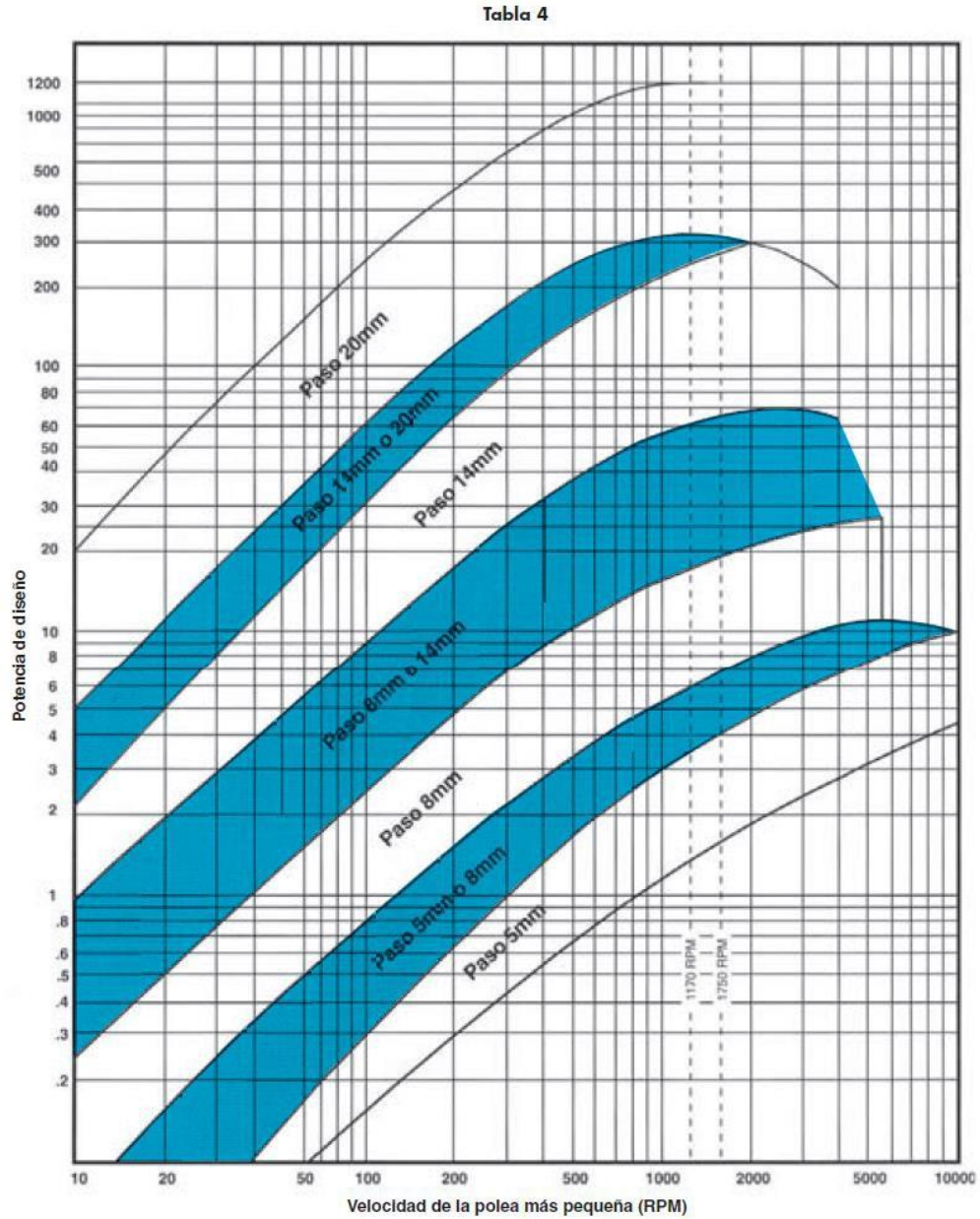
Especificación					
AWS A5.1			AWS A5.1M		
E 7014			E 4914		
Campo de aplicación					
Para trabajos de mantenimiento y reparación, aplicaciones en juntas de filete de espesores gruesos etc.					
Análisis estándar del depósito ( % en peso )					
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>
< 0.15	< 1.25	< 0.90	< 0.035	< 0.035	Resto
Propiedades mecánicas del depósito					
<b>Resistencia a la tracción</b>		<b>Límite de Cedencia (0.2%)</b>		<b>Alargamiento ( l = 4d )</b>	
<b>MPa</b>		<b>MPa</b>		<b>%</b>	
> 490		> 400		> 17	
Instrucciones para soldar					
BOHLER 7014 se utiliza para pasos de raíz en donde se recomienda utilizar polaridad directa. Limpiar la zona por soldar. Manejar el electrodo ligeramente inclinado en la dirección del avance con arco corto. La escoria se quita fácilmente y debe eliminarse entre pases.					
Parámetros recomendados					
<b>Electrodo</b>	<b>Ø x L (mm)</b>	3.2 x 350			
<b>Amperaje</b>	<b>(A)</b>	110 - 150			
Presentación					



Electrodos en DryPack			
Código	Diámetro pulg / (mm)	Longitud (mm)	Peso del paquete
BOH011	1/8" (3.2mm)	350	5 kg /11 Lbs

## ANEXO 9 GRÁFICA SELECCIÓN DE PASO PARA POLEAS SINCRÓNICAS INTERMEC

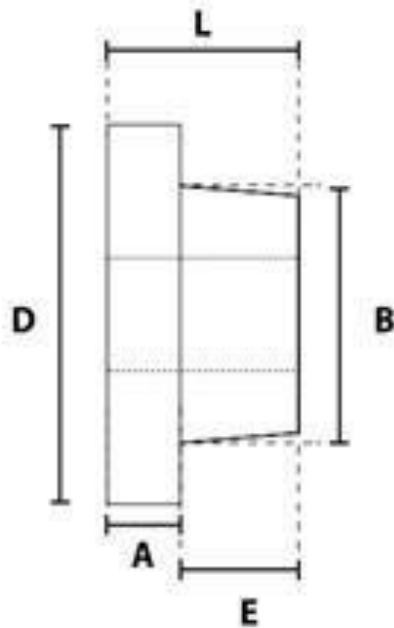
Tabla de Selección del Paso para Transmisiones Sincrónicas



## ANEXO 10 TABLA DE CORREAS SINCRÓNICAS

Combinación de Poleas			<i>Distancias de centros nominales mm/pulg.</i>														
Ancho de Veteado	Motriz		<i>Designación de código de la correa mm/pulg.</i>														
	No. Dientes	No. Dientes	966	1190	1400	1610	1778	1890	2100	2310	2450	2590	2800	3150	3360	3500	3850
1.00	80	80						385.0	490.0	595.0	665.0	735.0	840.0	1015.0	1120.0	1190.0	1365.0
	72	72					385.0	441.0	546.0	651.0	721.0	791.0	896.0	1071.0	1176.0	1246.0	1421.0
	68	68				329.0	413.0	469.0	574.0	679.0	749.0	819.0	924.0	1099.0	1204.0	1274.0	1449.0
	64	64				357.0	441.0	497.0	602.0	707.0	777.0	847.0	952.0	1127.0	1232.0	1302.0	1477.0
	60	60				385.0	469.0	525.0	630.0	735.0	805.0	875.0	980.0	1155.0	1260.0	1330.0	1505.0
	56	56			308.0	413.0	497.0	553.0	658.0	763.0	833.0	903.0	1008.0	1183.0	1288.0	1358.0	1533.0
	52	52			336.0	441.0	525.0	581.0	686.0	791.0	861.0	931.0	1036.0	1211.0	1316.0	1386.0	1561.0
	48	48		259.0	364.0	469.0	553.0	609.0	714.0	819.0	889.0	959.0	1064.0	1239.0	1344.0	1414.0	1589.0
	44	44		287.0	392.0	497.0	581.0	637.0	742.0	847.0	917.0	987.0	1092.0	1267.0	1372.0	1442.0	1617.0
	40	40	203.0	11.30	15.43	19.57	22.87	25.08	29.21	33.35	36.10	38.86	42.99	49.88	54.02	58.77	63.66
			7.99	12.40	16.54	20.67	23.98	26.18	30.31	34.45	37.20	39.96	44.09	50.98	55.12	57.87	64.76

## ANEXO 11 SELECCIÓN DEL BUJE



Ref. Buje	Hueco máximo permisible con cuñero estándar		A [mm]	B [mm]	D [mm]	E [mm]	L [mm]	Tornillos requeridos	
	[mm]	[pulg]						cantidad	tamaño
JA	25,4	1	9,5	34,9	50,8	17,5	27,0	3	No.10 x 1
SH	34,9	1-3/8	11,1	47,5	68,3	22,2	33,3	3	1/4 x 1-3/8
SDS	42,9	1-11/16	12,7	55,5	81,0	22,2	34,9	3	1/4 x 1-3/8
SD	42,9	1-11/16	12,7	55,5	81,0	33,3	46,0	3	1/4 x 1-7/8
SK	54,0	2-1/8	14,3	71,4	98,4	34,9	49,2	3	5/16 x 2
SF	57,1	2-1/4	14,3	79,3	117,5	38,1	52,4	3	3/8 x 2
E	73,0	2-7/8	19,0	97,4	152,4	47,5	66,7	3	1/2 x 2-3/4
F	84,1	3-5/16	20,6	112,7	168,3	71,4	92,1	3	9/16 x 3-5/8
J	95,2	3-3/4	25,4	130,8	184,1	88,9	114,3	3	5/8 x 4-1/2
M	120,6	4-3/4	31,7	165,1	228,6	139,7	171,4	4	3/4 x 5-3/4
N	127,0	5	38,1	177,8	254,0	168,3	206,4	4	7/8 x 6-1/2
P	150,8	5-15/16	44,4	209,5	298,4	193,7	238,1	4	1 x 9-1/2
W	190,5	7-1/2	50,8	265,1	381,0	238,1	288,9	4	1-1/8 x 11-1/2

## ANEXO 12 DESIGNACIÓN DE POLEA



### TABLA DE DIÁMETROS DE POLEAS DENTADAS PARA CORREAS SINCRÓNICAS

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
15	22,73	36,81		
16	24,32	39,36		
17	25,92	41,91		
18	27,51	44,45	77,56	
19	29,10	47,00	82,00	
20	30,69	49,54	86,47	
21	32,28	52,00	90,93	
22	33,87	54,64	95,37	135,76
23	35,47	57,20	99,83	142,12
24	37,06	59,74	104,29	148,49
25	38,65	62,28	108,75	154,85
26	40,24	64,85	113,20	161,22
27	41,83	67,39	117,66	167,59
28	43,42	70,08	122,12	173,95
29	45,01	72,62	126,57	180,32
30	46,61	75,13	130,99	186,69
31	48,20	77,65	135,46	193,05
32	48,79	80,16	139,88	199,42
33	51,38	82,68	144,35	205,78
34	52,97	85,22	148,79	212,15
35	54,56	87,76	153,24	218,52
36	56,16	90,30	157,68	224,88
37	57,75	92,85	162,13	231,25
38	59,34	95,39	166,60	237,61
39	60,93	97,94	171,02	243,98
40	62,52	100,49	175,49	250,35
41	64,11	103,03	179,92	256,71
42	65,71	105,58	184,37	263,08
43	67,30	108,13	188,83	269,45
44	68,89	110,67	193,28	275,81
45	70,48	113,22	197,74	282,18

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
58	91,17	146,32	255,67	364,94
59	92,76	148,87	260,13	371,30
60	94,35	151,42	264,59	377,67
61	95,94	153,96	269,04	384,04
62	97,54	156,51	273,50	390,40
63	99,13	159,06	277,95	396,77
64	100,72	161,60	282,41	403,14
65	102,31	164,15	286,87	409,50
66	103,90	166,70	291,32	415,87
67	105,49	169,24	295,78	422,23
68	107,09	171,79	300,24	428,60
69	108,68	174,34	304,69	434,97
70	110,27	176,88	309,15	441,33
71	111,86	179,43	313,61	447,70
72	113,45	181,97	318,06	454,07
73	115,04	184,52	322,52	460,43
74	116,63	187,07	326,97	466,80
75	118,23	189,61	331,43	473,16
76	119,82	192,16	335,89	479,53
77	121,41	194,71	340,34	485,90
78	123,00	197,25	344,80	492,26
79	124,59	199,81	349,26	498,63
80	126,18	202,35	353,71	504,99
81	127,78	204,89	358,17	511,36
82	129,37	207,44	362,63	517,73
83	130,96	209,99	367,08	524,09
84	132,55	212,53	371,54	530,46
85	134,14	215,08	375,99	536,83
86	135,73	217,63	380,45	543,19
87	137,32	220,17	384,91	549,56
88	138,92	222,72	389,36	555,92

## ANEXO 13 DESIGNACIÓN DE CORREAS

### CORREAS DENTADAS SINCRÓNICAS

#### SIGNIFICADO DE LA REFERENCIA



**14M**



#### CORREAS 14M (PASO 14mm)

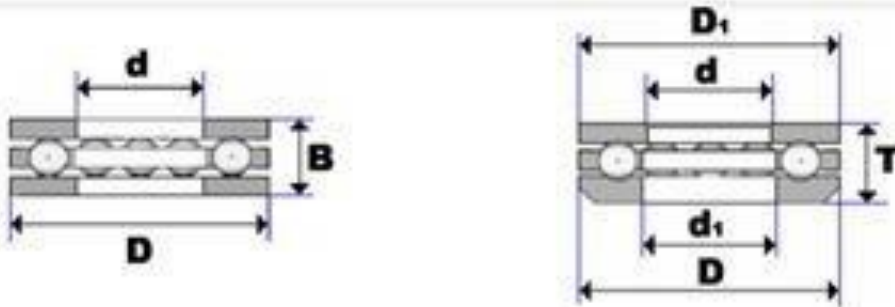
Referencia	No. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
966-14M-40	69	966	38,03
966-14M-55	69	966	38,03
966-14M-85	69	966	38,03
966-14M-115	69	966	38,03
966-14M-170	69	966	38,03
1190-14M-40	85	1190	46,85
1190-14M-55	85	1190	46,85
1190-14M-85	85	1190	46,85
1190-14M-115	85	1190	46,85
1190-14M-170	85	1190	46,85
1400-14M-40	100	1400	55,12

#### CORREAS 14M (PASO 14mm)

Referencia	No. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
2100-14M-40	150	2100	82,68
2100-14M-55	150	2100	82,68
2100-14M-85	150	2100	82,68
2100-14M-115	150	2100	82,68
2100-14M-170	150	2100	82,68
2310-14M-40	165	2310	90,94
2310-14M-55	165	2310	90,94
2310-14M-85	165	2310	90,94
2310-14M-115	165	2310	90,94



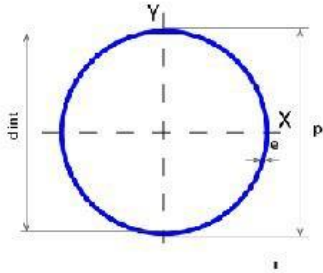
## ANEXO 14 SELECCIÓN DE RODAMIENTO



Dimensiones principales	Dimensiones principales				Designación básica	Capacidad de carga		Límite de velocidad		Peso
	d	d1	D	D1		T	Cr	Cor	Grasa	
	pulgadas					N		r.p.m.		kg
2.3/4	2.25/32	3.7/8	3.27/32	3/4	XLT 2.3/4	33700	93100	2000	3000	0.513
	2.25/32	4.1/32	4	1	LT 2.3/4	56500	137000	2000	3000	0.68
	2.7/8	5	4.7/8	2	MT 2.3/4	177000	365000	1700	2600	2.89
2.7/8	2.29/32	4	3.31/32	3/4	XLT 2.7/8	35100	101000	1900	2900	0.513
	2.29/32	4.5/32	4.1/8	1	LT 2.7/8	64000	157000	1900	2900	0.708
3	3.1/16	4.1/8	4.1/16	3/4	XLT 3	34800	101000	1800	2800	0.513
	3.1/16	4.3/8	4.5/16	1.1/8	LT 3	72500	179000	1800	2700	0.948
	3.1/8	5.5/8	5.1/2	2.1/4	MT 3	226000	477000	1500	2300	4.14

## ANEXO 15 PERFIL ESTRUCTURAL CIRCULAR

### Tubería Estructural Redonda



### Tubería Estructural Redonda

Nominal pulgadas	CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACION						PROPIEDADES ESTÁTICAS						UNIDADES DE EMPAQUE
	DIAMETRO		Espesor pared e mm	PESO		ÁREA A cm <sup>2</sup>	FLEXION			TORSION			
	Exterior d cm	Interior d int cm		Negro Kg/m	Galvanizado Kg/m		Momento Inercia I cm <sup>4</sup>	Módulo Sección S cm <sup>3</sup>	Radio de Giro r cm	Módulo Plástico Z cm <sup>3</sup>	Momento Inercia J cm <sup>4</sup>	Módulo Elástico B cm <sup>3</sup>	
1/2"	2,05	1,75	1,50	0,70	0,76	0,89	0,40	0,40	0,67	0,54	0,81	0,79	37
	2,07	1,67	2,00	0,94	0,99	1,17	0,52	0,50	0,66	0,70	1,04	1,00	
	2,07	1,57	2,50	1,12	1,17	1,43	0,60	0,58	0,65	0,83	1,21	1,17	
3/4"	2,58	2,28	1,50	0,90	0,98	1,15	0,85	0,66	0,86	0,89	1,70	1,32	37
	2,61	2,21	2,00	1,21	1,27	1,51	1,11	0,85	0,86	1,17	2,22	1,70	
	2,61	2,11	2,50	1,45	1,51	1,85	1,31	1,00	0,84	1,40	2,61	2,00	
1"	3,29	2,99	1,50	1,16	1,25	1,48	1,83	1,11	1,11	1,48	3,66	2,23	37
	3,29	2,89	2,00	1,55	1,63	1,94	2,33	1,42	1,10	1,91	4,66	2,83	
	3,29	2,79	2,50	1,87	1,95	2,39	2,78	1,69	1,08	2,32	5,56	3,38	
	3,29	2,69	3,00	2,21	2,30	2,82	3,19	1,94	1,06	2,69	6,37	3,87	
1 1/4"	4,22	3,92	1,50	1,48	1,60	1,92	3,99	1,89	1,44	2,49	7,98	3,78	19
	4,22	3,82	2,00	2,01	2,13	2,53	5,11	2,42	1,42	3,23	10,23	4,85	
	4,22	3,72	2,50	2,44	2,55	3,12	6,17	2,92	1,41	3,95	12,33	5,85	
	4,22	3,62	3,00	2,85	2,96	3,70	7,16	3,39	1,39	4,63	14,32	6,78	
1 1/2"	4,83	4,53	1,50	1,73	1,86	2,20	6,03	2,50	1,65	3,28	12,06	5,00	19
	4,83	4,43	2,00	2,32	2,45	2,91	7,81	3,23	1,64	4,29	15,62	6,47	
	4,79	4,29	2,50	2,79	2,91	3,56	9,20	3,84	1,61	5,15	18,41	7,69	
	4,83	4,23	3,00	3,29	3,42	4,27	10,97	4,55	1,60	6,15	21,94	9,09	
2"	5,99	5,69	1,50	2,16	2,33	2,75	11,76	3,93	2,07	5,12	23,53	7,85	19
	5,99	5,59	2,00	2,90	3,07	3,64	15,29	5,10	2,05	6,72	30,59	10,21	
	5,99	5,49	2,50	3,53	3,69	4,51	18,64	6,22	2,03	8,25	37,28	12,44	
	5,99	5,39	3,00	4,14	4,30	5,36	21,76	7,27	2,01	9,72	43,53	14,53	
	6,02	5,22	4,00	5,50	5,66	7,06	28,02	9,31	1,99	12,66	56,05	18,62	
2 1/2"	7,24	6,84	2,00	3,52	3,73	4,42	27,41	7,57	2,49	9,91	54,83	15,15	7
	7,24	6,74	2,50	4,29	4,49	5,49	33,56	9,27	2,47	12,22	67,12	18,54	
	7,24	6,64	3,00	5,04	5,24	6,54	39,44	10,90	2,46	14,45	78,87	21,79	
	7,24	6,44	4,00	6,72	6,92	8,59	50,42	13,93	2,42	18,73	100,83	27,86	
3"	8,82	8,42	2,00	4,32	4,57	5,42	50,40	11,42	3,05	14,88	100,80	22,85	7
	8,82	8,32	2,50	5,26	5,51	6,73	61,93	14,04	3,03	18,38	123,87	28,07	
	8,82	8,22	3,00	6,19	6,44	8,03	73,05	16,56	3,02	21,81	146,11	33,12	
	8,82	8,02	4,00	8,28	8,52	10,59	94,11	21,33	2,98	28,41	188,23	42,66	
	8,89	7,79	5,50	11,29	-	14,41	125,84	28,31	2,96	38,31	251,67	56,62	

## ANEXO 16 ELECTROVÁLVULAS DIRECCIONALES 5/2

**MiCRO**

**Válvulas direccionales 5/2**

Serie SB1 1/4"

**INICIO**

Tipo..... Válvulas 5/2 de actuación neumática o eléctrica, con actuador manual mono y biestable  
 Montaje..... Unitario o en uso múltiple mediante Distribuidor de alimentación o Base manifold  
 Conexiones..... De trabajo: G1/4" - De pilotaje: M5x0,8  
 Temperatura ambiente..... -5...50 °C (23...122 °F)  
 Temperatura del fluido..... -10...60 °C (14...140 °F)  
 Fluido..... Aire comprimido filtrado (se recomienda lubricación) - Gases inertes  
 Presión de trabajo ..... Ver para cada tipo de actuación  
 Caudal nominal ..... 1000 l/min (1,016 Cv)  
 Frecuencia (a 6 bar) ..... 18 Hz (reacción neumática)  
 16 Hz (reacción a resorte)  
 Materiales ..... Cuerpo de zamac, distribuidor de aluminio, sellos de NBR



Códigos en **Negrita**: entrega inmediata, salvo ventas.

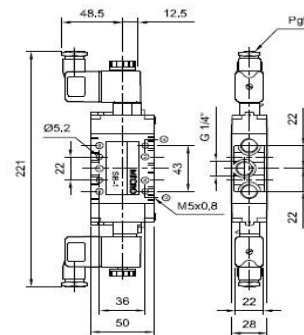
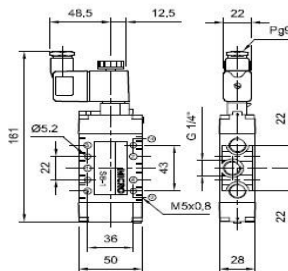
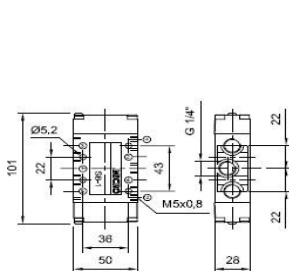
**2**

Descripción	Presión de trabajo	<b>MiCRO</b>	Kit de reparación
Válvula 5/2 mando neumático, reacción neumática	1,5...10 bar	<b>0.220.001.322</b>	0.200.000.176
Válvula 5/2 mando neumático, reacción a resorte	2,5...10 bar	<b>0.220.001.522</b>	0.200.000.177
Válvula 5/2 biestable por impulsos neumáticos	0,5...10 bar	<b>0.220.001.722</b>	0.200.000.178
Electroválvula 5/2, reacción neumática	1,5...10 bar	<b>0.220.002.322 / ---</b>	0.200.000.182
Electroválvula 5/2, reacción a resorte	2,5...10 bar	<b>0.220.002.522 / ---</b>	0.200.000.183
Electroválvula 5/2, biestable por impulsos eléctricos	0,5...10 bar	<b>0.220.002.722 / ---</b>	0.200.000.184

**Mando neumático**

**Mando electro neumático simple**

**Mando electro neumático doble**

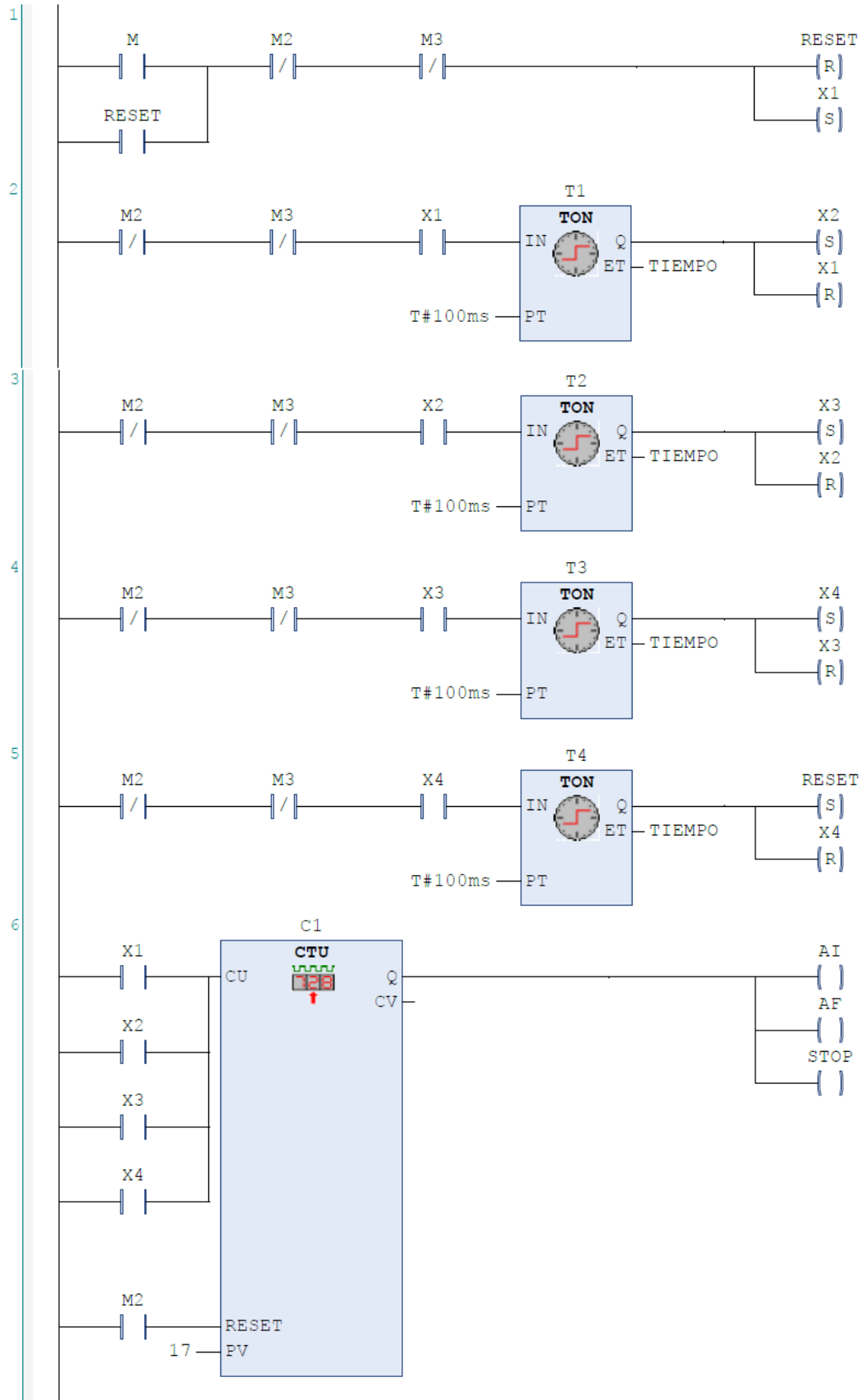


Códigos en **Negrita**: entrega inmediata, salvo ventas.

**2**

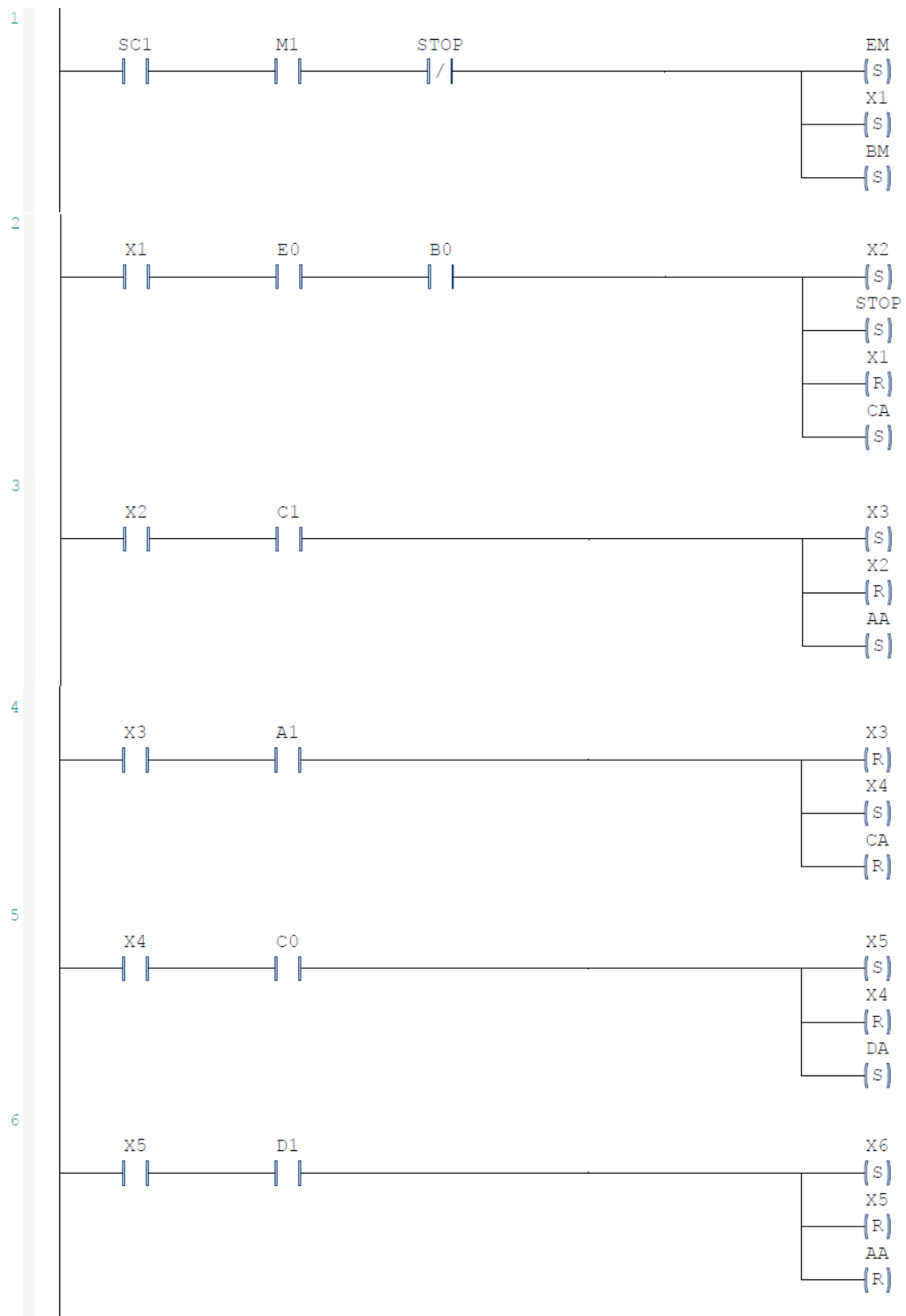
## ANEXO 17 PROGRAMACIÓN DEL MOTOR

```
1 PROGRAM PROG_MOTOR
2 VAR_INPUT
3     M : BOOL ;
4     M2 : BOOL ;
5     M3 : BOOL ;
6 END_VAR
7 VAR_OUTPUT
8     A : BOOL ;
9     B : BOOL ;
10    C : BOOL ;
11    D : BOOL ;
12    AI : BOOL ;
13    AF : BOOL ;
14 END_VAR
15 VAR
16    X1 : BOOL ;
17    T1 : TON ;
18    tiempo : TIME ;
19    T2 : TON ;
20    X2 : BOOL ;
21    X3 : BOOL ;
22    T3 : TON ;
23    X4 : BOOL ;
24    t4 : TON ;
25    X5 : BOOL ;
26    T5 : TON ;
27    X6 : BOOL ;
28    T6 : TON ;
29    X7 : BOOL ;
30    T7 : TON ;
31    RESET : BOOL ;
32    C1 : CTU ;
33    STOP : BOOL ;
34 END_VAR
35
```



## ANEXO 18 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE IMPRESIÓN

```
1  PROGRAM IMPRESION
2  VAR_INPUT
3      E0 : BOOL ;
4      E1 : BOOL ;
5      B1 : BOOL ;
6      SC1 : BOOL ;
7      M1 : BOOL ;
8      B0 : BOOL ;
9      C1 : BOOL ;
10     A1 : BOOL ;
11     C0 : BOOL ;
12     D1 : BOOL ;
13     A0 : BOOL ;
14     D0 : BOOL ;
15 END_VAR
16 VAR_OUTPUT
17     EM : BOOL ;
18     EM : BOOL ;
19     CA : BOOL ;
20     AA : BOOL ;
21     DA : BOOL ;
22     M : BOOL ;
23 END_VAR
24 VAR
25     X1 : BOOL ;
26     X2 : BOOL ;
27     X3 : BOOL ;
28     X4 : BOOL ;
29     X5 : BOOL ;
30     X6 : BOOL ;
31     X7 : BOOL ;
32     X8 : BOOL ;
33     STOP : BOOL ;
34 END_VAR
35
```



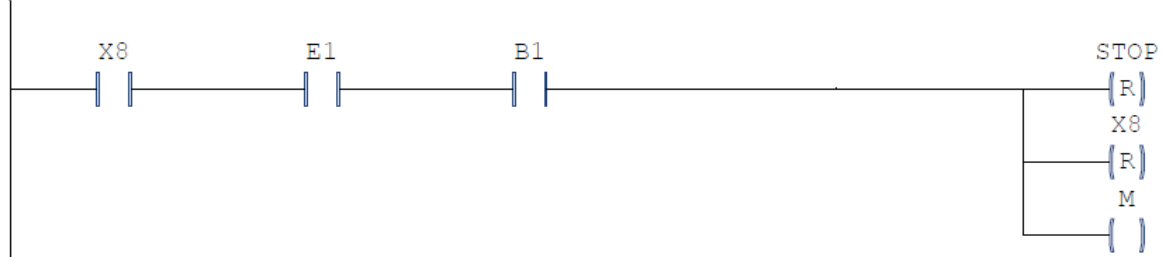
7



8



9



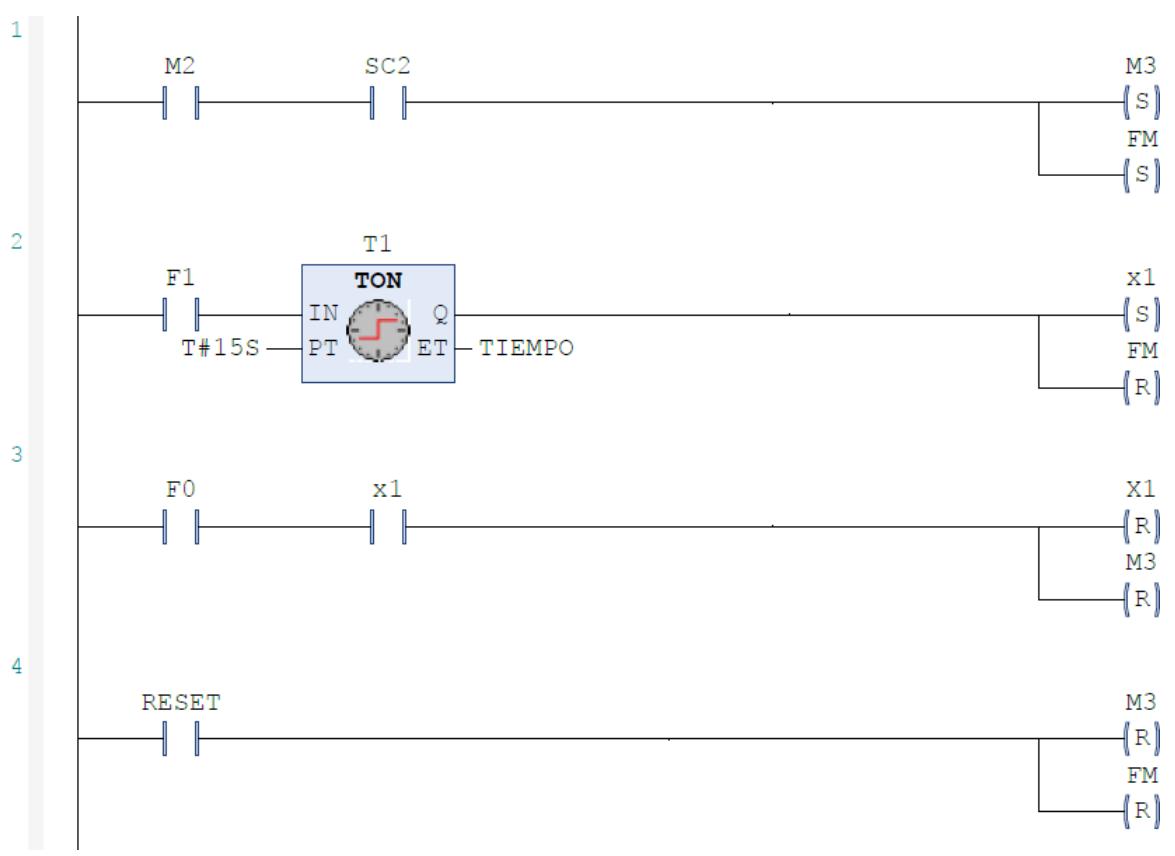


## ANEXO 19 PROGRAMACIÓN SISTEMA DE FIJACIÓN

```

1  PROGRAM FIJACION
2  VAR_INPUT
3      M2 : BOOL ;
4      SC2 : BOOL ;
5      F1 : BOOL ;
6      F0 : BOOL ;
7      RESET : BOOL ;
8  END_VAR
9  VAR_OUTPUT
10     M3 : BOOL ;
11     FM : BOOL ;
12 END_VAR
13 VAR
14     T1 : TON ;
15     TIEMPO : TIME ;
16     x1 : BOOL ;
17 END_VAR
18

```

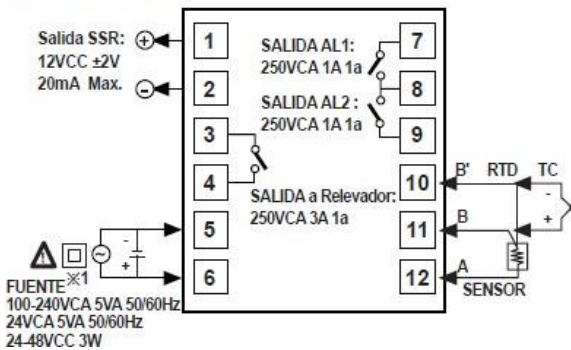


## ANEXO 20 FICHA DE CONEXIÓN DEL RELÉ SSR CON EL CONTROLADOR TC4S

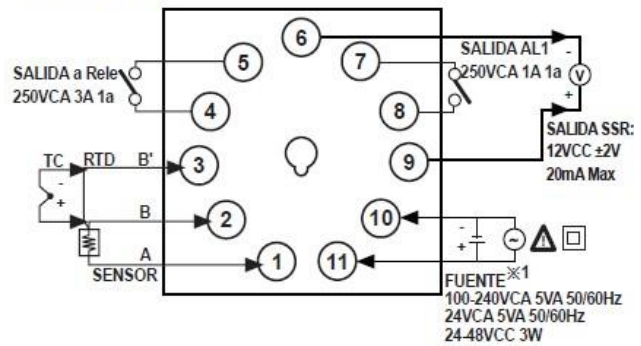
### ■ Conexiones

✘ La serie TC4 tiene ambas salidas, principal y SSR. Puede seleccionar el modelo dependiendo de sus necesidades. El tipo de bajo voltaje es capaz de seleccionar Salida drive SSR de salida a relevador.

#### ● Serie TC4S

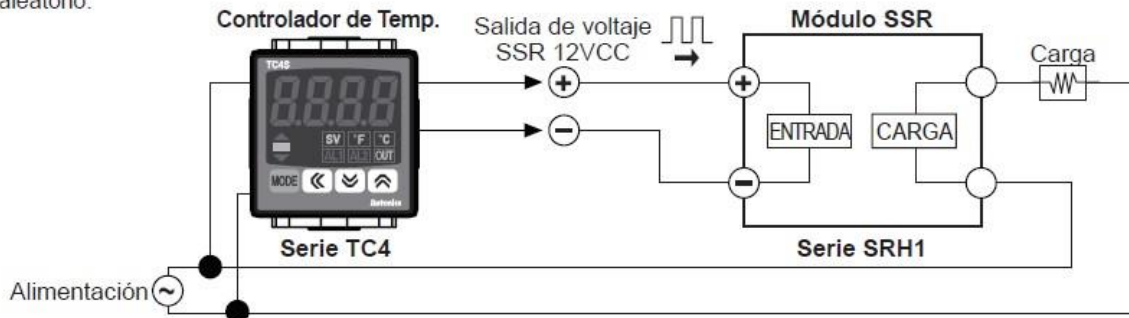


#### ● Serie TC4SP



### ■ Selección de salida drive SSR(SSRP)[ 55r.ñ ]

- Proporciona alta precisión y un control de temperatura efectivo en ambas salidas, tanto de corriente (4-20mA) como lineal (control de ciclo y control de fase).
- La Salida drive SSRP se puede seleccionar del control estándar ON/OFF, control de ciclo, control de fase al utilizar salida de voltaje SSR estándar.
- Seleccionar solo un control ON/OFF estándar [5End], un control de ciclo [CYCL] o un control de fase [PHAS] en el método de salida drive del grupo 2 de parámetros SSRM. Para el control de ciclo, conectar SSR turn-on cruce por cero (también se encuentra disponible el SSR turn-on aleatorio). Para el control de fase, conectar SSR turn-on aleatorio.



✘ Al seleccionar el modo de control de fase o de ciclo, la alimentación debe de ser la misma tanto para la carga como para el controlador de temperatura.

✘ En caso de seleccionar el control PID y los modos de salida de control de fase [PHAS]/ciclo [CYCL], el ciclo de control [T] no se podrá ajustar.

✘ Para modelos con alimentación CA/CC (TC4□-□2R), este parámetro no se visualiza y solo se encuentra disponible para el control estándar por relevador o SSR.

# ANEXO 21

## FICHA TÉCNICA FUENTE DE ALIMENTACIÓN



500W Single Output with PFC Function

**SP-500** series



- Features :
  - Universal AC input / Full range
  - Built-in active PFC function, PF>0.95
  - Protections: Short circuit / Overload/ Over voltage / Over temperature
  - Forced air cooling by built-in DC fan
  - Built-in cooling Fan ON-OFF control
  - Built-in remote ON-OFF control
  - Built-in remote sense function
  - 3 years warranty



### SPECIFICATION

MODEL	SP-500-12	SP-500-13.5	SP-500-15	SP-500-24	SP-500-27	SP-500-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	13.5V	15V	24V	27V	48V
	RATED CURRENT	40A	36A	32A	20A	18A	10A
	CURRENT RANGE	0 ~ 40A	0 ~ 36A	0 ~ 32A	0 ~ 20A	0 ~ 18A	0 ~ 10A
	RATED POWER	480W	486W	480W	480W	486W	480W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	240mVp-p	240mVp-p	240mVp-p	240mVp-p	200mVp-p	300mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	10 ~ 13.2V	12 ~ 15V	13.5 ~ 18V	20 ~ 26.4V	24 ~ 30V	41 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	1500ms, 50ms at full load					
HOLD UP TIME (Typ.)	24ms at full load						

INPUT	VOLTAGE RANGE Note.5	88 ~ 264VAC 124 ~ 370VDC					
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	POWER FACTOR (Typ.)	PF>0.95/230VAC PF>0.95/115VAC at full load					
	EFFICIENCY(Typ.)	84%	84%	83%	85.5%	86.5%	87%
	AC CURRENT (Typ.)	7A/115VAC	3.5A/230VAC				
	INRUSH CURRENT (Typ.)	18A/115VAC	36A/230VAC				
	LEAKAGE CURRENT	<3.5mA/240VAC					
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	13.8 ~ 16.2V	15.5 ~ 18.2V	18 ~ 21V	27.6 ~ 32.4V	31 ~ 36.5V	57.6 ~ 67.2V
	FAN CONTROL, O.T.P.	RTH1 or RTH2 ≥50°C FAN ON, ≤45°C FAN OFF, ≥70°C output shutdown					
FUNCTION	REMOTE CONTROL	RC+/RC-: Short = power on ; Open = power off					
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 ~ +50°C (Refer to "Derating Curve")					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)					
SAFETY & EMC (Note 4)	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1 cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes					
	SAFETY STANDARDS	UL60950-1, TUV EN60950-1 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
OTHERS	EMC EMISSION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B, EN61000-3-2,-3					
	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, light industry level, criteria A					
NOTE	MTBF	133.4K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)					
	DIMENSION	170*120*93mm (L*W*H)					
	PACKING	1.9Kg; 8pcs/15.5Kg/1.06CUFT					
1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. Derating may be needed under low input voltages. Please check the derating curve for more details.							

**ANEXO 22**  
**CATÁLOGO DE SEÑALES PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL**

*SEÑALES DE ADVERTENCIA*

 PELIGRO MATERIAS INFLAMABLES	 PELIGRO MATERIAS NOCIVAS O IRRITANTES	 PELIGRO MATERIAS TOXICAS	 PELIGRO OBJETOS A BAJA ALTURA	 PELIGRO OBJETOS PUNZANTES	 PELIGRO PASO DE CARRETILLAS
SA037	SA038	SA039	SA040	SA041	SA042
 PELIGRO PASO DE MÁQUINAS	 PELIGRO PASO DE PERSONAS	 PELIGRO PASO DE TRENES	 PELIGRO PRODUCTOS CONTAMINANTES	 PELIGRO PROYECCION DE PARTICULAS	 PELIGRO RADIACIONES ULTRAVIOLETAS
SA043	SA044	SA045	SA046	SA047	SA048
 PELIGRO RADIACIONES LÁSER	 PELIGRO RADIACIONES NO IONIZANTES	 PELIGRO RAIL GIRATORIO	 PELIGRO RUIDO INTENSO	 PELIGRO SALIDA DE VAPOR	 SODIUM PELIGRO SODIUM
SA049	SA050	SA051	SA052	SA053	SA054
 PELIGRO SUELO RESBALADIZO	 PELIGRO SUPERFICIE CALIENTE	 PELIGRO TECHO BAJO	 PELIGRO TRANSMISIONES	 PELIGRO ZONA DE CARGA	 PELIGRO ZONA DE PASO
SA055	SA056	SA057	SA058	SA059	SA060
 PELIGRO	 PESO LIMITADO	 PROTECCIÓN BIOLÓGICA	 RECIENTE PINTADO	 RIESGO BIOLÓGICO	 RIESGO DE APLASTAMIENTO
SA061	SA062	SA063	SA064	SA065	SA066
 RIESGO DE APLASTAMIENTO	 RIESGO DE APLASTAMIENTO	 RIESGO DE APLASTAMIENTO	 RIESGO DE ASFIXIA	 RIESGO DE ATRAPAMIENTO	 RIESGO DE ATRAPAMIENTO
SA067	SA068	SA069	SA070	SA071	SA072

## SEÑALES DE OBLIGACIÓN



## SEÑALES CONTRA INCENDIO



## **ANEXO 23 RECOMENDACIONES**

Es de gran importancia leer cuidadosamente los manuales de la máquina, de esta manera se evita realizar un mal ensamble, generando un mal funcionamiento de la misma, además de llegar a tener un accidente.

Se recomienda contratar a personal experto para la instalación de las conexiones tanto neumáticas como eléctricas que componen la máquina.

Es importante tener en cuenta el manual de mantenimiento de la máquina, de esta manera se extiende la vida útil de la máquina, previniendo cualquier tipo de falla y las detenciones el proceso productivo de la empresa.

Se recomienda no sustituir ni modificar piezas que componen la máquina, por otras que no lleguen a cumplir las mismas condiciones de trabajo.