



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DEMOSTRATIVO  
DE UN ROBOT CARTESIANO PARA IDENTIFICACIÓN Y  
CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS POR COLORES, PARA LA  
EMPRESA ECUAINSETEC CIA LTDA**

**AUTOR: OVIEDO DUQUE MIGUEL ERNESTO**

**DIRECTOR: TIPÁN CONDOLO EDGAR FERNANDO**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN ROBOT CARTESIANO PARA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS POR COLORES, PARA LA EMPRESA ECUAINSETEC CIA LTDA”** realizado por el señor **MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de noviembre de 2016

EDGAR TIPÁN CONDOLO

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE**, con cédula de identidad N° **1713733580**, declaro que este trabajo de titulación "**CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN ROBOT CARTESIANO PARA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS POR COLORES, PARA LA EMPRESA ECUAINSETEC CIA LTDA**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 25 de noviembre de 2016

MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE

C. C 1713733580



DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **"CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN ROBOT CARTESIANO PARA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS POR COLORES, PARA LA EMPRESA ECUAINSETEC CIA LTDA"** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 25 de noviembre de 2016

---

MIGUEL ERNESTO OVIEDO DUQUE

C. C 1713733580



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación y todo el esfuerzo de mi carrera a mi mamá, quien siempre me ha acompañado, guiado y apoyado en todos los momentos de mi vida.

***Miguel Ernesto Oviedo Duque***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por su apoyo desde el inicio hasta la culminación de mis estudios. A mis hermanas por su cariño. A mi querida abuelita por su amor y ejemplo de trabajo duro. A mis compañeros por convertirse en amigos y a mis amigos por convertirse en hermanos.

Agradezco al Ing. Gerardo Castro y al Ing. Vinicio Dávila por su confianza y por transmitirme su conocimiento. Al Ing. Edgar Tipán por su seguimiento y ayuda durante la realización de este proyecto.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas por permitirme ser parte de una gran institución, así como a todas las personas que estuvieron junto a mí y convirtieron esta experiencia en una gran etapa de mi vida.

***Miguel Ernesto Oviedo Duque***

## TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>2</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Alcance .....	4
1.5. Objetivo general.....	5
1.6. Objetivos Específicos.....	5
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Manipulador .....	6
2.1.1. Robot industrial.....	6
2.1.2. Robot cartesiano .....	7
2.1.3. Aplicaciones .....	7
2.1.4. Ventajas .....	7
2.2. Accionamiento de ejes lineales .....	8
2.2.1. Ejes accionados por banda dentada.....	8
2.2.2. Ejes accionados por husillo .....	9
2.3. Motores eléctricos .....	9
2.3.1. Motores a pasos .....	9
2.3.2. Servomotor.....	10
2.4. Efecto final.....	11
2.4.1. Pinzas .....	11
2.4.2. Ventosas .....	12
2.4.3. Garra magnética.....	12

	viii
2.5. Sensores.....	13
2.5.1. Sensor de posición .....	13
2.5.1.1. Sensor capacitivo.....	14
2.5.1.2. Sensor inductivo .....	14
2.5.1.3. Sensor óptico .....	15
2.5.2. Sensor de registro .....	15
2.5.2.1. Sensor de color .....	15
2.5.2.2. Sensor de contraste .....	16
2.6. Controlador lógico programable .....	16
2.6.1. Arquitectura de un PLC .....	17
2.6.2. Aplicaciones .....	18
2.6.3. Ventajas .....	18
2.7. PLCopen.....	19
2.7.1. PLCopen Motion Control .....	20
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>22</b>
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....</b>	<b>22</b>
3.1. Descripción del proceso .....	24
3.1.1. Etapas del proceso .....	25
3.1.1.1. Suministro de discos .....	25
3.1.1.2. Identificación de color .....	26
3.1.1.3. Clasificación.....	26
3.2. Descripción del robot cartesiano .....	27
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>30</b>
<b>SELECCIÓN DE COMPONENTES Y ENSAMBLAJE.....</b>	<b>30</b>
4.1. Robot cartesiano .....	30
4.1.1. Eje Z.....	31
4.1.2. Eje Y.....	49
4.1.3. Eje X.....	56
4.1.4. Garra magnética.....	63
4.1.5. Elementos adicionales.....	65
4.1.5.1. Cadenas porta cables .....	65
4.1.5.2. Concentrador de señales .....	66
4.1.5.3. Perfil para construcción mecánica.....	68
4.2. Suministro e identificación de discos.....	69
4.2.1. Base ranurada .....	70
4.2.2. Discos .....	71
4.2.3. Dispensador de discos .....	72

4.2.4.	Identificación de discos.....	74
4.2.4.1.	Sensor de presencia .....	75
4.2.4.2.	Sensor de registro.....	77
4.2.5.	Sujeción a base de robot cartesiano.....	79
4.3.	Equipos de control .....	80
4.3.1.	Controladores de servomotores.....	81
4.3.2.	Controlador lógico programable.....	85
4.3.3.	Fuente de alimentación .....	89
4.3.4.	Borneras.....	90
4.3.4.1.	Borneras generales.....	91
4.3.4.2.	Borneras de tierra .....	92
4.3.4.3.	Borneras porta fusibles .....	92
4.4.	Ensamblaje .....	93
4.4.1.	Robot cartesiano .....	93
4.4.2.	Suministro e identificación .....	99
4.4.3.	Equipos de control.....	101
	<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>104</b>
	<b>SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>104</b>
5.1.	Configuración de controladores de servomotores .....	104
5.1.1.	Festo Configuration Tool .....	104
5.1.2.	Componentes .....	105
5.1.3.	Modo de operación.....	106
5.1.4.	Método de referencia.....	108
5.1.5.	Comunicación.....	109
5.1.6.	Configuraciones por eje.....	110
5.2.	Programación del PLC .....	111
5.2.1.	Secuencia del programa.....	112
5.2.1.1.	Secuencia principal .....	113
5.2.1.2.	Preparación del robot.....	113
5.2.1.3.	Identificación y cálculo de posiciones.....	116
5.2.1.4.	Secuencia de movimientos .....	118
5.2.1.5.	Movimiento Ejes.....	119
5.2.2.	CoDeSys v2.3.....	120
5.2.2.1.	Configuración del PLC .....	121
5.2.2.2.	Configuración de ejes de movimiento.....	123
5.2.2.3.	POU's .....	125
5.2.2.4.	Tareas.....	126

	x
5.2.2.5. Asignación de entradas y salidas .....	128
5.3. Interfaces de usuario.....	130
5.3.1. Botonera.....	131
5.3.2. HMI.....	131
5.3.2.1. Diseño de HMI .....	131
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>136</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>136</b>
6.1. Pruebas .....	136
6.1.1. Parámetros a evaluar .....	136
6.1.2. Posicionamiento .....	137
6.1.3. Identificación de color de disco .....	137
6.1.4. Manipulación de discos .....	138
6.1.5. Interfaces de operación .....	139
6.1.6. Movilidad del módulo.....	139
6.2. Análisis de resultados .....	140
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>142</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>142</b>
7.1. Conclusiones .....	142
7.2. Recomendaciones .....	143
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>148</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manipulador .....	6
Figura 2. Robot Industrial.....	6
Figura 3. Volumen de trabajo de un Robot Cartesiano .....	7
Figura 4. Impresora 3D de tres ejes lineales.....	7
Figura 5. Esquema cinemático.....	8
Figura 6. Eje accionado por banda dentada FESTO .....	8
Figura 7. Eje accionado por husillo FESTO .....	9
Figura 8. Motor Eléctrico.....	9
Figura 9. Esquema de motor a pasos .....	10
Figura 10. Servomotor y controlador.....	10
Figura 11. Efecto final de manipulación .....	11
Figura 12. Pinza mecánica .....	11
Figura 13. Ventosa .....	12
Figura 14. Electroimán.....	12
Figura 15. Sensor de nivel .....	13
Figura 16. Sensor capacitivo .....	14
Figura 17. Sensor Inductivo y funcionamiento .....	15
Figura 18. Sensor óptico.....	15
Figura 19. Sensores de registro.....	15
Figura 20. Sensor de color.....	16
Figura 21. Sensor de contraste.....	16
Figura 22. Diagrama conceptual de la aplicación de los PLC's .....	17
Figura 23. Arquitectura PLC Wago .....	18
Figura 24. Control de llenado de botellas desde PLC .....	18
Figura 25. PLC compacto FP0R Panasonic.....	19
Figura 26. PLCopen.....	20
Figura 27. Campos de aplicación de PLCopen .....	20
Figura 28. Control de movimiento con PLCopen.....	21
Figura 29. Bloque de funciones PLCopen en Codesys .....	21
Figura 30. Aplicación sistema de 3 ejes lineales.....	22
Figura 31. Presentación de producto .....	22
Figura 32. Botonera .....	23
Figura 33. Espacio saturado .....	23
Figura 34. Espacio de trabajo libre .....	23
Figura 35. Perfiles modulares .....	23



	xii
Figura 36. Etapas del proceso .....	25
Figura 37. Dispensador de discos.....	26
Figura 38. Discos pintados .....	26
Figura 39. Discos clasificados.....	27
Figura 40. Ejes accionados por banda dentada en paralelo.....	27
Figura 41. Ejes XY en placa base.....	28
Figura 42. Diseño robot cartesiano .....	28
Figura 43. Espacio de trabajo del módulo .....	29
Figura 44. Vista frontal y vista superior del área de trabajo.....	29
Figura 45. Robot cartesiano del módulo demostrativo .....	30
Figura 46. Festo Positioning Drives .....	31
Figura 47. Sistema en voladizo.....	31
Figura 48. Ejes XYZ en placa base.....	32
Figura 49. Parámetros del sistema eje Z .....	32
Figura 50. Tipo de eje.....	33
Figura 51. Posición de montaje.....	33
Figura 52. Carga y carrera del eje Z .....	34
Figura 53. Tiempo de trabajo .....	34
Figura 54. Accionamiento del eje.....	34
Figura 55. Filtro de selección de ejes.....	35
Figura 56. EPCO .....	35
Figura 57. ESBF .....	35
Figura 58. EGSL.....	35
Figura 59. Familia de productos.....	36
Figura 60. Características especiales .....	36
Figura 61. Filtro de selección servomotores y controladores .....	37
Figura 62. EMME-AS.....	37
Figura 63. EMMS-AS.....	37
Figura 64. EMMS-ST .....	37
Figura 65. Modelos de servomotores.....	38
Figura 66. Alimentación controlador de servomotores .....	38
Figura 67. Parámetros para Guía .....	39
Figura 68. Perfil de movimiento .....	39
Figura 69. Parámetros del perfil de movimiento .....	40
Figura 70. Gráfico del perfil de movimiento.....	40
Figura 71. Resultados.....	41
Figura 72. Lista de resultados.....	41

Figura 73. Resumen de equipos .....	41
Figura 74. Resumen de perfil de movimiento .....	42
Figura 75. Características de servomotor y controlador .....	42
Figura 76. Códigos del fabricante .....	43
Figura 77. Resumen de equipos .....	43
Figura 78. Resumen en PDF .....	44
Figura 79. Periféricos para ejes accionados por husillo en voladizo .....	44
Figura 80. Eje EGSL.....	45
Figura 81. EMMS-AS-40.....	46
Figura 82. Montaje en paralelo en eje EGSL .....	46
Figura 83. Cable de motor Festo .....	47
Figura 84. Cable de motor Festo .....	47
Figura 85. Sensores de proximidad Festo.....	48
Figura 86. Placa para fijación de ejes YZ.....	49
Figura 87. Ejes XY en placa base.....	49
Figura 88. EGC-BS.....	50
Figura 89. EGSK.....	50
Figura 90. EGSP.....	50
Figura 91. Resumen en PDF Eje Y.....	51
Figura 92. Periféricos para ejes accionados por husillo .....	52
Figura 93. Eje EGC-BS.....	53
Figura 94. EMMS-AS-55.....	53
Figura 95. Montaje en paralelo en eje ESBF.....	54
Figura 96. Mecanismo de montaje en paralelo .....	54
Figura 97. Final de carrera en eje accionado por husillo .....	55
Figura 98. Uniones para sistemas de dos grados de libertad Festo.....	56
Figura 99. Eje Y con carro perpendicular al plano XY.....	56
Figura 100. EGC-TB.....	58
Figura 101. ELGA-TB .....	58
Figura 102. ELGR.....	58
Figura 103. Resumen en PDF Eje X.....	59
Figura 104. Periféricos para ejes accionados por banda dentada.....	59
Figura 105. Eje EGC-TB.....	60
Figura 106. Ejes accionados por banda dentada en paralelo.....	60
Figura 107. EMMS-AS-55.....	61
Figura 108. Montaje lateral .....	61
Figura 109. Conjunto de fijación del servomotor .....	62

Figura 110. Final de carrera en eje accionado por banda dentada .....	62
Figura 111. Sensor inductivo para ranura .....	63
Figura 112. Fijación para perfil en eje lineal.....	63
Figura 113. Electroimán.....	64
Figura 114. Garra magnética al extremo inferior del eje Z .....	65
Figura 115. Cadenas porta cables Igus .....	65
Figura 116. Cadenas porta cables montadas en el robot cartesiano.....	66
Figura 117. Cadena Porta cables .....	66
Figura 118. Concentrador de señales Festo .....	67
Figura 119. Concentrador de señales Festo .....	67
Figura 120. Estructura de perfiles mecánicos .....	68
Figura 121. Perfil ranurado Festo .....	68
Figura 122. Sección de base ranurada sistema 8 .....	69
Figura 123. Sistema de despacho e identificación de discos .....	69
Figura 124. Sistema de dispensador de discos.....	70
Figura 125. Perfil ranurado Festo .....	70
Figura 126. Sección de base ranurada sistema 5 .....	71
Figura 127. Dimensiones discos .....	71
Figura 128. Diseño disco azul.....	72
Figura 129. Diseño disco naranja .....	72
Figura 130. Diseño dispensador de discos .....	72
Figura 131. Fórmula sector circular.....	73
Figura 132. Vista frontal dispensador.....	74
Figura 133. Vista superior dispensador.....	74
Figura 134. Sensor inductivo Sick.....	76
Figura 135. Sensor inductivo en placa de fijación .....	77
Figura 136. Sensor color Sick.....	78
Figura 137. Plano sensor color Sick.....	78
Figura 138. Sensor de color en placa de fijación.....	79
Figura 139. Fijaciones entre robot cartesiano y placa de dispensador .....	79
Figura 140. Vista frontal y lateral de fijaciones para placas ranuradas.....	80
Figura 141. Plan eléctrico parcial PLC CECX FESTO .....	80
Figura 142. Controlador CMMP-AS .....	81
Figura 143. Esquema cableado CANopen .....	82
Figura 144. Cable CFBUS Igus.....	82
Figura 145. Interfaz I/O necesario para bus de campo.....	83
Figura 146. Resistencia de terminación CANopen.....	83

Figura 147. Vista frontal de CMMP-AS .....	84
Figura 148. PLC CECX.....	85
Figura 149. Controlador CECX .....	85
Figura 150. PLCOpen Motion Control .....	86
Figura 151. Concepto Softmotion Festo.....	86
Figura 152. Esquema de conexión CAN con PLC.....	87
Figura 153. Resistencia de terminación en conectores .....	87
Figura 154. Diagrama eléctrico parcial entradas digitales .....	87
Figura 155. Módulo I/O digitales .....	88
Figura 156. Relé .....	89
Figura 157. Fuente de alimentación.....	90
Figura 158. Borneras Cage Clamp .....	90
Figura 159. Bornera dos polos.....	91
Figura 160. Bornera tres polos.....	91
Figura 161. Bornera cuatro polos.....	91
Figura 162. Puentes contiguos .....	91
Figura 163. Bornera de tierra.....	92
Figura 164. Bornera sin conexión entre polos.....	92
Figura 165. Porta fusible insertable .....	92
Figura 166. Robot cartesiano.....	93
Figura 167. Engranaje planetario reductor 5:1 .....	94
Figura 168. Conexión en paralelo Eje Y.....	94
Figura 169. Carro Eje Y .....	95
Figura 170. Montaje en paralelo de eje Z.....	95
Figura 171. Transmisión por banda dentada eje Z.....	96
Figura 172. Conexión cables motor y encoder.....	96
Figura 173. Conexiones de motor en caja de motor.....	97
Figura 174. Instalación de sensor final de carrera y leva de conmutación .....	97
Figura 175. Montaje de la garra magnética.....	98
Figura 176. Cadenas porta cables Ejes XY y Ejes YZ .....	98
Figura 177. Acumulador de señales en base ranurada.....	99
Figura 178. Construcción dispensador.....	99
Figura 179. Dispensador pintado .....	100
Figura 180. Machuelado .....	100
Figura 181. Fijación de sensores .....	101
Figura 182. Discos pintados .....	101
Figura 183. Borneras placa de control .....	102

Figura 184. Conexión eléctrica en sistema de suministro e identificación .....	102
Figura 185. Diagrama eléctrico parcial sensores identificación .....	103
Figura 186. Botonera módulo demostrativo .....	103
Figura 187. Festo configuration tool.....	104
Figura 188. Selección de controlador y firmware .....	105
Figura 189. Selección de servomotor.....	105
Figura 190. Selección de eje accionado por banda dentada.....	106
Figura 191. Resumen de selección de componentes.....	106
Figura 192. Selección CANopen.....	107
Figura 193. Selección orientación de montaje .....	107
Figura 194. Constantes de control .....	108
Figura 195. Posición actual.....	108
Figura 196. Tope .....	108
Figura 197. Final de carrera.....	109
Figura 198. Interruptor de referencia.....	109
Figura 199. Método de referencia .....	109
Figura 200. Configuración de comunicación .....	110
Figura 201. Micro interruptores de comunicación.....	110
Figura 202. Diagrama secuencial .....	111
Figura 203. Secuencia principal.....	113
Figura 204. Preparación del robot.....	114
Figura 205. Encendido de motores parcial.....	114
Figura 206. Encender_motores – Bloques de funciones .....	115
Figura 207. Homing - Parcial .....	115
Figura 208. Homing – Bloques de funciones.....	115
Figura 209. Grafcet identificación y cálculo de posiciones .....	116
Figura 210. Verificación totalizador de discos .....	117
Figura 211. Identificación y cálculo de posiciones parcial .....	117
Figura 212. Grafcet Movimientos .....	119
Figura 213. Bloques de funciones movimiento absoluto .....	120
Figura 214. Librerías control de movimiento .....	121
Figura 215. Proyecto nuevo .....	121
Figura 216. Selección de target .....	122
Figura 217. Festo Field Device Tool .....	122
Figura 218. Configuración Comunicación .....	123
Figura 219. Configuración PLC.....	123
Figura 220. Bus Interface.....	124

Figura 221. Agregar grupo de ejes .....	124
Figura 222. Parámetros comunicación CANopen .....	124
Figura 223. Agregar ejes electromecánicos .....	125
Figura 224. Parámetros mecánicos del eje .....	125
Figura 225. Árbol del programa en Codesys.....	126
Figura 226. Combinación de lenguajes de programación en Codesys.....	126
Figura 228. Configuración de ejecución de la tarea .....	127
Figura 229. Vincular programa con la tarea .....	128
Figura 230. Selección programa .....	128
Figura 231. Configuración módulo adicional .....	128
Figura 232. Asignación de direcciones de memoria.....	129
Figura 233. Botonera de usuario.....	130
Figura 234. Interfaz HMI en CoDeSys .....	130
Figura 235. Etiquetas para botonera.....	131
Figura 236. Distribución HMI .....	133
Figura 237. HMI - Indicadores.....	134
Figura 238. HMI - Pulsadores .....	134
Figura 239. HMI - Proceso .....	135
Figura 240. HMI - Alarmas .....	135
Figura 241. HMI – Variables de proceso .....	135
Figura 242. HMI – Logotipo, fecha y hora .....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulos con espacios saturados .....	23
Tabla 2. Ventajas sobre necesidades del proceso .....	24
Tabla 3. Actuadores lineales Festo en voladizo .....	35
Tabla 4. Motores Festo .....	37
Tabla 5. Actuador Eje Z .....	45
Tabla 6. Servomotor Eje Z .....	46
Tabla 7. Sensores Festo .....	48
Tabla 8. Peso conjunto mecánico eje Z .....	50
Tabla 9. Parámetros dimensionamiento eje Y .....	50
Tabla 10. Actuadores lineales Festo en pórtico, accionados por tornillo sinfín .....	50
Tabla 11. Perfil de movimientos eje Y .....	51
Tabla 12. Actuador Eje Y .....	53
Tabla 13. Servomotor Eje Y .....	53
Tabla 14. Peso conjunto mecánico eje Y y Z .....	57
Tabla 15. Parámetros dimensionamiento eje X .....	57
Tabla 16. Actuadores lineales Festo en pórtico, accionados por banda dentada .....	58
Tabla 17. Perfil de movimientos eje X .....	58
Tabla 18. Actuadores Eje X .....	60
Tabla 19. Servomotor Eje X .....	61
Tabla 20. Características Electroimán .....	64
Tabla 21. Cadenas porta cables .....	66
Tabla 22. Concentrador de señales .....	67
Tabla 23. Base ranurada robot cartesiano .....	68
Tabla 24. Base ranurada sistema de identificación .....	70
Tabla 25. Necesidades sensor de presencia .....	76
Tabla 26. Sensor inductivo para identificación .....	76
Tabla 27. Necesidades sensor de registro .....	77
Tabla 28. Sensor de color para identificación .....	78
Tabla 29. Controlador de servomotor .....	81
Tabla 30. Protecciones de red necesarias .....	84
Tabla 31. Controlador lógico programable .....	85
Tabla 32. Módulo de entradas y salidas PLC .....	88
Tabla 33. Relés 24 VDC .....	89
Tabla 34. Fuente de alimentación 24 VDC .....	90
Tabla 35. Borneras .....	91



Tabla 36. Métodos de referencia .....	108
Tabla 37. Configuración ejes módulo demostrativo.....	111
Tabla 38. Secuencias y subrutinas .....	112
Tabla 39. Coordenadas y velocidades de movimientos .....	118
Tabla 40. Direcciones entradas y salidas digitales.....	129
Tabla 41. Indicadores GEDIS .....	132
Tabla 42. Parámetros a evaluar del proceso.....	136
Tabla 43. Resultados evaluación del posicionamiento.....	137
Tabla 44. Resultados evaluación de identificación de color de disco .....	138
Tabla 45. Resultados evaluación de manipulación de discos .....	138
Tabla 46. Resultados evaluación de interfaces de operación .....	139
Tabla 47. Resultados evaluación de movilización del módulo.....	140

## **RESUMEN**

La empresa Ecuainsetec requiere presentar a sus clientes la gama de actuadores electromecánicos y controladores de la marca Festo, la cuál representa desde hace más de veinte años. La implementación de un módulo demostrativo mostrará las principales ventajas y características de ejes accionados por husillo, banda dentada, servomotores, entre otros. La combinación de tres ejes lineales configurados como un robot cartesiano deja resaltar al máximo los controladores de múltiples ejes que Festo ha desarrollado. La integración del movimiento del robot cartesiano con sensores de identificación y presencia, permite realizar un proceso de clasificación de objetos por color. Una garra magnética moviliza discos de acero entre varios puntos del volumen de trabajo del robot. La utilización de un entorno de programación de PLC que integre todos los lenguajes estandarizados en la norma IEC 61131-3 permite al cliente ver las facilidades que estos controladores brindan. Se destaca la compatibilidad de librerías genéricas para control de movimiento, como las pertenecientes a PLCopen, con el PLC perteneciente a Festo. El módulo demostrativo se basa en programación secuencial de manera que el flujo del programa es fácilmente entendido por cualquiera de los técnicos de Ecuainsetec.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ROBOT CARTESIANO**
- **SERVOMOTORES**
- **EJES ACCIONADOS POR BANDA DENTADA**
- **EJES ACCIONADOS POR HUSILLO**
- **PROGRAMACIÓN SECUENCIAL PLC**
- **IEC 61131-3**

## **ABSTRACT**

Ecuainsetec needs to present Festo's electromechanical drives to their clients so they can implement them in their automation projects. A demo built with toothed belt axes, spindle axes and servo motors will show, in a small process, the benefits this products have. A gantry robot configuration with multi axes motor controllers can perform synchronize movements highlighting the control features of this drives. Color and presence sensors are integrated to full fill an objects classification process. An end effector such as an electromagnet, pick and place steel disks to the desire positions. An industrial IEC 61131-3 PLC programming development system shows to their clients how several languages can be integrated in a single application. The compatibility between motion control libraries from a product-independent association such us PLCopen and Festo PLC's is presented. This demo is based on sequential programing so it turns easy for other technicians to understand it.

### **KEYWORDS:**

- **GANTRY ROBOT**
- **SERVO MOTOR**
- **TOOTHED BELT AXES**
- **SPINDLE AXES**
- **PLC SEQUENTIAL PROGRAMMING**
- **IEC 61131-3**

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes

La empresa Ecuainsetec surge como una solución para las necesidades de automatización industrial en el ámbito nacional. Su nombre, proviene de las palabras ingeniería y servicios, las cuales describen su trabajo a lo largo de más de veinte años. En esta empresa se complementa la realización de proyectos de automatización con la realización de capacitaciones y exposiciones técnicas, mostrando la tecnología de más alta gama de las marcas que representa.

Festo, empresa líder en técnicas de automatización industrial a nivel mundial, es representada por Ecuainsetec en todo el Ecuador. Los más de 30000 productos con los que cuenta esta marca, constituyen un factor de gran importancia para el éxito en las soluciones de ingeniería que se brinda a las empresas con las que se trabaja.

Dentro de esta gama de productos, se presenta una nueva alternativa a los clásicos y reconocidos sistemas neumáticos que esta empresa ha comercializado. La implementación de técnicas de accionamiento eléctrico, brinda servomotores, controladores especializados en control de movimiento y una amplia gama de ejes y conjuntos mecánicos para un trabajo más eficiente.

Ecuainsetec, dentro de sus actividades, busca mostrar estos productos como una alternativa más eficiente para resolver los problemas de automatización que presenta la industria ecuatoriana. La construcción de módulos demostrativos ha facilitado la inclusión de nuevos sistemas en procesos de diferentes ámbitos. El denominado "Expotainer", un camión equipado para muestras móviles, visita diferentes compañías permitiendo ver el desarrollo de nuevos sistemas autómatas.

Debido a todos estos factores, la empresa busca la construcción de un nuevo módulo demostrativo con funciones de identificación y clasificación de

colores a través de un robot cartesiano basado en actuadores y controladores FESTO, complementándolos con elementos de las distintas marcas que representan.

## **1.2. Definición del problema**

Ecuainsetec busca mostrar y comercializar estos controladores y actuadores eléctricos como una alternativa para resolver los problemas de automatización que presenta la industria ecuatoriana. Un módulo demostrativo integrará a productos Festo con otras marcas representadas por esta empresa ecuatoriana, simulando un proceso de identificación y clasificación. De esta forma sus clientes buscarán estos componentes para resolver las necesidades de sus diferentes procesos industriales.

## **1.3. Justificación**

La importancia de un robot industrial viene desde su definición. La Organización Internacional de Estándares (ISO) define a los robots industriales como manipuladores multifuncionales reprogramables capaces de operar herramientas, piezas, etc. Esta definición muestra la versatilidad que tienen estos elementos en la industria. Al ser capaces de realizar diferentes funciones, nos muestran su habilidad para adaptarse a los múltiples procesos existentes.

La presentación de un modelo de robot cartesiano por parte de la empresa Ecuainsetec, incentiva a sus clientes en la adquisición de estos equipos ya que se muestran las ventajas que podrían aplicarse en sus líneas de producción.

El robot cartesiano posee tres grados de libertad y realiza movimientos lineales. De esta forma su envolvente consiste en un prisma. Los movimientos de este se realizan a través de interpolaciones lineales.

Este tipo de robot simplifica el control de movimientos debido a su configuración mecánica. Las principales aplicaciones de estos robots son procesos de almacenaje y sistemas de control numérico.

La utilización de estos dispositivos son atractivos para la industria ya que mejoran el tiempo de los procesos y la calidad de productos. En cuanto a seguridad para los operadores, estos dispositivos también son de gran importancia debido a que reemplazan al ser humano en tareas de alto peligro.

#### **1.4. Alcance**

El módulo demostrativo identificará y clasificará elementos por color simulando un proceso real. De esta forma, integrará el control de movimiento del robot, con la utilización de sensores y un manipulador electromagnético.

El proceso cuenta con tres etapas: suministro de elementos a clasificarse, identificación del color del elemento y clasificación del mismo. El robot tendrá tres grados de libertad, todos lineales, uno por cada eje. El manipulador electromagnético debe tomar los elementos desde la posición de suministro hasta la posición de clasificación sin desorientarlos o dejarlos caer. Los elementos a ser manipulados no deben superar los 500 [g].

El proceso será accionado por un operador de manera sencilla y rápida, evitando configuraciones que alarguen la presentación del módulo demostrativo. Existirán dos opciones de trabajo, desde una visualización o desde una botonera. Desde el HMI se podrán visualizar las siguientes funciones:

- Encendido y paro del sistema
- Despliegue de posiciones del manipulador cartesiano
- Selección de ubicación para ordenar los objetos según parámetros aceptados por en el proceso.

El sistema será modular de manera que se lo pueda desarmar con facilidad para almacenarlo y transportarlo para cada presentación del producto. El módulo debe ser trasladado en dos cajas de las siguientes dimensiones:

- Alto: 700 [mm]
- Largo: 1000 [mm]
- Ancho: 700 [mm]

Se programará el módulo demostrativo en un controlador lógico programable integrando varios lenguajes de programación de la norma IEC-61131-3 y librerías de control de movimiento desarrolladas por PLCopen. Se utilizará CANOpen para comunicación con los controladores de servomotores.

### **1.5. Objetivo general**

Construir y programar un módulo demostrativo de un robot cartesiano de tres grados de libertad para clasificación de objetos por color utilizando elementos electromecánicos y de control FESTO, para un módulo demostrativo de la empresa Ecuainsetec Cia Ltda.

### **1.6. Objetivos Específicos**

Alcanzar con el manipulador electromagnético las posiciones establecidas desde la programación sin tener trayectorias no deseadas o peligrosas para los equipos.

Realizar un módulo desmontable para un fácil almacenamiento y movilidad del mismo dentro de la caja en donde debe ser transportado.

Seleccionar un manipulador electromagnético para movilizar y sujetar los elementos a clasificarse.

Diseñar y construir un dispensador de elementos que asegure ubicar los objetos en una posición fija en donde el sistema pueda identificarlos y el robot cartesiano manipularlos.

Estructurar el programa del controlador lógico programable de manera secuencial integrando los distintos lenguajes de programación presentes en la IEC 61131-3 mostrando las ventajas del entorno Codesys utilizado en PLC's FESTO.



## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Manipulador

Un manipulador es una máquina que consiste en un mecanismo formado de una serie de eslabones y articulaciones para agarrar y mover objetos en varios grados de libertad. Un manipulador no incluye un efector final. (Organización Internacional de Normalización, 2012)

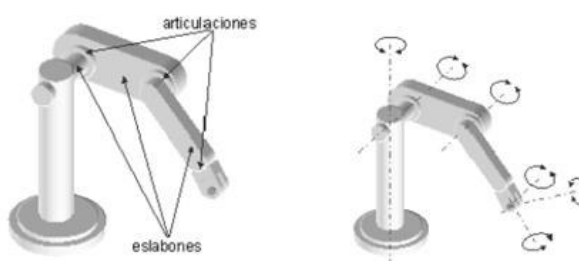


Figura 1. Manipulador

Fuente: (Guitierrez, 2014)

#### 2.1.1. Robot industrial

Los robots industriales se definen como manipuladores multifuncionales programables en tres o más ejes que pueden ser fijos o móviles para su uso en aplicaciones de automatización industrial. (Organización Internacional de Normalización, 2012)

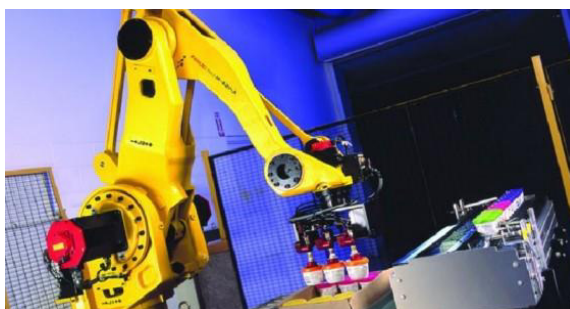


Figura 2. Robot Industrial

Fuente: (Innova, 2014)

El robot industrial se forma de:

- El manipulador, incluye a los actuadores

- El controlador, cualquier interface entre software y hardware.

### 2.1.2. Robot cartesiano

El robot cartesiano es un manipulador robótico formado por tres articulaciones prismáticas con ejes ortogonales entre sí. De esta manera forma un volumen de trabajo prismático. (González J. A., 2015)

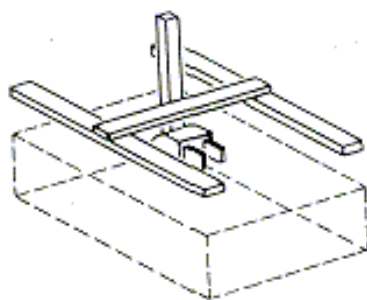


Figura 3. Volumen de trabajo de un Robot Cartesiano

Fuente: (González, 2003)

### 2.1.3. Aplicaciones

Los robots cartesianos son utilizados para manipulación de piezas, operaciones de manufactura como fresadoras y taladros, operaciones de soldadura, corte laser, impresión 3D o prototipado rápido, entre otras. (Menéndez Poo, 2008)

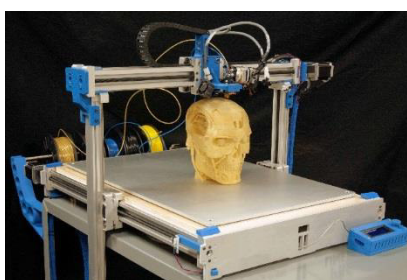


Figura 4. Impresora 3D de tres ejes lineales

Fuente: (Beck, 2016)

### 2.1.4. Ventajas

La morfología del robot cartesiano facilita el control del mismo. Se tiene directamente la posición en coordenadas cartesianas desde la ubicación de cada actuador lineal. No existen rotaciones por lo que los movimientos del

mismo son solo a través de traslaciones. El costo computacional en el control de este tipo de manipuladores es menor que en otras configuraciones.

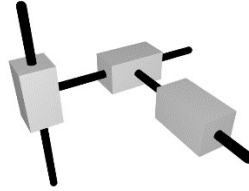


Figura 5. Esquema cinemático

Fuente: (Smolenski, s.f.)

## 2.2. Accionamiento de ejes lineales

Los mecanismos de transmisión de movimientos utilizados en robots cartesianos son generalmente accionados por husillo o por banda dentada. Estos generan el desplazamiento lineal transmitido desde un motor a pasos o un servomotor.

### 2.2.1. Ejes accionados por banda dentada

Los actuadores lineales accionados por banda dentada tienen una gran velocidad de avance. Por lo general ofrecen carreras más largas que un eje accionado por tornillo sinfín. Su dinámica se resalta como su principal característica. (Schneider Electric, 2008)

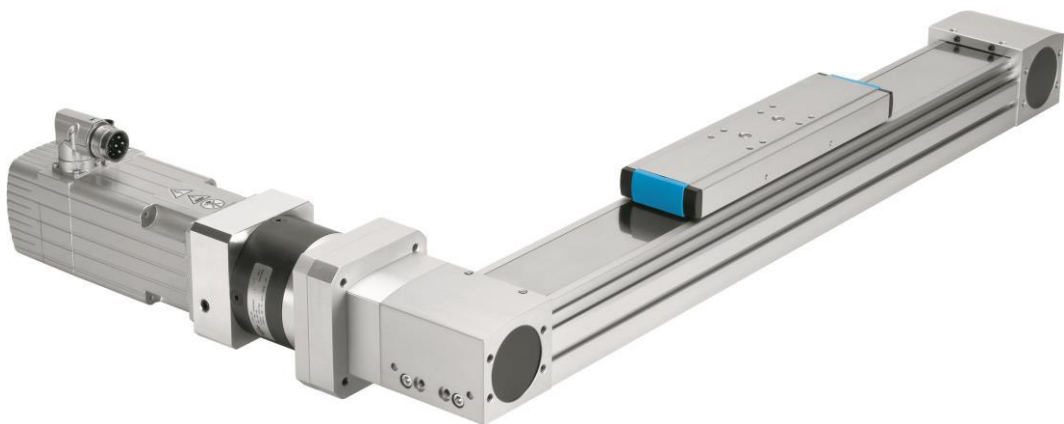


Figura 6. Eje accionado por banda dentada FESTO

Fuente: (Haug, 2011)

### 2.2.2. Ejes accionados por husillo

Los ejes accionados por husillo son actuadores precisos de movimientos homogéneos. Estos elementos generan una mayor fuerza de avance gracias a la configuración de tornillo sinfín. La precisión y la repetibilidad son las mejores características de este mecanismo.



Figura 7. Eje accionado por husillo FESTO

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2009)

### 2.3. Motores eléctricos

La definición más simple de un motor eléctrico es un actuador que transforma energía eléctrica a energía mecánica, girando su eje al conectar un suministro eléctrico. (Maloney, 2006) Algunas aplicaciones son la apertura y cierre de válvulas, el posicionamiento mediante servomecanismos, y aplicaciones que necesiten variaciones de velocidad.



Figura 8. Motor Eléctrico

Fuente: (Patino, 2015)

#### 2.3.1. Motores a pasos

Los motores a pasos son conocidos como motores de conmutación electrónica. Estos actuadores no tienen escobillas ni conmutador mecánico

sino un grupo de imanes permanentes con polos salientes en el rotor. (Maloney, 2006) El accionamiento del motor se da a través de transistores externos.

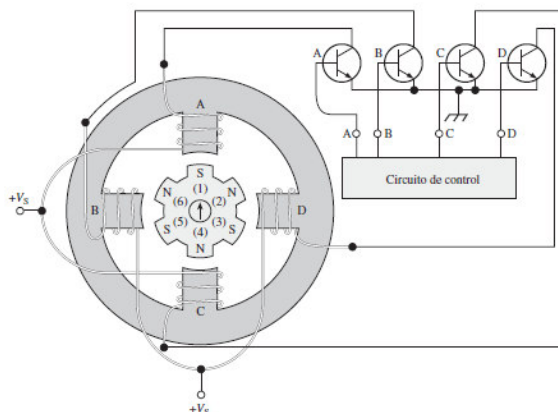


Figura 9. Esquema de motor a pasos

Fuente: (Maloney, 2006)

### 2.3.2. Servomotor

Un servomotor es el conjunto de un motor eléctrico y un sensor de posición angular. Gracias a esta retroalimentación se pueden aplicar sistema de control de posición, velocidad y aceleración.



Figura 10. Servomotor y controlador

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Los servomotores pueden trabajar con corriente continua y con corriente alterna. Estos actuadores utilizan controladores de movimiento para obtener el posicionamiento deseado. (Sepúlveda Lozano, 2012) Dependiendo de la

tecnología del motor, los controladores pueden ser variadores de frecuencia o moduladores de ancho de pulso.

## 2.4. Efecto final

El efecto final es una herramienta que se aplica en el extremo de un robot para realizar cierta tarea específica del proceso. Existen varios tipos de efectos finales dependiendo de la aplicación que se desee realizar.

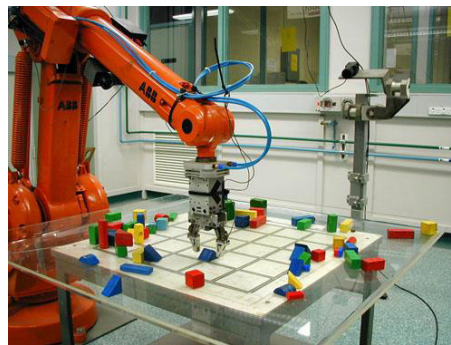


Figura 11. Efecto final de manipulación

Algunas de las aplicaciones son soldadura, corte, maquinado, manipulación de objetos, entre otros. Los efectos finales para manipulación son pinzas, ventosas y electroimanes en la mayoría de aplicaciones.

### 2.4.1. Pinzas

Las pinzas o garras mecánicas se utilizan para tomar un objeto descrito como la pieza de trabajo y sujetarlo durante el ciclo de trabajo. Pueden ser de accionamiento neumático o eléctrico siendo el neumático el más sencillo y de menor costo. (Ibarra, 2015)



Figura 12. Pinza mecánica

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Las pinzas deben dimensionarse en función del peso, forma, tamaño y fuerzas externas que tiene la pieza de trabajo. Esto se debe a que se buscará mantener un equilibrio estático durante el traslado del objeto.

### 2.4.2. Ventosas

Las ventosas utilizan el vacío para tomar objetos y son utilizadas principalmente en objetos planos y de superficies lisas. La selección de la ventosa considera la superficie, la forma del objeto y el material de la pieza de trabajo. (Ibarra, 2015)



Figura 13. Ventosa

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

### 2.4.3. Garra magnética

Las garras magnéticas producen una atracción entre el efector final y la pieza de trabajo mediante la activación de un electroimán. Debido a su principio de funcionamiento se limitan a trabajar con objetos metálicos y de naturaleza ferromagnética. (Ibarra, 2015)



Figura 14. Electroimán



Fuente: (Electrocrea, 2016)

## 2.5. Sensores

Un sensor es un dispositivo que recibe un estímulo y responde con una señal eléctrica. En donde un estímulo es la cantidad, propiedad o condición que después de ser recibida se convertirá en una señal eléctrica. (Fraden, 2010)



Figura 15. Sensor de nivel

Fuente: (IFM, 2016)

Dentro de los sensores se pueden realizar mediciones de distintas magnitudes. Se los puede dividir en varios grupos. Estos son algunos de esos grupos:

- Sensores de posición
- Sensores de registro
- Sensores de temperatura
- Sensores de presión
- Sensores de nivel
- Sensores de velocidad
- Entre otros

### 2.5.1. Sensor de posición

Los sensores de posición se encargan de determinar las coordenadas de un objeto respecto a un punto de referencia. La medición de posición en distancias críticas se conoce como proximidad. De esta manera, un sensor de posición por lo general entrega una salida lineal la cual representa la distancia al objeto, mientras que los de proximidad generan una salida cuando un objeto alcanzó una distancia establecida. (Fraden, 2010)

### 2.5.1.1. Sensor capacitivo

Los sensores capacitivos trabajan en función al cambio de geometría o la variación de capacitancia dada por la propiedad dieléctrica de cada material. Estos sensores son atractivos en muchas aplicaciones debido a que pueden trabajar con la mayoría de materiales. Sin embargo son más eficientes al trabajar con conductores eléctricos. (Fraden, 2010)



Figura 16. Sensor capacitivo

Fuente: (IFM, 2016)

### 2.5.1.2. Sensor inductivo

Los sensores inductivos miden la distancia de un objeto mediante la alteración del campo magnético generado por la presencia de un objeto ferromagnético. Se basan en el principio de auto inducción. Gracias a esto, se lo usa para detección de objetos sin contacto. Sus limitaciones son el material del objeto y la distancia de medición, ya que solo funcionan con objetos ferromagnéticos y a cortas distancias. (Fraden, 2010)

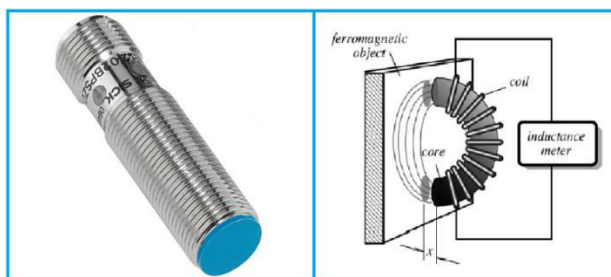


Figura 17. Sensor Inductivo y funcionamiento

Fuente: (Fraden, 2010)

### 2.5.1.3. Sensor óptico

Los sensores ópticos miden el nivel de luz emitida desde el emisor hasta un dispositivo receptor. Estos dispositivos simplifican la selección de tipos de materiales y distancias ya que no se afectan por las cargas de los objetos a detectar y operan en distancias mayores. (Fraden, 2010)



Figura 18. Sensor óptico

Fuente: (Sick AG, 2016)

### 2.5.2. Sensor de registro

Los sensores trabajan en la detección de características en superficies de objetos como color, contraste, brillo, entre otros. Estos sensores trabajan bajo un efecto óptico pero se especializan en ciertas propiedades que ayudan en la gran diversidad de procesos de producción automática. (Sick AG, 2016)



Figura 19. Sensores de registro

Fuente: (Sick AG, 2016)

#### 2.5.2.1. Sensor de color

Los sensores de color reconocen el color de una superficie a través las coordenadas cromáticas de la radiación reflejada al emitirse luz roja, verde o azul sobre un objeto. Algunos sensores almacenan el valor de referencia y al

comparase con el valor medido conmutará la salida si está dentro de una tolerancia definida. Otros sensores transmiten esa magnitud en una variable eléctrica como voltaje o corriente.

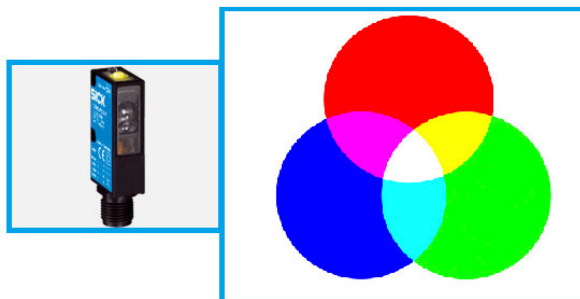


Figura 20. Sensor de color

Fuente: (Sick AG, 2016)

#### 2.5.2.2. Sensor de contraste

Los sensores de contraste detectan la variación en la escala de grises en la superficie del objeto evaluado. Se los utiliza para la detección de marcas en procesos de embalaje y de impresión. Pueden tener salidas de conmutación al permitir registrar valores de referencia o de manera analógica con variables eléctricas como voltaje o corriente. (Sick AG, 2016)

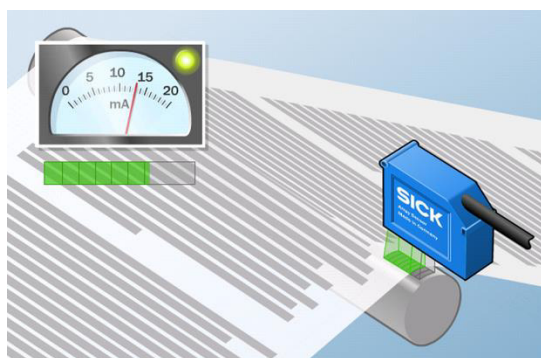


Figura 21. Sensor de contraste

Fuente: (Sick AG, 2016)

### 2.6. Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable o PLC por sus siglas en inglés, es un computador de estado sólido que usa circuitos integrados en vez de dispositivos electromecánicos para implementar funciones de control. (Bryan,

1997) Es también considerado un computador robusto por la resistencia que tiene en ambientes industriales.

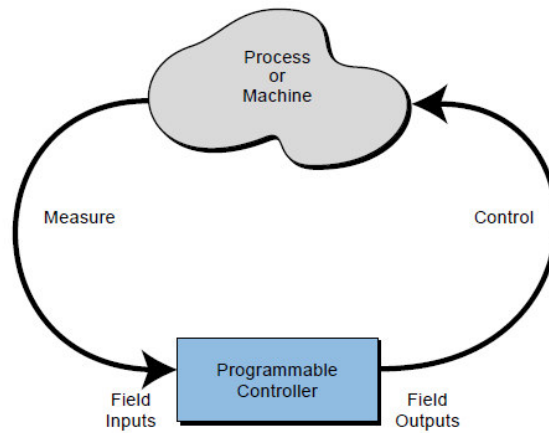


Figura 22. Diagrama conceptual de la aplicación de los PLC's

Fuente: (Bryan, 1997)

### 2.6.1. Arquitectura de un PLC

La arquitectura del PLC describe la estructura externa del equipo. Siguiendo esta clasificación de componentes se puede analizar las funciones que puede cumplir el controlador. Se forma de los siguientes elementos:

- Fuente de poder: Usualmente trabajan a 110 [VAC] o 24 [VDC].
- CPU
- Módulos de entradas y salidas
- Interfaz de programación
- Módulos especiales

Fuente: (Rojas Cubides, Automatización industrial mediante PLC's, 2009)

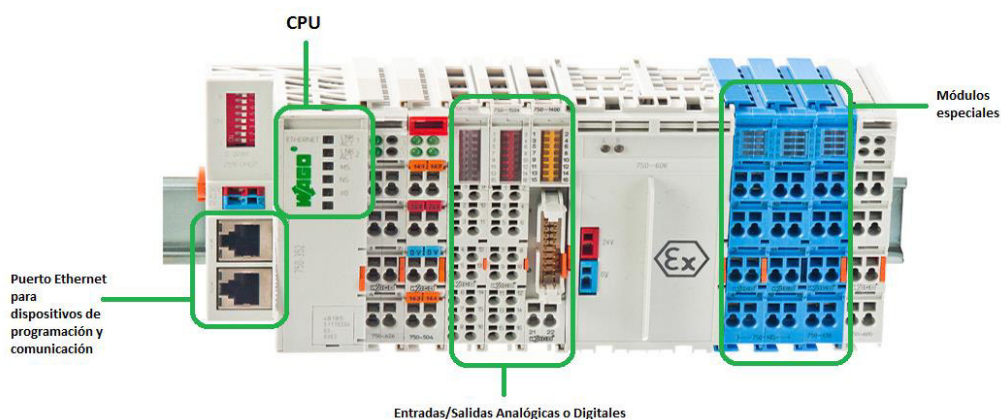


Figura 23. Arquitectura PLC Wago

### 2.6.2. Aplicaciones

Las aplicaciones de un PLC son variadas dentro del ambiente industrial. Los controladores lógicos programables se aplican en el control de procesos industriales de cualquier campo. Inicialmente reemplazaron circuitos electromecánicos pero en la actualidad se adaptan a cualquier tipo de control de procesos.

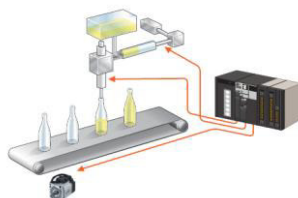


Figura 24. Control de llenado de botellas desde PLC

Fuente: (Omron, 2016)

### 2.6.3. Ventajas

El uso de un PLC va de acuerdo a cada tipo de aplicación. Por lo general, los autómatas son modulares, de manera que pueden ampliarse a la medida de la aplicación. De un buen dimensionamiento del equipo se optimizará tanto recursos económicos como de producción.

Las principales ventajas del uso de PLC's son:

- Flexibilidad en el control de procesos.
- Facilidad de programación.

- Trabajo en espacio reducido.
- Monitoreo del funcionamiento.
- Posibilidad de modificación del control sin elevar costos.
- Menor costo de instalación, operación y mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varios actuadores desde un mismo equipo.

Fuente: (Rojas Cubides, Automatización Industrial mediante PLC's, 2009)

Como desventajas se resaltan dos principalmente, la necesidad de mano de obra especializada para su manejo y el alto costo en procesos pequeños. Estas desventajas se hacen cada vez más pequeñas con el avance de la tecnología. Las interfaces de programación son cada vez más amigables y estandarizadas como el entorno CoDeSys. De igual manera existen autómatas de bajo costo y gran funcionalidad como la línea FP0R de Panasonic.



Figura 25. PLC compacto FP0R Panasonic

Fuente: (Panasonic, 2016)

## 2.7. PLCopen

PLCopen es una organización que trabaja en crear una mayor eficiencia en el desarrollo de software para aplicaciones. Esta organización busca reducir costos y tiempos de programación al estandarizar librerías para diferentes campos de aplicación. (PLCopen, 2016)

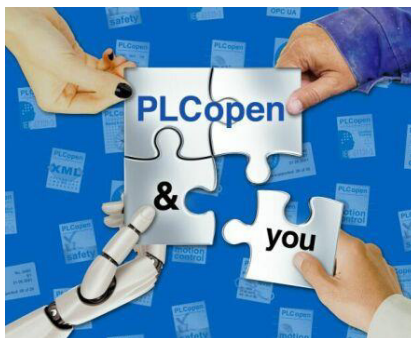


Figura 26. PLCopen

Fuente: (PLCopen, 2016)

Algunas de las aplicaciones en las que se trabaja con PLCopen son control de movimiento, funciones de seguridad, intercambio de información en XML, comunicación OPC UA, entre otros.

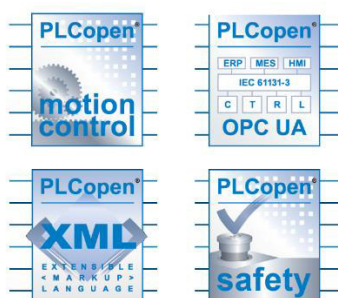


Figura 27. Campos de aplicación de PLCopen

Fuente: (PLCopen, 2016)

### 2.7.1. PLCopen Motion Control

PLCopen Motion Control brinda librerías estandarizadas para aplicaciones de control de movimiento que pueden ser reusables en varias plataformas. Gracias a esta familia de especificaciones se reducen los costos de ingeniería, de entrenamiento y capacitación. No está diseñada específicamente para una aplicación pero sirve de base para el desarrollo en múltiples áreas.

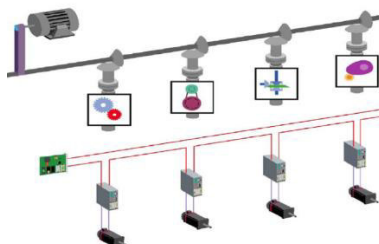




Figura 28. Control de movimiento con PLCopen

Fuente: (PLCopen, 2016)

Se forma de seis partes, esta son:

- Parte 1: Bloques de función para control de movimiento
- Parte 2: Extensión de la Parte 1
- Parte 3: Directrices de usuario
- Parte 4: Movimiento coordinado
- Parte 5: Procedimientos de referencia
- Parte 6: Extensión a sistemas hidráulicos y neumáticos

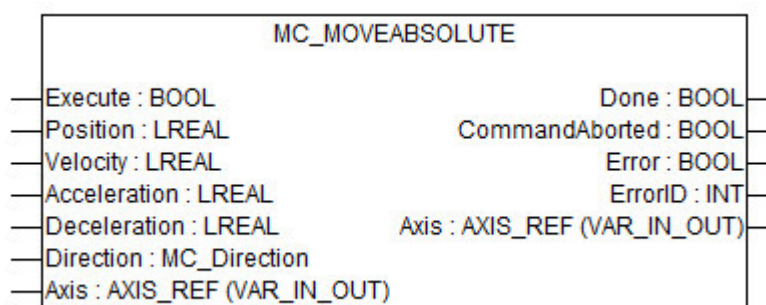


Figura 29. Bloque de funciones PLCopen en Codesys

## CAPÍTULO 3

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La empresa Ecuainsetec Cia Ltda presentó la necesidad de desarrollar un módulo demostrativo para un sistema de tres ejes lineales en la que se pueda resaltar las principales características de los equipos tanto mecánicos como de control que la marca Festo presenta. Al ser un módulo demostrativo, el proceso debe ser llamativo, simple y de fácil operación. El proceso debe ser semejante a aplicaciones reales en la industria.



Figura 30. Aplicación sistema de 3 ejes lineales

Fuente: (Tactital Marcoms, 2010)

El proceso debe ser de corta duración. La aplicación no debe tardar más de dos minutos en ser presentada. El módulo se utilizará en charlas cortas de diez minutos en donde se presentarán características principales de los productos, beneficios y finalmente la demostración física de los equipos.



Figura 31. Presentación de producto

Fuente: (Ecuainsetec Cia Ltda, 2016)

La operación del módulo debe ser sencilla desde una botonera sin necesitar configuraciones previas de los equipos. Deber tener una operación simple y a prueba de errores del usuario.



Figura 32. Botonera



Fuente: (Led Controls Cia Ltda, 2016)

Se presentará la opción de visualización de las variables del proceso en un HMI. Desde aquí se tendrá el mismo control que desde la botonera simplemente se podrán monitorear las posiciones y velocidades de cada eje, entre otros parámetros importantes del módulo.

El sistema no debe incluir muchos componentes que aumenten el peso del módulo y saturen el espacio de trabajo del robot cartesiano.

### Tabla 1.

#### Módulos con espacios saturados

Módulo con demasiados componentes	Módulo sencillo y llamativo
 <p data-bbox="438 1332 710 1400">Figura 33. Espacio saturado Fuente: (Hernando, 2010)</p>	 <p data-bbox="965 1355 1284 1422">Figura 34. Espacio de trabajo libre Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2016)</p>

La arquitectura del sistema debe ser modular. Los equipos deben ser fácilmente desmontables para almacenarlos y transportarlos en cada presentación de producto. La utilización de perfiles de aluminio, tuercas deslizantes son una buena alternativa para sistemas modulares.

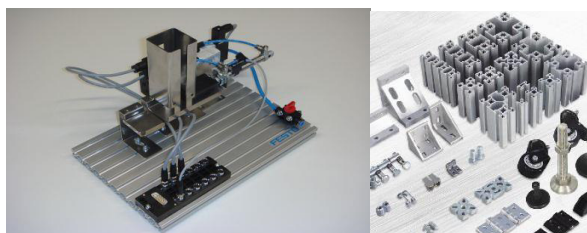


Figura 35. Perfiles modulares

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

### 3.1. Descripción del proceso

Tomando en cuenta las necesidades del sistema se decidió realizar un proceso de ordenamiento de discos de acero por colores. El robot cartesiano es el encargado de manipular estos elementos mediante el uso de una garra magnética. El módulo demostrativo inicia su trabajo de forma sencilla desde una botonera con cuatro pulsadores. Este proceso cumple con todas las necesidades planteadas y se resumen sus ventajas en las siguientes tablas.

**Tabla 2.**  
**Ventajas sobre necesidades del proceso**

Necesidades del proceso	
Necesidades	Características
<b>Llamativo</b>	<p>La utilización de objetos de colores vivos involucra más a los asistentes a las presentaciones de producto.</p> <p>Se puede usar colores característicos de las marcas que la empresa representa para que el módulo se identifique con la compañía.</p>
<b>Simple</b>	<p>Ordenar piezas por colores es un proceso simple que puede ser realizado por un operador. Es la oportunidad para demostrar cómo un sistema de tres ejes lineales puede reemplazar al trabajador siendo más rápido y eficiente.</p>
<b>Fácil operación</b>	<p>El proceso se controla desde una botonera. Los pulsadores se limitan a cada etapa del proceso mediante programación secuencial por lo que no existen fallas por el mal manejo del usuario.</p>
<b>Modular</b>	<p>El sistema se compone de pocos elementos que se acoplan fácilmente a perfiles y tableros ranurados.</p> <p>Los elementos adicionales al robot cartesiano no son móviles. Por esto se facilita el montaje y desmontaje de los mismos.</p>
<b>Bajo número de componentes</b>	<p>Los discos pueden apilarse y suministrarse por efecto de la gravedad. De esta manera no necesitan actuadores adicionales que los sitúe en la posición de identificación.</p> <p>Un solo sensor de color puede distinguir entre dos colores de manera rápida y fiable. Un sensor inductivo detecta fácilmente si existen discos gracias al material.</p> <p>La garra magnética se compone solo de un electroimán y piezas de sujeción del mismo. No necesita alimentación de aire comprimido como las pinzas neumáticas ni vacío como las ventosas. El precio de un electroimán como el que se necesita es muy conveniente.</p>

### 3.1.1. Etapas del proceso

El proceso cuenta con tres etapas:



Figura 36. Etapas del proceso

El operador inicia el proceso desde la botonera. Los discos son depositados manualmente en el dispensador. Una vez detectado un elemento en la posición final del dispensador, se identifica su color. Cuando se conoce a qué grupo pertenece el disco, el robot cartesiano posiciona su manipulador sobre el objeto analizado, lo toma con la garra magnética y lo lleva hasta la zona de clasificación. Aquí se separan los discos según el grupo al que pertenezcan. Al finalizar el proceso, el operario debe limpiar el área de trabajo para reiniciar el sistema.

#### 3.1.1.1. Suministro de discos

Los discos de dos colores se apilan sin ningún orden y manualmente dentro del dispensador. Los discos descansan de forma que la cara circular sea tangente al piso. El dispensador de discos asegura que los mismos se mantengan en esa posición hasta ser manipulados por el robot cartesiano. Las caras laterales de los discos no se ven afectadas por el rozamiento y se disminuye el desgaste de la pintura de los mismos. Mediante el uso de un sensor de presencia, se indica al proceso si ha recibido un elemento en la posición final, de manera que se continúe con la siguiente etapa.

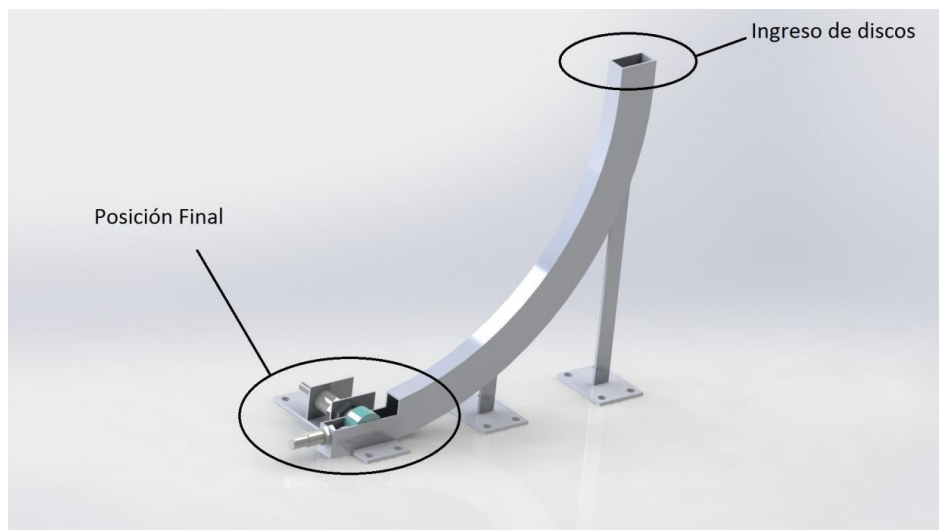


Figura 37. Dispensador de discos

### 3.1.1.2. Identificación de color

El sistema reconoce a qué grupo de color pertenece cada disco. Existen dos colores posibles en los elementos a clasificarse. La identificación de color se realiza desde la zona de suministro de los discos. Los discos se pintan y el área de identificación del color no debe deteriorarse ni perder la pintura para evitar falsos resultados.

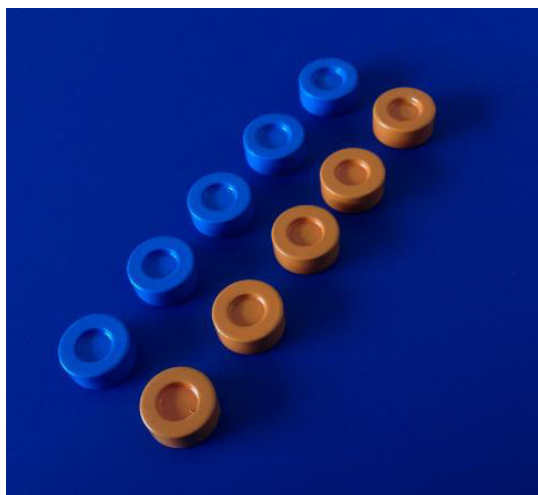


Figura 38. Discos pintados

### 3.1.1.3. Clasificación

En esta etapa los discos son transportados desde la posición final del dispensador de discos hasta el espacio asignado para agruparlos. La ubicación para posicionar cada grupo identificado puede estar separado de

manera que se muestre las distintas velocidades y la precisión con las que trabaja el robot cartesiano.



Figura 39. Discos clasificados

### 3.2. Descripción del robot cartesiano

El módulo demostrativo se centra en la funcionalidad de ejes y actuadores lineales electromecánicos de la marca Festo. Al combinar estos componentes para desarrollar un manipulador robótico la morfología de un robot cartesiano es la mejor opción.

El eje X es la base del sistema. Se tiene una configuración de pórtico por lo que se utilizan dos actuadores paralelos sobre los que monta el eje Y y sobre él el eje Z.

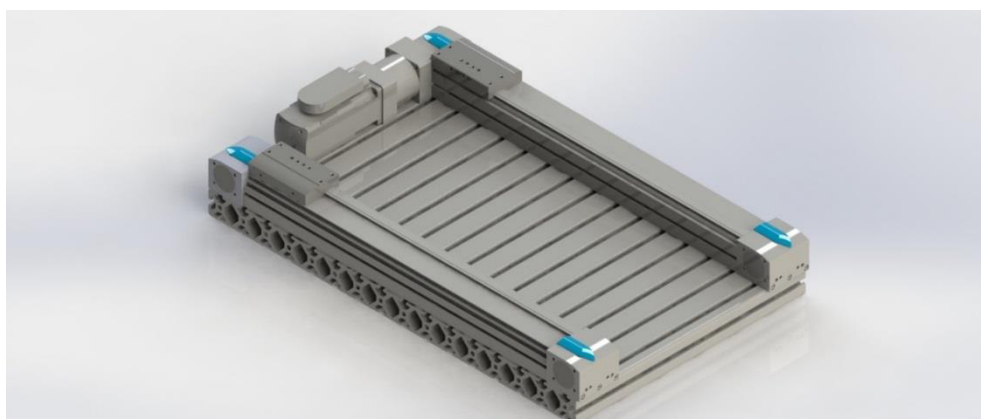


Figura 40. Ejes accionados por banda dentada en paralelo

Un servomotor produce la fuerza motriz para el movimiento de uno de los ejes. El otro eje funciona como guía al tener un carro deslizante sobre guía de bolas.

El eje Y trabaja sobre los carros de los actuadores del eje X. Es un eje tipo pórtico ya que sobre su cuerpo se desplaza su carro. Este al igual que, todos los actuadores es accionado por un servomotor.

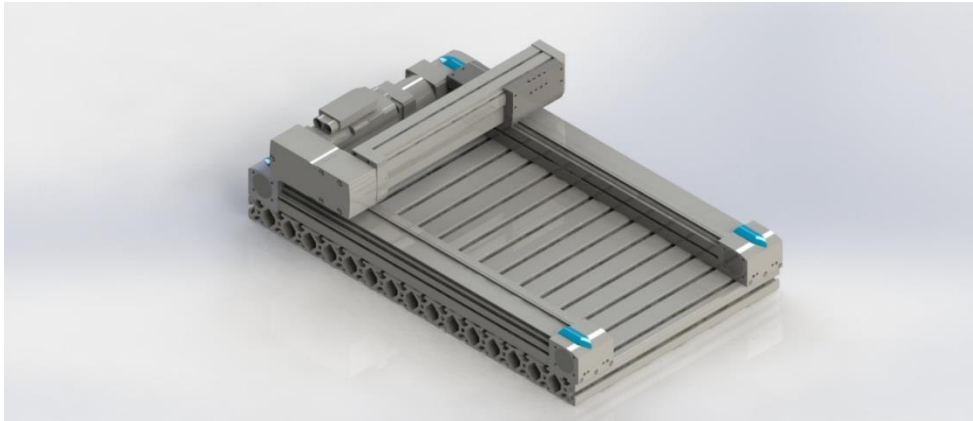


Figura 41. Ejes XY en placa base

El último grado de libertad viene dado por un actuador electromecánico en voladizo. Esto quiere decir que se extiende desde uno de sus extremos un vástago similar a un cilindro neumático la distancia de su carrera nominal. Este sujeta al efector final, el cual tomará y depositará los discos según el controlador lo exija.

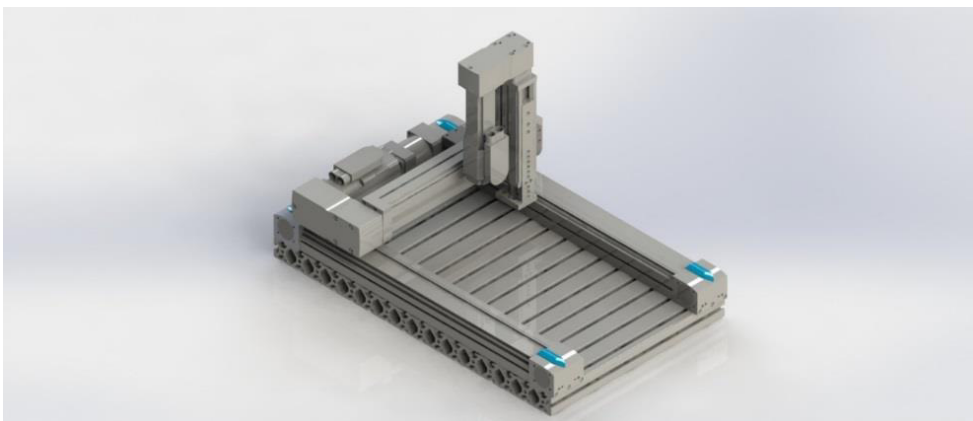


Figura 42. Diseño robot cartesiano



A diferencia de un actuador neumático, el eje electromecánico tiene mayor precisión, mayor velocidad y control sobre posiciones intermedias.

El volumen de trabajo del sistema de ejes lineales es un prisma de 400x200x100 [mm]. Se tomó estas dimensiones para asegurar que el módulo no sea demasiado grande y complicado para su traslado.

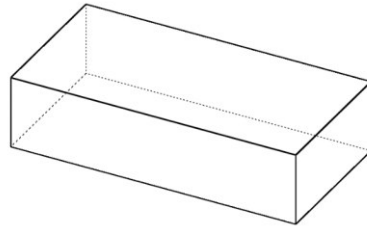


Figura 43. Espacio de trabajo del módulo

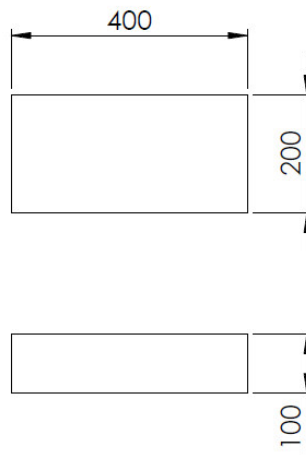


Figura 44. Vista frontal y vista superior del área de trabajo

## CAPÍTULO 4

### SELECCIÓN DE COMPONENTES Y ENSAMBLAJE

#### 4.1. Robot cartesiano

El robot cartesiano integra varias opciones de ejes, servomotores y funciones de control que permiten realizar una presentación amplia de la línea de actuadores eléctricos de Festo. Ejes accionados por banda dentada, ejes accionados por husillo, ejes en pórtico y en voladizo se combinan dentro de esta aplicación.

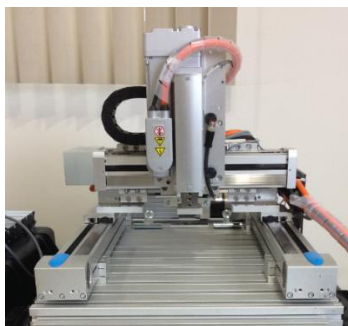


Figura 45. Robot cartesiano del módulo demostrativo

El robot se forma de dos ejes paralelos accionados por banda dentada para la dirección X. Sobre ellos se monta un eje accionado por husillo perpendicular a X y se convertirá en el eje referencial Y. El plano XY es paralelo al piso y perpendicular al eje Z. Este se monta sobre el eje Y. Todo el robot está montado sobre una plancha de aluminio ranurada.

Para la selección de los componentes del robot cartesiano se utilizó el software Festo Positioning Drives. Esta herramienta permite ingresar los parámetros del entorno en donde trabajará el eje como todo su perfil de movimiento. El software escoge y simula las combinaciones de ejes, servomotores y controladores entregando solo los conjuntos de equipos que se ajustan a los requerimientos.

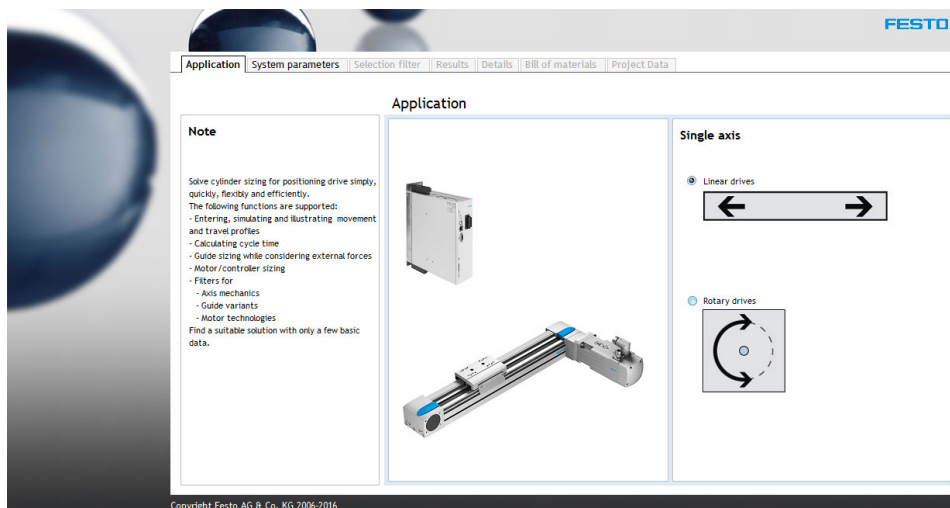


Figura 46. Festo Positioning Drives

#### 4.1.1. Eje Z

Los elementos utilizados en este eje son en su mayoría fabricados por Festo. En el eje Z se utilizó un eje accionado por husillo en una combinación en voladizo. El sistema en voladizo trabaja como un cilindro neumático en donde el vástago sale de la camisa hasta llegar a la posición final.

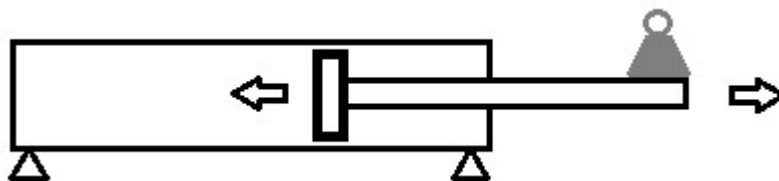


Figura 47. Sistema en voladizo

El actuador principal es un eje accionado por husillo y un servomotor montado en paralelo. El eje Z está montado verticalmente. El vástago sale hacia abajo en dirección Z negativa.

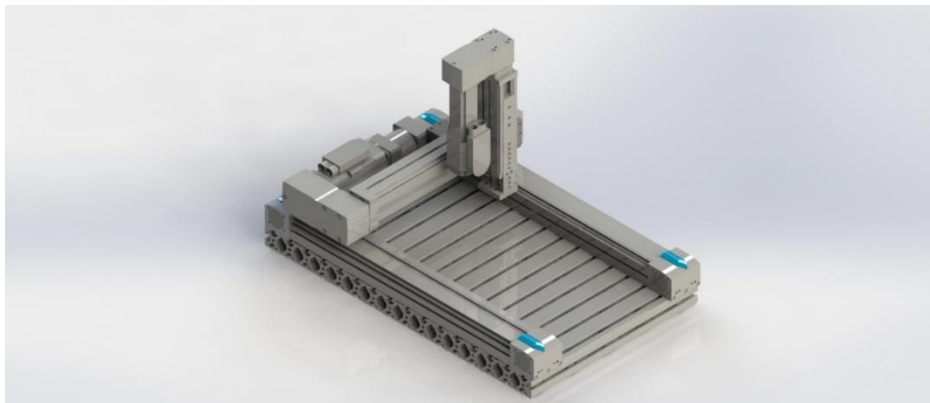


Figura 48. Ejes XYZ en placa base

El primer eje en dimensionarse es el eje Z. Una vez dimensionado este eje, se puede obtener el peso de todo el conjunto mecánico desde las hojas técnicas y dimensionar el siguiente eje. Se inicia con la selección de los parámetros del sistema

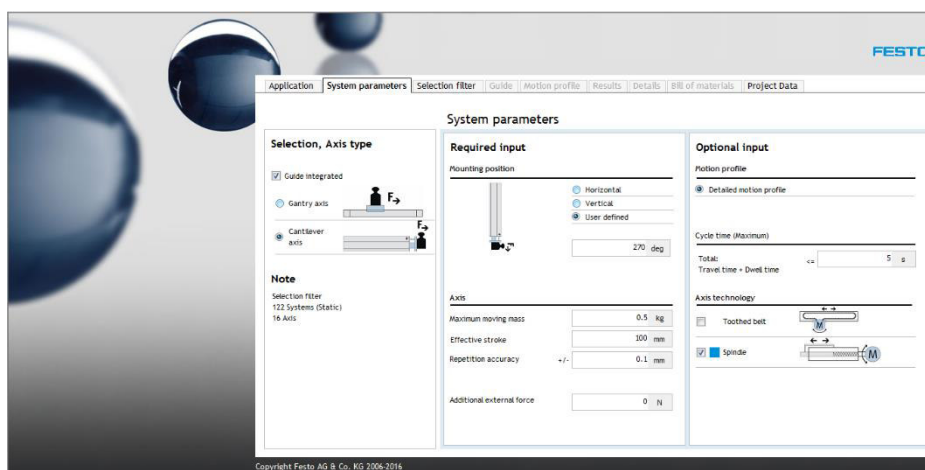


Figura 49. Parámetros del sistema eje Z

Primero se selecciona el tipo de eje que se busca dependiendo si es un eje en voladizo o un eje en pórtico cómo se muestra en la Figura 50. En el módulo demostrativo se requiere un eje en voladizo (cantilever) ya que este debe permitir recoger su vástago para evitar golpear con otros elementos al moverse en los ejes X y Y.

## Selection, Axis type

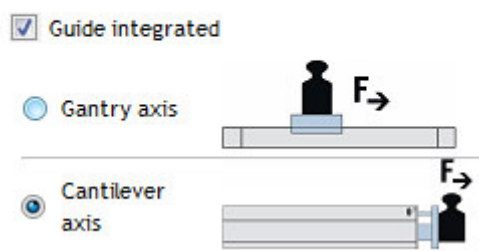


Figura 50. Tipo de eje

El siguiente parámetro es la orientación del eje. El usuario puede escoger tres opciones, horizontal, vertical o cierto ángulo a definirlo por el usuario. En este caso se escoge un montaje a  $270^\circ$  de manera que al extenderse el eje electromecánico se acerque a la base en la que se montará el robot.

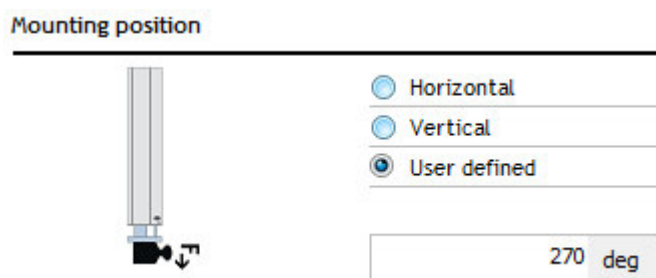


Figura 51. Posición de montaje

A continuación se define la carga que el eje va a trasladar y si van a existir cargas adicionales. El eje Z elevará un peso máximo de 500 [g]. También se define la carrera. Según el volumen de trabajo propuesto, la carrera de este actuador será de 100 [mm]. El peso incluye al efector final y a los elementos a manipularse.

Axis	
Maximum moving mass	0.5 kg
Effective stroke	100 mm
Repetition accuracy	+/- 0.1 mm
Additional external force	0 N

Figura 52. Carga y carrera del eje Z

Se debe establecer el tiempo máximo de la secuencia de movimiento que se va a analizar en este programa incluyendo tiempos en movimiento y parada. Para esta selección se escoge 5 [s].

**Optional input**

Motion profile

---

Detailed motion profile

---

Cycle time (Maximum)

---

Total: <=  s

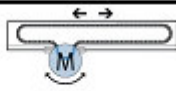
Travel time + Dwell time

Figura 53. Tiempo de trabajo

El último parámetro del sistema que se toma es el tipo de accionamiento del eje que se desea dimensionar. Existen ejes accionados por banda dentada y ejes accionados por tornillo sinfín. Para esta aplicación se escoge un eje con tornillo sinfín para tener mayor precisión debido a la relación del paso del tornillo.

**Axis technology**

---

Toothed belt 

---

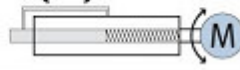
Spindle 

Figura 54. Accionamiento del eje

La siguiente pestaña corresponde a filtros de selección. En este punto se analizan directamente modelos de ejes de la marca Festo así como de servomotores y controladores.

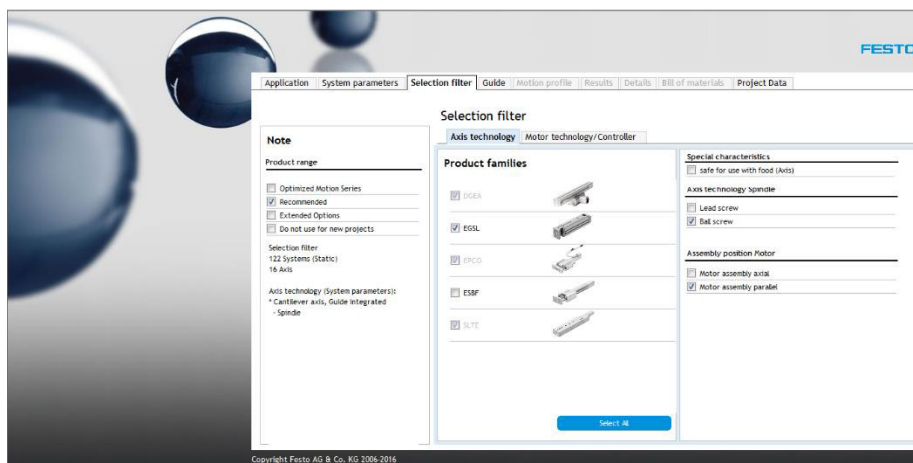





Figura 55. Filtro de selección de ejes

Para completar seleccionar correctamente el mejor eje para la aplicación, se necesita comparar las características de cada uno. De esta manera se segmentan mejor los posibles resultados hacia esta aplicación.

**Tabla 3.**

### Actuadores lineales Festo en voladizo

Tipo	EPCO	ESBF	EGSL
			
	Figura 56. EPCO Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 57. ESBF Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 58. EGSL Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)
<b>Fuerza de avance</b>	50 ... 650 [N]	1000 ... 17000 [N]	75 ... 450 [N]
<b>Precisión de repetición</b>	+/- 0.02 [mm]	+/- 0.01 [mm]	+/- 0.015 [mm]
<b>Carrera</b>	1 ... 400 [mm]	100 ... 400 [mm]	50 ... 300 [mm]
<b>Descripción</b>	Actuador lineal con motor a pasos incorporado. Husillo de rodamiento de bolas. Ideal para aplicaciones sencillas.	Disponibles con husillo de bolas y husillo de fricción. Elevada resistencia contra la corrosión. Vástago IP65. Conexión al motor axial o paralela.	Gran capacidad de carga en el carro. Husillo completamente cerrado. Ideal para aplicaciones como base del efector final.

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Para esta aplicación se buscó un actuador en voladizo con carro como el EGSL. Este carro es una recomendación de Festo para ser el eje final en un

robot cartesiano debido a las posibilidades de montaje que su carro tiene. El software no permite seleccionar actuadores como el DGEA, EPCO y SLTE ya que no cumplen con los parámetros del sistema configurados anteriormente. La serie DGEx será descontinuada de fábrica por lo que no existen muchas opciones con este modelo.



Figura 59. Familia de productos

Finalmente se selecciona si se va a utilizar el equipo para una aplicación higiénica en dónde se consideraran ejes con mayor protección a la corrosión. También el tipo de husillo y el montaje del servomotor. Se busca un servomotor montado en paralelo para disminuir el espacio a lo largo del eje de movimiento.

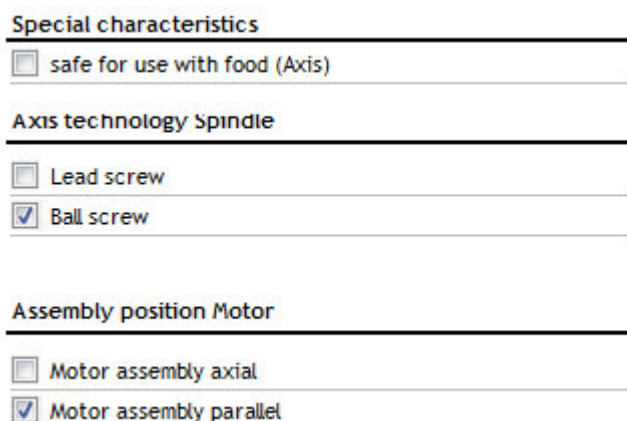


Figura 60. Características especiales



La siguiente pestaña es el filtro de selección de servomotores y controladores. En esta ventana se requiere el mismo conocimiento de las series de equipos de la marca Festo.

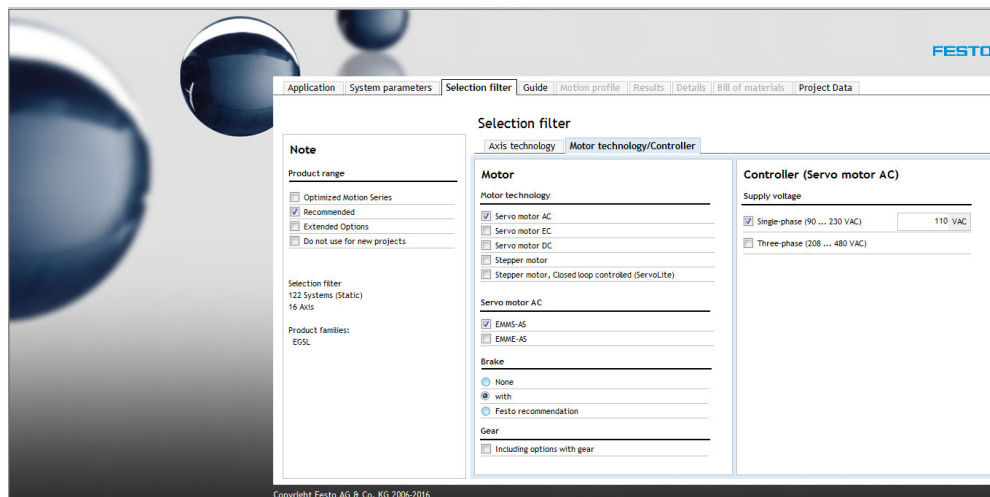





Figura 61. Filtro de selección servomotores y controladores

Para seleccionar el servomotor que mejor se ajuste a la aplicación se necesita comparar las características de cada uno.

**Tabla 4.**

### Motores Festo

Tipo	EMME-AS	EMMS-AS	EMMS-ST
			
	Figura 62. EMME-AS Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 63. EMMS-AS Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 64. EMMS-ST Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)
<b>Momento de giro nominal</b>	0.12 ... 6.4 [Nm]	0.14 ... 22.63 [Nm]	0.09 ... 9.3 [Nm]
<b>Velocidad nominal</b>	3000 ... 9000 [1/min]	2000 ... 10300 [1/min]	430 ... 6000 [1/min]
<b>Descripción</b>	Motor síncrono sin escobillas. Encoder absoluto simple o multivuelta. Opción de freno.	Motor síncrono sin escobillas. Encoder absoluto simple o multivuelta. Opción de freno. IP 65 en el eje.	Momento alto a bajas velocidades. Encoder incremental opcional. Opción de freno.

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Para el módulo demostrativo se busca resaltar el desempeño de servomotores de corriente alterna. Se selecciona el modelo EMMS-AS ya que estos son los servomotores más completos de las opciones que Festo brinda. Se busca tener el mejor equipo, y a partir de este, poder capturar el interés de los clientes. En los tres ejes del módulo se seleccionará motores con freno.

**Selection filter**

Axis technology    **Motor technology/Controller**

**Motor**

Motor technology

Servo motor AC  
 Servo motor EC  
 Servo motor DC  
 Stepper motor  
 Stepper motor, Closed loop controlled (ServoLite)

Servo motor AC

EMMS-AS  
 EMME-AS

Brake

None  
 with  
 Festo recommendation

Gear

Including options with gear

Figura 65. Modelos de servomotores

Respecto al controlador del servomotor, solo se selecciona el tipo de alimentación eléctrica con la que se va a trabajar. Al ser un módulo demostrativo que se lo presentará en oficinas, universidades, y plantas de producción, se selecciona 110 [VAC] de forma que sea fácil encontrar un punto de conexión.

**Controller (Servo motor AC)**

Supply voltage

Single-phase (90 ... 230 VAC)    110 VAC  
 Three-phase (208 ... 480 VAC)

Figura 66. Alimentación controlador de servomotores

La siguiente pestaña es la configuración de una guía con la que trabajará el eje. Al ser parámetros opcionales no se completa ningún campo y se pasa a la siguiente ventana.

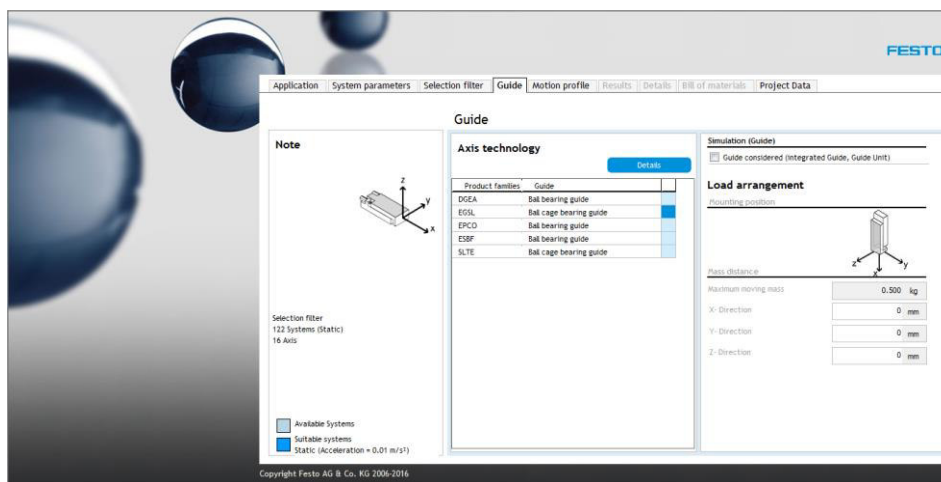


Figura 67. Parámetros para Guía

En la siguiente pestaña se llenan el perfil de movimiento que va a tener el eje dimensionado. Se ingresa la carrera deseada, la velocidad máxima y el tiempo de movimiento. El software calcula aceleración automáticamente.

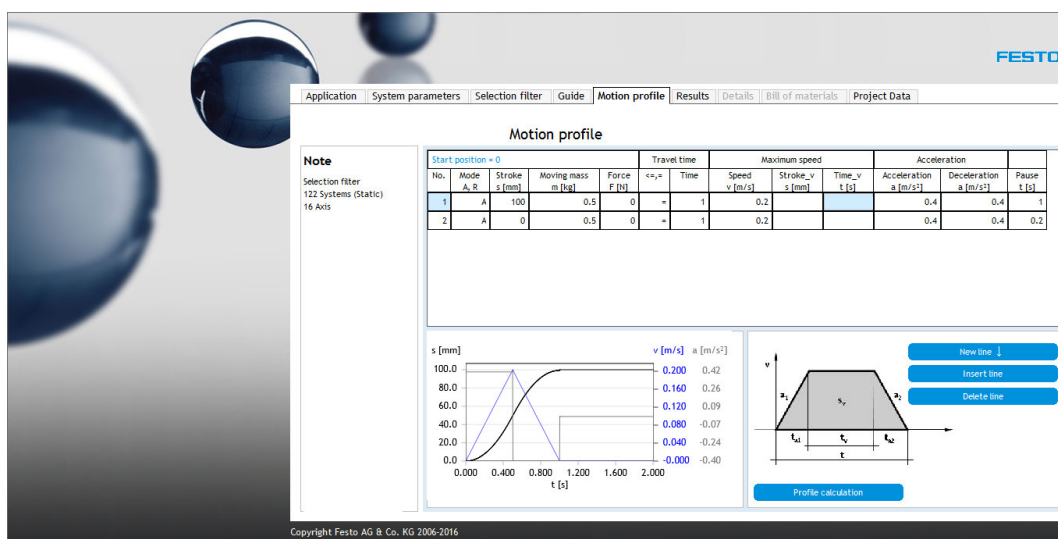


Figura 68. Perfil de movimiento

Se ingresó el recorrido de toda la carrera del eje en un segundo a una velocidad máxima de doscientos milímetros por segundo.

Start position = 0					Travel time		Maximum speed			Acceleration		
No.	Mode A, R	Stroke s [mm]	Moving mass m [kg]	Force F [N]	<=>, =	Time	Speed v [m/s]	Stroke_v s [mm]	Time_v t [s]	Acceleration a [m/s <sup>2</sup> ]	Deceleration a [m/s <sup>2</sup> ]	Pause t [s]
1	A	100	0.5	0	=	1	0.2			0.4	0.4	1
2	A	0	0.5	0	=	1	0.2			0.4	0.4	0.2

Figura 69. Parámetros del perfil de movimiento

El resultado se muestra con una gráfica de posición, velocidad y aceleración respecto al tiempo. Debido a la velocidad máxima que se seleccionó, la gráfica nos indica que puede cumplir con el recorrido en un segundo con una aceleración de  $0.42 \text{ [mm/s}^2\text{]}$ .

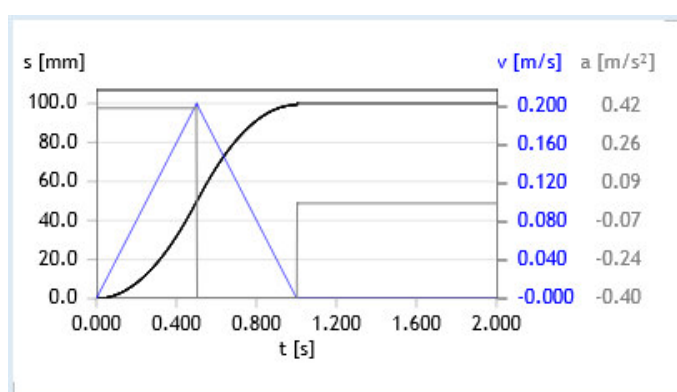


Figura 70. Gráfico del perfil de movimiento

Finalmente se pasa a la ventana de resultados. Después de una serie de simulaciones del software, aparece una lista de combinaciones de ejes, servomotores y controladores que cumplen con las condiciones establecidas. Se busca seleccionar el conjunto de menor tamaño debido a costos. La lista de resultados muestra el trabajo que se realiza sobre el eje y sobre el servomotor.

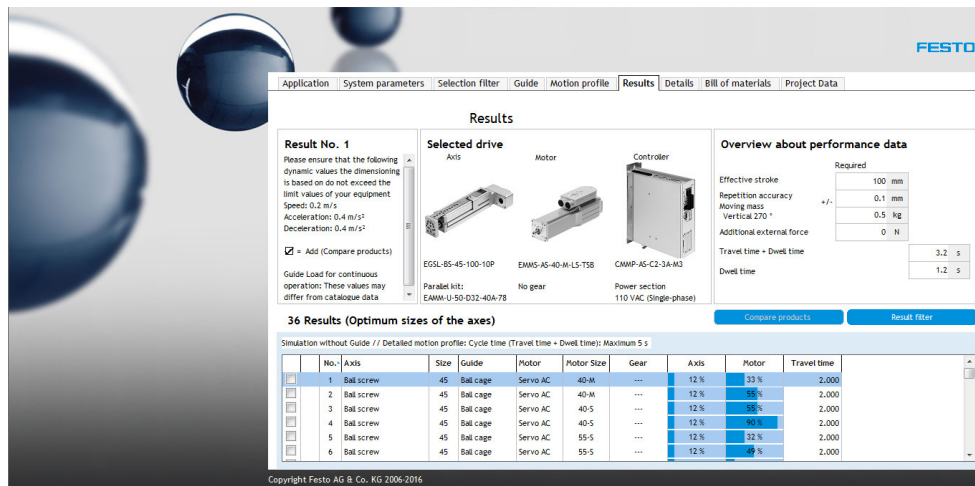


Figura 71. Resultados

Dentro de los resultados, el motor más pequeño fue de tamaño 40. Festo recomienda aceptar un trabajo sobre el eje y servomotor máximo del 80%. Para esta aplicación se selecciona el conjunto con un trabajo en el motor de 33% ya que con el tiempo el módulo demostrativo puede cambiar y realizar otro proceso más exigente.

Simulation without Guide // Detailed motion profile: Cycle time (Travel time + Dwell time): Maximum 5 s

No.	Axis	Size	Guide	Motor	Motor Size	Gear	Axis	Motor	Travel time
1	Ball screw	45	Ball cage	Servo AC	40-M	---	12 %	33 %	2,000
2	Ball screw	45	Ball cage	Servo AC	40-M	---	12 %	55 %	2,000
3	Ball screw	45	Ball cage	Servo AC	40-S	---	12 %	55 %	2,000
4	Ball screw	45	Ball cage	Servo AC	40-S	---	12 %	90 %	2,000

Figura 72. Lista de resultados

En esta ventana se muestra un resumen de los equipos necesarios y la serie a la que pertenece cada uno.



Figura 73. Resumen de equipos

A continuación se muestra un resumen del perfil de movimiento ingresado para la aplicación y las principales características técnicas de los equipos.

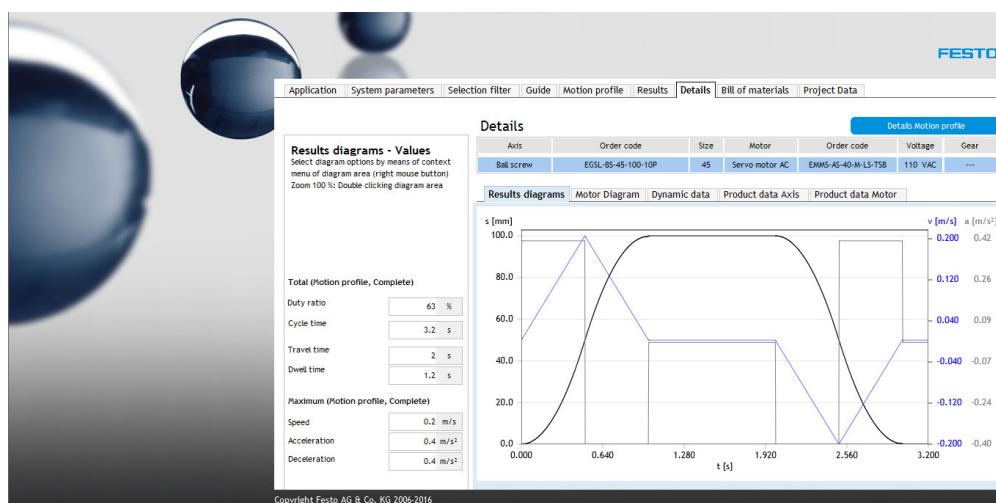


Figura 74. Resumen de perfil de movimiento

Results diagrams	Motor Diagram	Dynamic data	Product data Axis	Product data Motor
<b>Motor</b> EMMS-AS-40-M-LS-TSB		<b>Controller</b> CMMP-AS-C2-3A-M3		
Rated speed (Voltage = 360 V)	10300 rpm	Supply voltage	Logic section: 24 VDC	
Rated torque	0.22 Nm	Rated current	Power section (110 VAC): 230 VAC	
Rated voltage	360 V	Peak current	Intermediate circuit voltage: 380 VDC	
Peak torque	1 Nm	Braking resistor, integrated	Rated current: 2.5 A	
Peak current	3.3 A	Braking resistor, Root mean square of power	Peak current: 5 A	
Mass moment of inertia	0.055 kgcm <sup>2</sup>		60 Ohm	
Holding torque (Brake)	0.4 Nm		10 W	

Figura 75. Características de servomotor y controlador

En la siguiente pestaña se puede tener los códigos del fabricante para realizar una orden de compra en fábrica. Aquí se selecciona longitud de cables, tipos de sensores final de carrera, accesorios adicionales, entre otros.

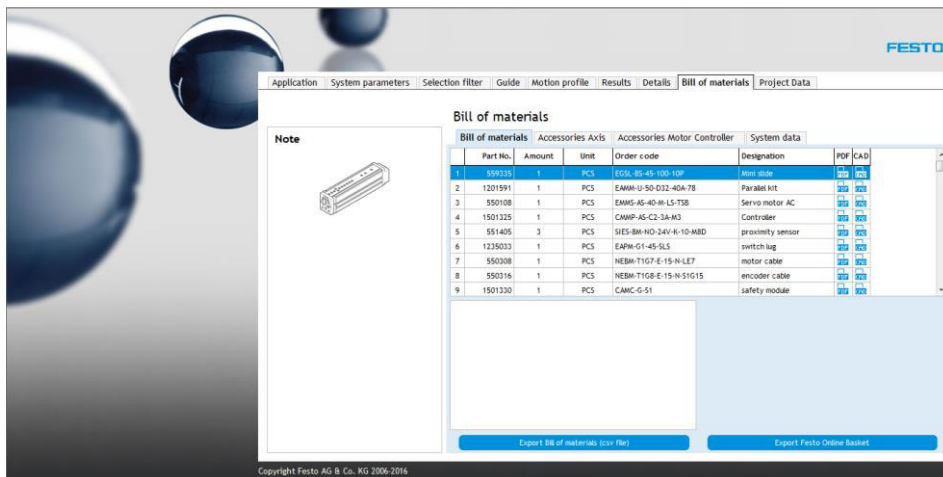


Figura 76. Códigos del fabricante

Finalmente se puede exportar en formato PDF el resumen de la selección hecha en este programa.

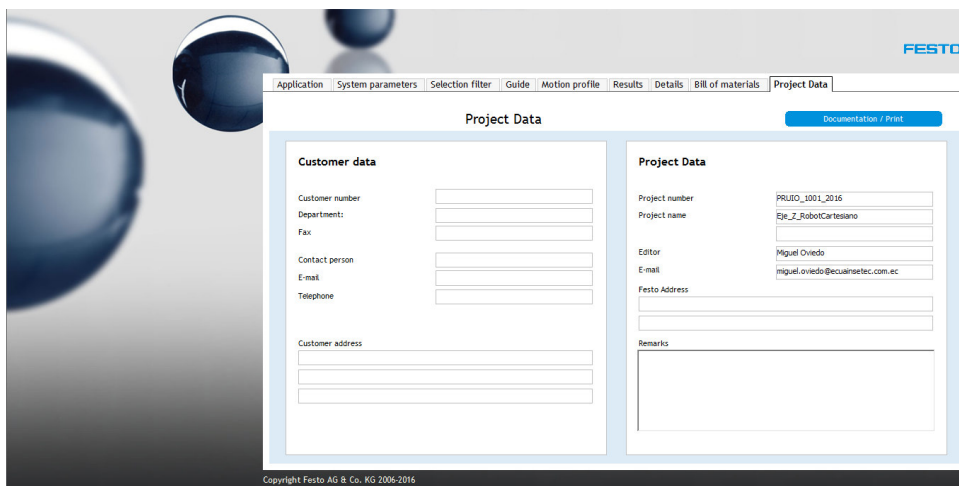


Figura 77. Resumen de equipos

El documento final muestra todos los parámetros ingresados y adjunta una lista de todos los equipos con sus respectivos códigos para realizar una orden de compra en fábrica.



## Positioning Solution proposal for positioning drives

**FESTO**  
PositioningDrives  
Version 2.3.12  
05/09/2016

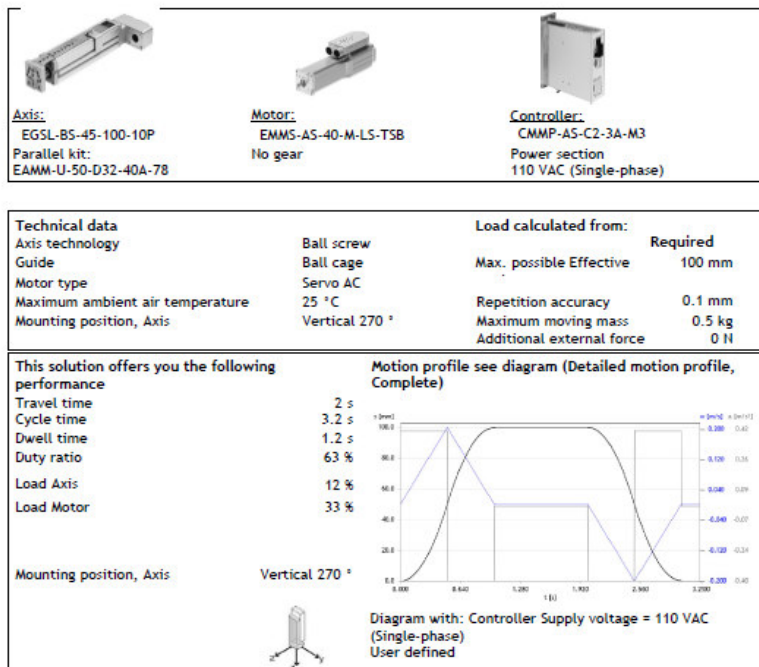


Figura 78. Resumen en PDF

En la Figura 79 se muestra un esquemático de los equipos que se pueden utilizar en esta configuración.

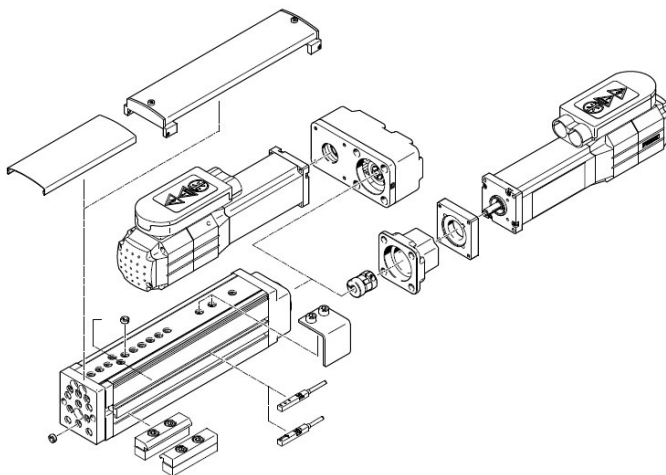


Figura 79. Periféricos para ejes accionados por husillo en voladizo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)



Los ejes accionados por husillo se caracterizan por brindar una gran fuerza de avance y altas precisiones. Este tipo de eje en voladizo es utilizado en carreras cortas. Tiene una guía para evitar el giro del mismo por toques externos. En la siguiente tabla se resumen las principales especificaciones del actuador utilizado.

**Tabla 5.**  
**Actuador Eje Z**



Modelo	EGSL-BS-45-100-10P
Esquemático	 <p>Figura 80. Eje EGSL Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2016)</p>
Accionamiento	Husillo de bolas
Montaje	Voladizo
Velocidad máxima	1 [m/s]
Aceleración máxima	25 [m/s <sup>2</sup> ]
Fuerza de avance	150 [N]
Precisión	±0.015 [mm]

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Los servomotores Festo utilizados en el módulo demostrativo son síncronos y sin escobillas. Tienen un encoder absoluto simple para el sistema de medición. El eje de estos servomotores es liso y tiene protección IP54. El cuerpo de los motores tiene protección IP65. Las características del motor se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.

## Servomotor Eje Z

Modelo	EMMS-AS-40-M-LS-TSB
<b>Esquemático</b>	 <p data-bbox="948 719 1302 752">Figura 81. EMMS-AS-40</p> <p data-bbox="868 770 1382 804">Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>
<b>Tensión nominal</b>	360 [VDC]
<b>Potencia nominal</b>	232 [W]
<b>Momento de giro nominal</b>	0.22 [Nm]
<b>Momento de giro máximo</b>	1 [Nm]
<b>Carga radial en el eje</b>	82 [N]
<b>Carga axial en el eje</b>	12 [N]
<b>Reducción</b>	n/a
<b>Posición de montaje</b>	<p data-bbox="1062 1227 1182 1261">Paralelo</p>  <p data-bbox="884 1559 1366 1644">Figura 82. Montaje en paralelo en eje EGSL</p> <p data-bbox="868 1666 1382 1700">Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2016)</p>
<b>Conexión mecánica</b>	Banda dentada

Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)

El motor se conecta al controlador a través del cable para motor Festo NEBM-T1G7. Es un cable apantallado de 6 hilos recubiertos de poliuretano. La corriente máxima admisible por hilo es 12 [A].



Figura 83. Cable de motor Festo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

El encoder se conecta mediante el cable NEBM-T1G8 de Festo. Es un cable apantallado de 5 hilos recubierto de poliuretano. La corriente máxima admisible por hilo es 3 [A]. Cuenta con un conector DB15 para la conexión al controlador.



Figura 84. Cable de motor Festo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Los sensores Festo de este módulo son únicamente finales de carrera de cada uno de los ejes. De esta manera existen dos sensores por cada actuador lineal. Estos dispositivos se instalan en una ranura del eje de manera que no se necesiten elementos de fijación externos.



Figura 85. Sensores de proximidad Festo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

**Tabla 7.**

**Sensores Festo**

Modelo	SIES-8M-NO-24V-K-7,5-OE
<b>Principio de funcionamiento</b>	Sensor inductivo
<b>Alimentación</b>	10 ... 30 [VDC]
<b>Conexión de salida</b>	NPN
<b>Tipo de salida</b>	Normalmente cerrado
<b>Frecuencia máxima de conmutación</b>	4.5 [KHz]
<b>Corriente de salida</b>	150 [mA]
<b>Montaje</b>	Rasante
<b>Tipo de protección</b>	IP65

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

El sensor inductivo de final de carrera se diferencia de los finales de carrera magnéticos convencionales instalados en cilindros neumáticos. Físicamente es similar pero el modo de funcionamiento es distinto. Este sensor se acciona con una leva de conmutación colocada sobre el carro del eje lineal seleccionado. La leva pasa por encima del sensor activándolo cada vez que interfiere con este.

El eje Z se monta sobre el carro del eje Y a través de una placa metálica auxiliar de código HMVZ-2 perteneciente a la línea de fijaciones y uniones para sistemas XYZ de Festo.



Figura 86. Placa para fijación de ejes YZ

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2015)

#### 4.1.2. Eje Y

Al igual que en el eje Z, los elementos utilizados en este eje son en su mayoría fabricados por Festo. El actuador principal es un eje accionado por husillo y un servomotor montado en paralelo.

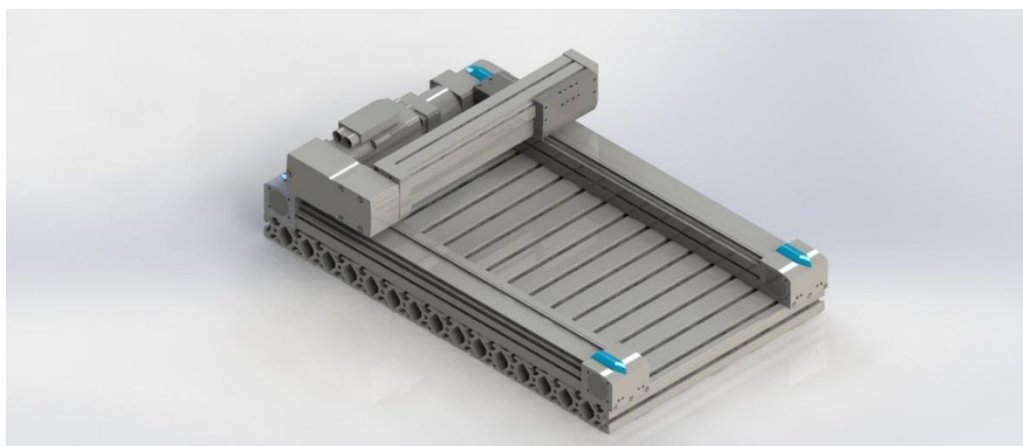


Figura 87. Ejes XY en placa base

Para dimensionar el eje Y se empezó obteniendo el peso total del conjunto mecánico seleccionado para el eje Z.

**Tabla 8.****Peso conjunto mecánico eje Z**

Equipo	Peso [g]
EGSL – eje accionado por husillo	1570
EAMM – conjunto de montaje en paralelo	600
EMMS - servomotor	1050
Placa de sujeción a eje Y	1000
Carga a ser levantada por eje Z	500
<b>TOTAL</b>	<b>4720</b>



Se utilizó el mismo software de dimensionamiento ingresando los siguientes parámetros.

**Tabla 9.****Parámetros dimensionamiento eje Y**

Parámetro	Tipo
Tipo de eje	Pórtico
Posición de montaje	Horizontal
Carrea	200 [mm]
Carga a mover	5 [kg]
Accionamiento del eje	Accionado por tornillo sinfín

En el filtro de selección de ejes se analizaron los siguientes modelos de ejes electromecánicos.

**Tabla 10.****Actuadores lineales Festo en pórtico, accionados por tornillo sinfín**

Tipo	EGC-BS	EGSK	EGSP
			
	Figura 88. EGC-BS Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 89. EGSK Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 90. EGSP Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)
<b>Fuerza de avance</b>	300 ... 3000 [N]	19 ... 392 [N]	69 ... 466 [N]
<b>Precisión de repetición</b>	+/- 0.02 [mm]	+/- 0.003 [mm]	+/- 0.003 [mm]
<b>Carrera</b>	50 ... 3000 [mm]	25 ... 840 [mm]	25 ... 840 [mm]
<b>Descripción</b>	Husillo de rodamiento de bolas para cargas y momentos grandes. Conexión al motor axial o paralelo.	Husillo de rodamiento de bolas. Diseño compacto. Gran rigidez.	Husillo de rodamiento de bolas. Baja necesidad de mantenimiento Diseño compacto. Gran rigidez.

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Con estas características se seleccionó únicamente el eje EGC-BS debido a su construcción y facilidad para montaje del motor en paralelo.

El perfil de movimiento para este eje consistió en los siguientes parámetros.

**Tabla 11.**

**Perfil de movimientos eje Y**

Carrera [mm]	Masa en movimiento [kg]	Tiempo [s]	Velocidad [mm/s]	Aceleración [mm/s <sup>2</sup> ]
100	5	1	0.4	1.607
0	5	1	0.4	1.607

El resumen de los equipos seleccionados se muestra en la Figura 91.

Positioning  
Solution proposal for positioning drives

**FESTO**  
PositioningDrives  
Version 2.3.12  
05/09/2016




		
<u>Axis:</u> EGC-70-BS-10P-KF-GK Parallel kit: EAMM-U-60-S38-55A-91	<u>Motor:</u> EMMS-AS-55-S-LS-TSB No gear	<u>Controller:</u> CMMP-AS-C2-3A-M3 Power section 110 VAC (Single-phase)
<b>Technical data</b> Axis technology Guide Motor type Maximum ambient air temperature Mounting position, Axis	Ball screw Ball bearing Servo AC 25 °C Horizontal 0 °	<b>Load calculated from:</b> Max. possible Effective Repetition accuracy Maximum moving mass Additional external force
		<b>Required</b> 200 mm 0.1 mm 5 kg 0 N

Figura 91. Resumen en PDF Eje Y

En la Figura 92 se muestra un esquemático de los equipos que se pueden utilizar en esta configuración.

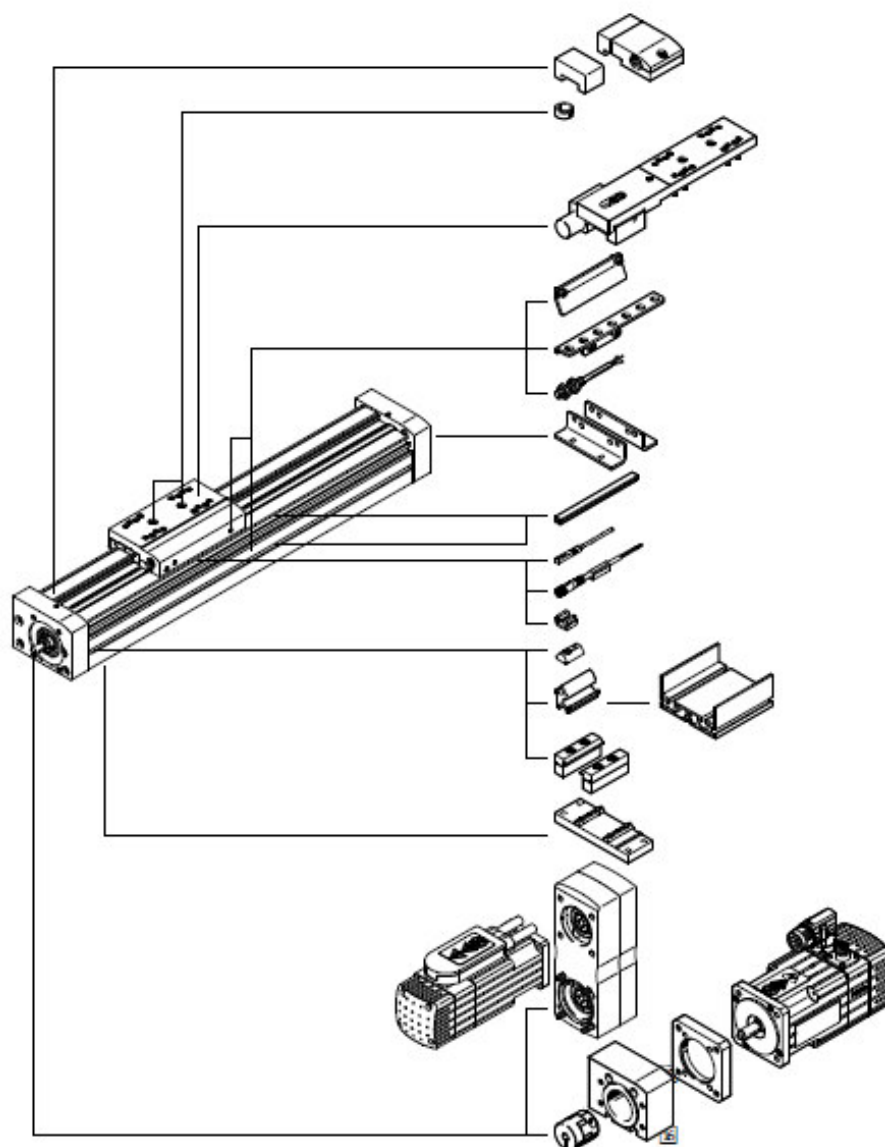


Figura 92. Periféricos para ejes accionados por husillo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Los ejes accionados por husillo se caracterizan por brindar una gran fuerza de avance y altas precisiones. En la siguiente tabla se resumen las principales especificaciones del actuador utilizado.




**Tabla 12.**  
**Actuador Eje Y**

Modelo	EGC-70-200-BS-10P-KF-GK
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 93. Eje EGC-BS Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2016)</p>
<b>Accionamiento</b>	Husillo de bolas
<b>Montaje</b>	Pórtico
<b>Velocidad máxima</b>	0.5 [m/s]
<b>Aceleración máxima</b>	15 [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Fuerza de avance</b>	300 [N]
<b>Precisión</b>	±0.02 [mm]


Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Los servomotores Festo utilizados en el módulo demostrativo son síncronos y sin escobillas. Tienen un encoder absoluto para el sistema de medición. El eje de estos servomotores es liso y tiene protección IP54. El cuerpo de los motores tiene protección IP65. Las características del motor se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 13.**  
**Servomotor Eje Y**

Modelo	EMMS-AS-55-S-TSB
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 94. EMMS-AS-55 Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>

Continúa

Modelo	EMMS-AS-55-S-TSB
Tensión nominal	360 [VDC]
Potencia nominal	261 [W]
Momento de giro nominal	0.34 [Nm]
Momento de giro máximo	1.65 [Nm]
Carga radial en el eje	140 [N]
Carga axial en el eje	75 [N]
Reducción	n/a
Sistema de medición	Encoder absoluto
Posición de montaje	Paralelo
	
	Figura 95. Montaje en paralelo en eje ESBF Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)
Conexión mecánica	Banda dentada

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

El servomotor se conecta al eje mediante un sistema de montaje en paralelo. El mecanismo de transmisión de movimiento invierte el sentido de giro y no tiene ninguna reducción. El sistema de montaje en paralelo trabaja a través de una banda dentada pequeña.

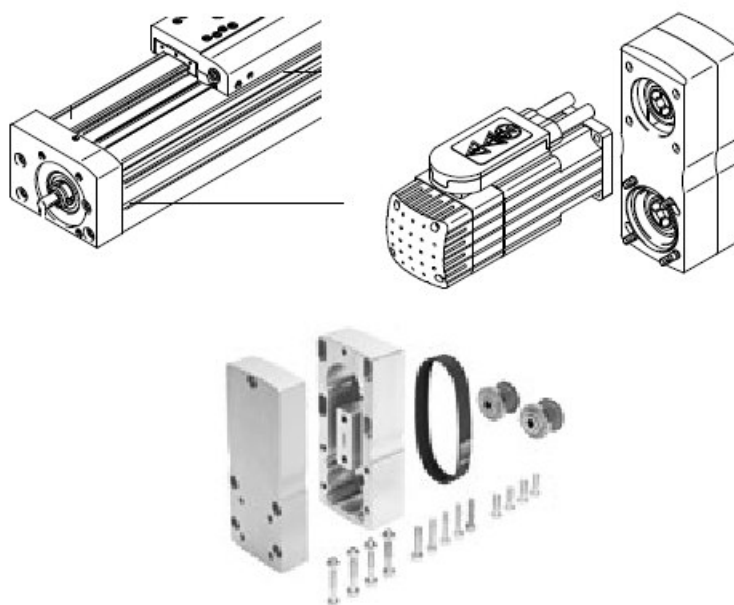


Figura 96. Mecanismo de montaje en paralelo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Al igual que en el eje Z, el motor se conecta al controlador a través del cable para motor Festo NEBM-T1G7. Es un cable apantallado de 6 hilos recubiertos de poliuretano. La corriente máxima admisible de cada hilo es 12 [A].

El encoder se conecta mediante el cable NEBM-T1G8 de Festo. Es un cable apantallado de 5 hilos recubierto de poliuretano. La corriente máxima admisible por hilo es 3 [A]. Cuenta con un conector DB15 para la conexión al controlador.

En el eje Y se montaron dos sensores inductivos de ranura como finales de carrera. Los sensores son similares a los utilizados en el eje Z con la única diferencia que estos normalmente cerrados. Esta configuración se escogió para mostrar las diferentes opciones de sensores que la marca puede presentar. La Tabla 7 resume las especificaciones principales de los mismos. El carro del eje tiene fijado una leva de conmutación para que sea detectada por estos instrumentos.

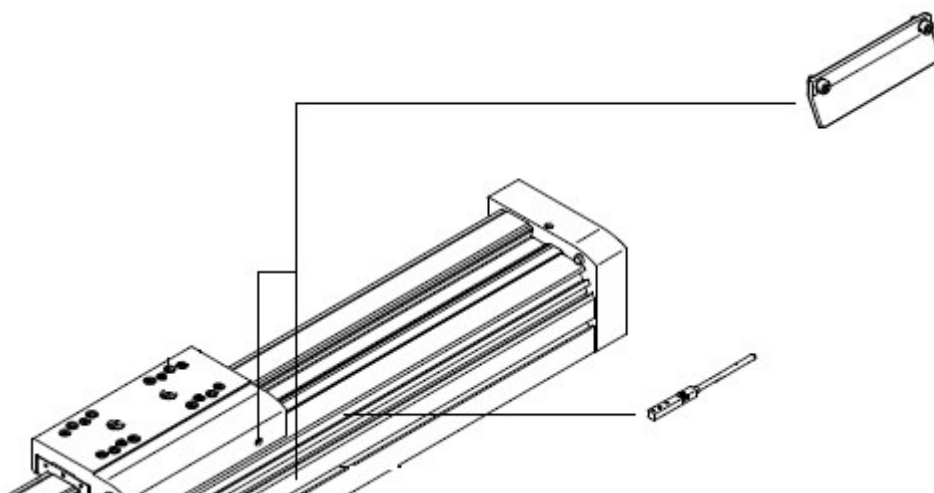


Figura 97. Final de carrera en eje accionado por husillo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

El eje Y se monta al eje X mediante una placa metálica auxiliar de código HMVW-DL25 perteneciente a la línea de fijaciones y uniones para sistemas XYZ de Festo.

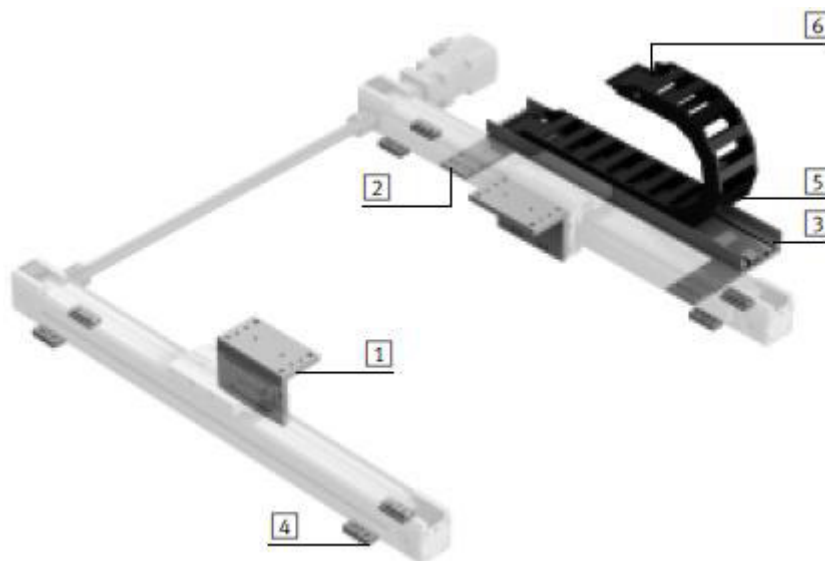


Figura 98. Uniones para sistemas de dos grados de libertad Festo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2015)

Se utiliza esta placa adicional para que el actuador accionado por husillo tenga el carro perpendicular al plano XY como se muestra en la siguiente figura.

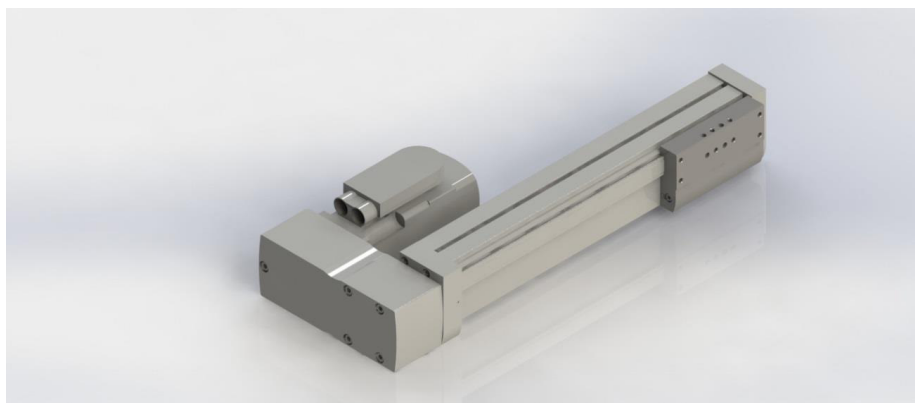


Figura 99. Eje Y con carro perpendicular al plano XY

#### 4.1.3. Eje X

El conjunto de equipos que forman el eje X se basan en su mayoría en productos Festo. Los elementos principales utilizados son dos ejes accionados por banda dentada y un servomotor. El resto de elementos de fijación, sensores, entre otros, son considerados periféricos en el catálogo del fabricante. Estos pueden o no instalarse dependiendo de la aplicación que va a tener el sistema.

Para dimensionar el eje X se empezó obteniendo el peso total del conjunto mecánico seleccionado para el eje Y más el del eje Z.

**Tabla 14.**

**Peso conjunto mecánico eje Y y Z**

Equipo	Peso [g]
<b>EGC - BS – eje accionado por husillo</b>	3925
<b>EAMM – conjunto de montaje en paralelo</b>	990
<b>EMMS - servomotor</b>	1420
<b>Placa de sujeción a eje X</b>	1000
<b>Peso total eje Z</b>	4720
<b>TOTAL</b>	12055

Se utilizó el mismo software de dimensionamiento ingresando los siguientes parámetros.




**Tabla 15.**

**Parámetros dimensionamiento eje X**

Parámetro	Tipo
<b>Tipo de eje</b>	Pórtico
<b>Posición de montaje</b>	Horizontal
<b>Carrea</b>	400 [mm]
<b>Carga a mover</b>	15 [kg]
<b>Accionamiento del eje</b>	Accionado por banda dentada

En el filtro de selección de ejes se analizaron los siguientes modelos de ejes electromecánicos.

**Tabla 16.****Actuadores lineales Festo en pórtico, accionados por banda dentada**

Tipo	EGC-TB	ELGA-TB	ELGR
			
	Figura 100. EGC-TB Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 101. ELGA-TB Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)	Figura 102. ELGR Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)
<b>Fuerza de avance</b>	50 ... 2500 [N]	350 ... 2000 [N]	50 ... 350 [N]
<b>Precisión de repetición</b>	+/- 0.08 [mm]	+/- 0.02 [mm]	+/- 0.1 [mm]
<b>Carrera</b>	50 ... 8500 [mm]	50 ... 8500 [mm]	50 ... 1500 [mm]
<b>Descripción</b>	Guía de rodamiento de bolas para cargas y momentos grandes. Perfil con rigidez con optimizada.	Guías de rodamiento de bolas interior de alta resistencia. Velocidad hasta 5 [m/s].	Guía de rodamiento de bolas. Posición de montaje motor bajo pedido y no modificable.

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Con estas características se seleccionó únicamente el eje EGC-TB debido a su construcción y su guía de rodamiento para grandes cargas.

El perfil de movimiento para este eje consistió en los siguientes parámetros.

**Tabla 17.****Perfil de movimientos eje X**

Carrera [mm]	Masa en movimiento [kg]	Tiempo [s]	Velocidad [mm/s]	Aceleración [mm/s <sup>2</sup> ]
400	15	1	0.8	1.604
0	5	1	0.8	1.604

El resumen de los equipos seleccionados se muestra en la Figura 103.

Positioning  
Solution proposal for positioning drives

**FESTO**  
PositioningDrives  
Version 2.3.12  
05/09/2016




		
<b>Axis:</b> EGC-70-TB-KF-0H-GK Axial kit: EAMM-A-L38-60G	<b>Motor:</b> EMMS-AS-55-S-LS-TSB Gear: 3:1 EMGA-60-P-G3-SAS-55	<b>Controller:</b> CMMP-AS-C2-3A-M3 Power section 110 VAC (Single-phase)
<b>Technical data</b>		<b>Load calculated from:</b>
Axis technology	Toothed belt	<b>Required</b>
Guide	Ball bearing	Max. possible Effective 400 mm
Motor type	Servo AC	Repetition accuracy 0.1 mm
Maximum ambient air temperature	25 °C	Maximum moving mass 15 kg
Mounting position, Axis	Horizontal 0 °	Additional external force 0 N

Figura 103. Resumen en PDF Eje X

La Figura 104 presenta un diagrama esquemático del montaje de cada uno.

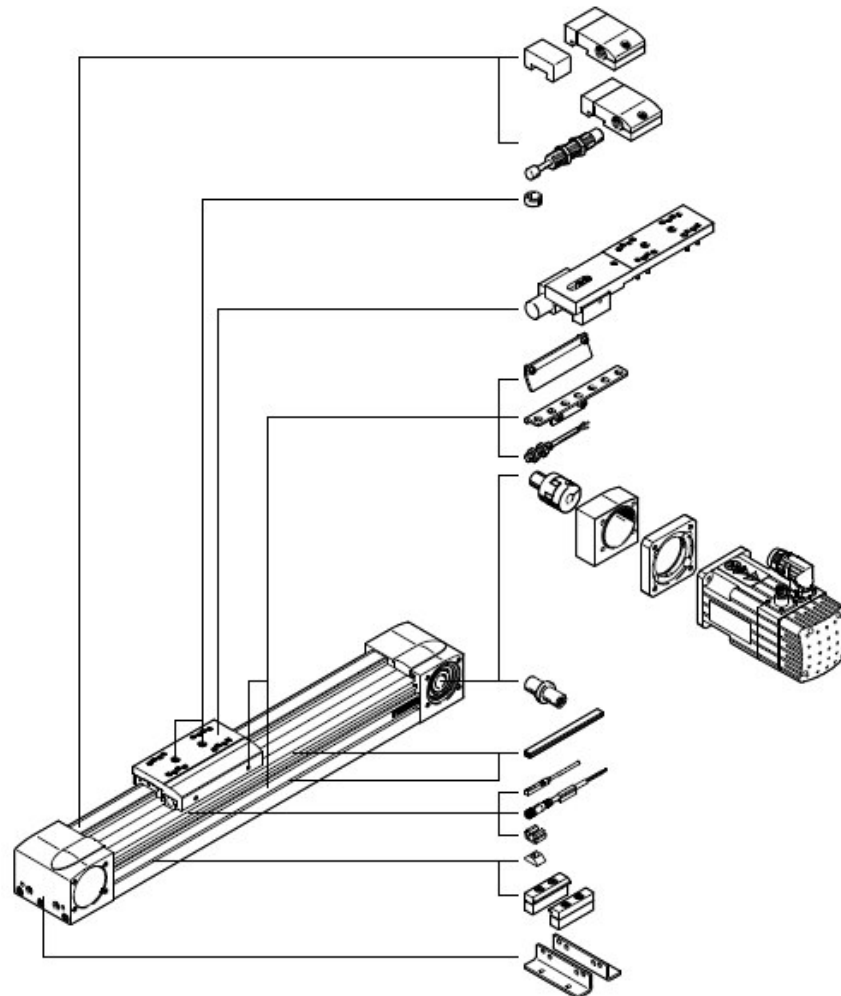



Figura 104. Periféricos para ejes accionados por banda dentada

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

El eje lineal accionado por banda dentada se caracteriza por brindar altas velocidades y grandes distancias. Las especificaciones del eje utilizado se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 18.**

**Actuadores Eje X**

Modelo	EGC-70-400-TB-KF-OH-GK
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 105. Eje EGC-TB Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>
<b>Accionamiento</b>	Banda dentada
<b>Montaje</b>	Pórtico
<b>Velocidad máxima</b>	5 [m/s]
<b>Aceleración máxima</b>	50 [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Fuerza de avance</b>	100 [N]
<b>Precisión</b>	±0.08 [mm]

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Para el eje X, se utilizaron dos ejes iguales paralelos ubicados como espejo. Uno de ellos accionado por el servomotor y el otro usado como guía. Sobre estos dos elementos se asentó el eje Y del robot.

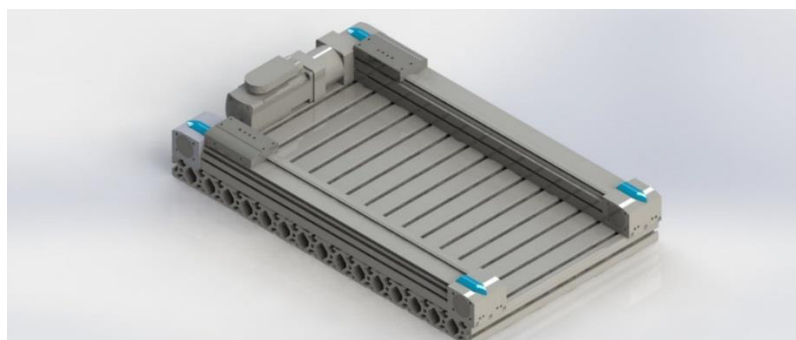




Figura 106. Ejes accionados por banda dentada en paralelo



Los servomotores Festo utilizados en el módulo demostrativo son síncronos y sin escobillas. Tienen un encoder absoluto simple para el sistema de medición. El eje de estos servomotores es liso y tiene protección IP54. El cuerpo de los motores tiene protección IP65. Las características del motor se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 19.**

**Servomotor Eje X**

Modelo	EMMS-AS-55-S-TSB
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 107. EMMS-AS-55 Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>
<b>Tensión nominal</b>	360 [VDC]
<b>Potencia nominal</b>	261 [W]
<b>Momento de giro nominal</b>	0.34 [Nm]
<b>Momento de giro máximo</b>	1.65 [Nm]
<b>Carga radial en el eje</b>	140 [N]
<b>Carga axial en el eje</b>	75 [N]
<b>Reducción</b>	5:1 – Engranaje planetario EMGA-60-P-G5-SAS-55
<b>Sistema de medición</b>	Encoder absoluto
<b>Posición de montaje</b>	Lateral, perpendicular al eje  <p>Figura 108. Montaje lateral Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

El motor se conecta a través de un acople flexible o matrimonio al eje lineal respectivo. En la Figura 109 se muestra el conjunto axial para la fijación del motor utilizado en esta configuración.

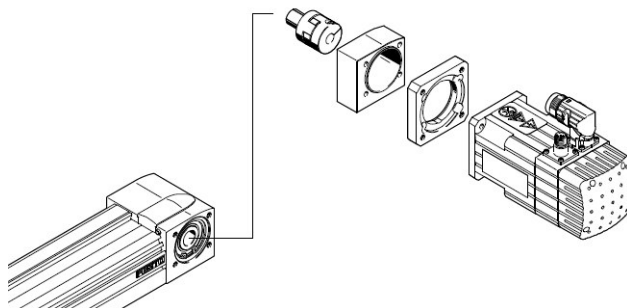


Figura 109. Conjunto de fijación del servomotor

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

Al igual que en los ejes Z y Y, el motor se conecta al controlador a través del cable para motor Festo NEBM-T1G7. Es un cable apantallado de 6 hilos recubiertos de poliuretano. La corriente máxima admisible de cada hilo es 12 [A].

El encoder se conecta mediante el cable NEBM-T1G8 de Festo. Es un cable apantallado de 5 hilos recubierto de poliuretano. La corriente máxima admisible por hilo es 3 [A]. Cuenta con un conector DB15 para la conexión al controlador.

En el eje X se montaron dos sensores inductivos de ranura como finales de carrera. Los sensores son iguales a los utilizados en el eje Y. La Tabla 7 resume las especificaciones principales de los mismos. El carro del eje tiene fijado una leva de conmutación para que sea detectada por estos instrumentos.

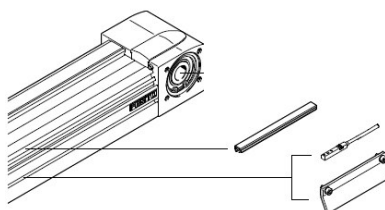


Figura 110. Final de carrera en eje accionado por banda dentada

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)



Figura 111. Sensor inductivo para ranura

El eje X se fija al tablero de aluminio ranurado a través de elementos diseñados por el fabricante para montaje modular. Estos componentes abrazan al cuerpo del eje y se fija a la base mediante pernos y tuercas deslizantes. Cada eje cuenta con dos fijaciones para perfil, una en cada extremo del mismo.

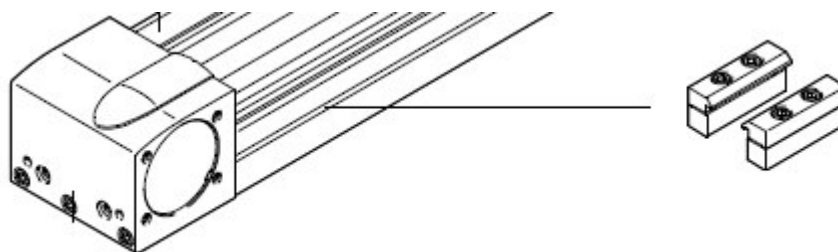


Figura 112. Fijación para perfil en eje lineal

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2014)

#### 4.1.4. Garra magnética

La garra magnética se conformó de un electroimán y un sistema de sujeción del mismo que permita fijarlo al extremo del eje Z. La garra moviliza elementos de acero de transmisión en forma de disco. El peso de los discos es de 15 [g] aproximadamente.

Las características del electroimán utilizado en el robot cartesiano están especificadas en la Tabla 20.

**Tabla 20.**

**Características Electroimán**

Modelo	ZYE1-P20/15
<p><b>Esquemático</b></p>	 <p>Figura 113. Electroimán Fuente: (Amazon, 2016)</p>
<p><b>Voltaje</b></p>	<p>12 [VDC]</p>
<p><b>Corriente</b></p>	<p>250 [mA]</p>
<p><b>Fuerza</b></p>	<p>25 [N]</p>

Fuente: (Amazon, 2016)

La garra magnética se forma de un electroimán y su respectivo sistema de fijación. Esta se encuentra en el extremo inferior del eje Z. La garra magnética no agrega ningún grado de libertad adicional a los tres iniciales del manipulador. Se forma de una placa doblada 90° de acero inoxidable. Cada una de las caras es de 60 x 25 [mm]. Una placa de tol con un doblado de radio 20 [mm] en el centro se utiliza para sujetar el electroimán a la estructura de acero.

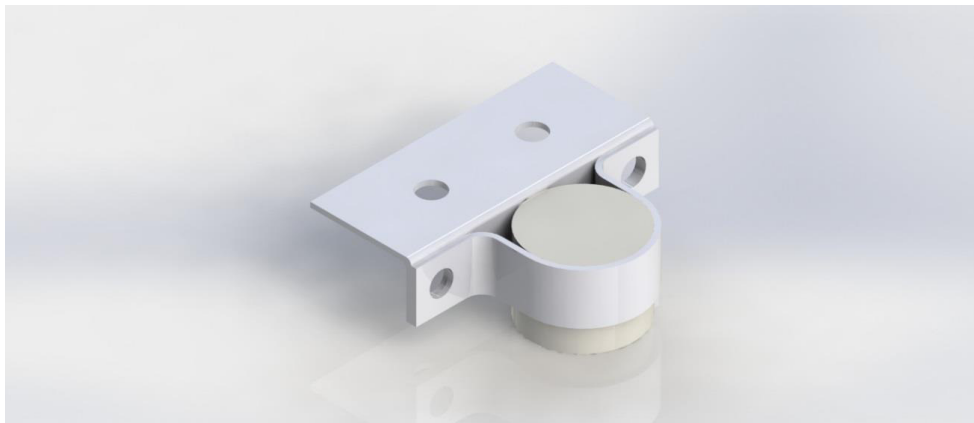


Figura 114. Garra magnética al extremo inferior del eje Z

#### 4.1.5. Elementos adicionales

##### 4.1.5.1. Cadenas porta cables

Para tener movimientos seguros del robot se adicionaron cadenas porta cables. Estas transportan los cables de sensores y servomotores desde su posición de trabajo hasta su lugar de conexión.

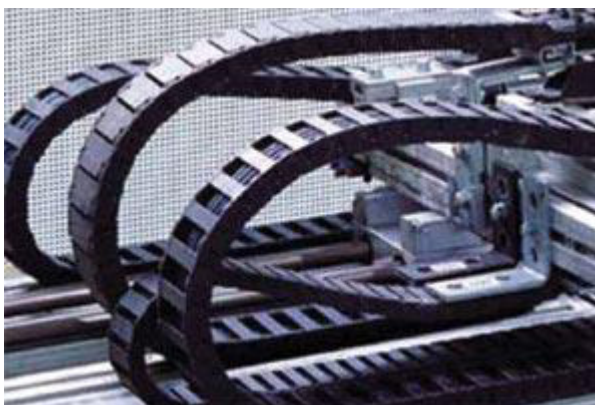


Figura 115. Cadenas porta cables Igus

Fuente: (Iigus, 2016)

En este robot existen dos cadenas porta cables de iguales características únicamente de longitudes diferentes. La primera cadena se conecta el eje X con el Y, y la segunda conecta el eje Z con el Y.

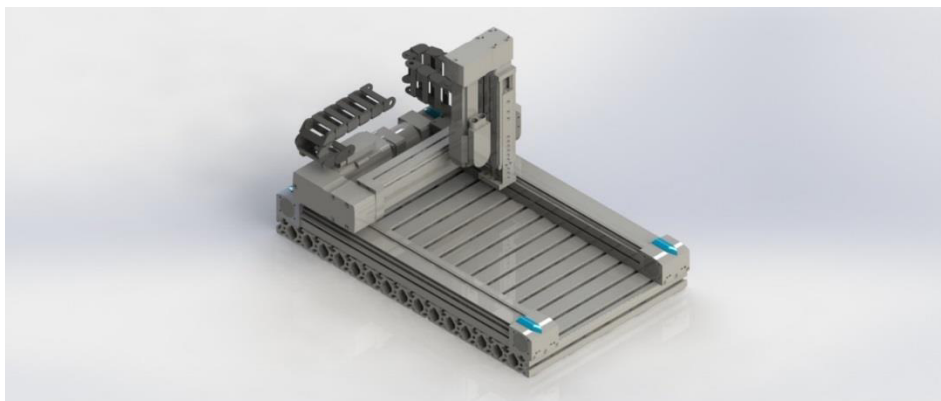



Figura 116. Cadenas porta cables montadas en el robot cartesiano

En la siguiente tabla se muestran resumidas las especificaciones de las cadenas porta cables Igus utilizadas en la aplicación.

**Tabla 21.**

**Cadenas porta cables**

Modelo	E-Chain 10.050.028.0
Esquemático	 <p>Figura 117. Cadena Porta cables Fuente: (Iigus, 2016)</p>
Área de la sección	17 x 50 [mm]
Radio de curvatura	28 [mm]

Fuente: (Iigus, 2016)

#### 4.1.5.2. Concentrador de señales

Para tener un sistema más ordenado y optimizar el uso de cable se utilizó un concentrador de señales para sensores. Este elemento permite conectar varios sensores en un solo módulo y enviar la información al sistema de control a través de un solo cable multipolo. En el robot cartesiano se integran

todos los sensores inductivos de final de carrera y el accionamiento del electroimán en un concentrador de 8 canales.




Figura 118. Concentrador de señales Festo

Fuente: (Festo AG & Co .KG, 2016)

Un resumen de las características del concentrador de señal utilizado en el robot cartesiano se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 22.**

**Concentrador de señales**

Modelo	MPV-E/A8-M8
Esquemático	 <p>Figura 119. Concentrador de señales Festo</p> <p>Fuente: (Festo AG &amp; Co .KG, 2016)</p>
Voltaje	10 ... 30 [VDC]
Corriente por enchufe	1 [A]
Conexiones eléctricas	M8 3 contactos

Fuente: (Festo AG & Co .KG, 2016)

#### 4.1.5.3. Perfil para construcción mecánica

El robot cartesiano se monta sobre una placa ranurada tipo perfil. Esta placa permite conectar mecánicamente elementos para construcción modular. Estos perfiles son de aluminio ionizado en su mayoría aunque existen variaciones en acero inoxidable o materiales especiales para aplicaciones específicas.

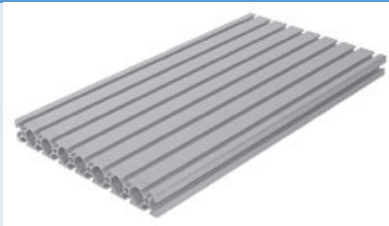


Figura 120. Estructura de perfiles mecánicos

Las características del perfil utilizados se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 23.**

#### Base ranurada robot cartesiano

Modelo	IPM-PN-08-40X700
Esquemático	 <p>Figura 121. Perfil ranurado Festo Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2007)</p>
Ancho de ranuras	8 [mm]
Distancia entre ranuras (centro a centro)	40 [mm]
Espesor de la placa	40 [mm]
Área de la placa	700 x 500 [mm]
Material	Aluminio natural anodizado

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2007)



La Figura 122 tomada de la hoja técnica de este perfil muestra las dimensiones acotadas de la sección de la placa. Las magnitudes están en milímetros.

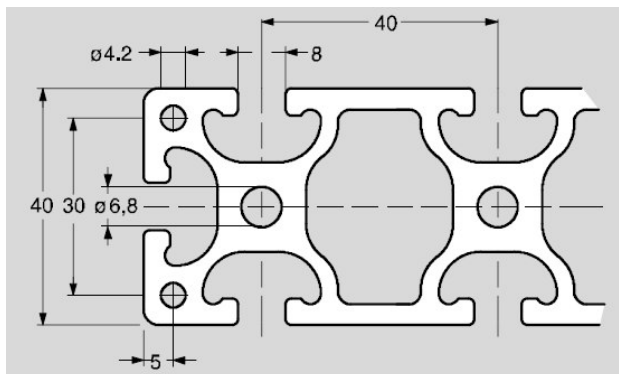


Figura 122. Sección de base ranurada sistema 8

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2007)

#### 4.2. Suministro e identificación de discos

El proceso utiliza un sistema de identificación del color de un disco de interés. Para que el proceso se repita es necesario un dispensador de discos que permita entregar un disco nuevo cada vez que el robot cartesiano tome el disco actual para clasificarlo. A través de un sensor de presencia se comunica que un disco ha llegado a la zona de identificación. Un sensor de registro reconoce el color del elemento y lo comunica al controlador. El ingreso de discos es manual.

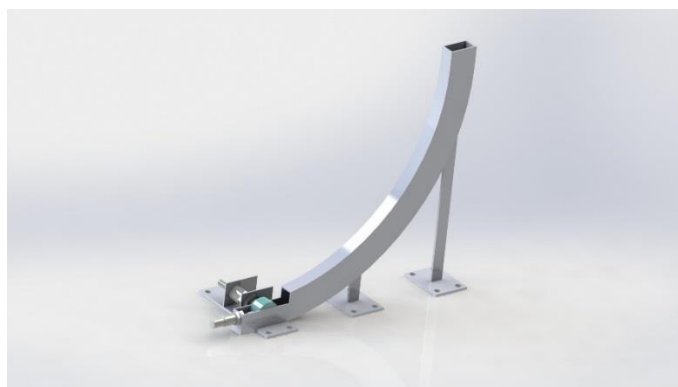


Figura 123. Sistema de despacho e identificación de discos

Para que el sistema de identificación y suministro de discos sea fácilmente desmontable, se utilizó una placa ranurada similar a la que se tiene en el robot

cartesiano. Las dos placas se unen para el proceso y se desmonta para su traslado.

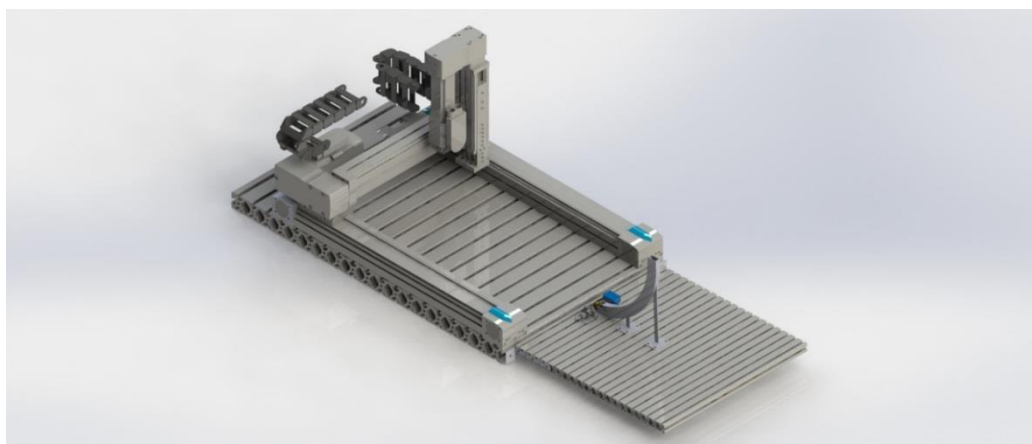



Figura 124. Sistema de dispensador de discos

#### 4.2.1. Base ranurada

La placa ranurada tiene una configuración de perfil de sistema 5. Este sistema tiene ranuras de 5 [mm] de ancho. Esta base tiene un área de 400 x 400 [mm]. Las especificaciones de este elemento se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 24.

#### Base ranurada sistema de identificación

Modelo	IPM-PN-05-40x40
Esquemático	 <p>Figura 125. Perfil ranurado Festo Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2007)</p>
Ancho de ranuras	5 [mm]
Distancia entre ranuras (centro a centro)	20 [mm]
Área de la placa	400 x 400 [mm]
Espesor de la placa	20 [mm]
Material	Aluminio natural anodizado

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2007)

La Figura 126 tomada de la hoja técnica de este perfil muestra las dimensiones acotadas de la sección de la placa. Las magnitudes están en milímetros.

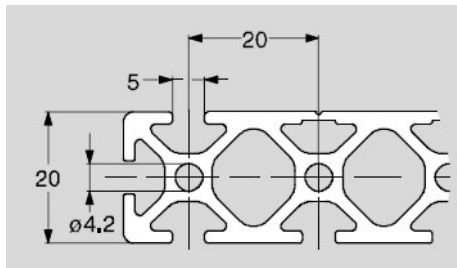


Figura 126. Sección de base ranurada sistema 5

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2007)

#### 4.2.2. Discos

Los discos a ser manipulados son de acero. Estos son tomados por el electroimán gracias a sus propiedades ferromagnéticas. El acero utilizado es AISI 1018. El diámetro de los discos es 18 [mm] y su espesor es de 8 [mm].

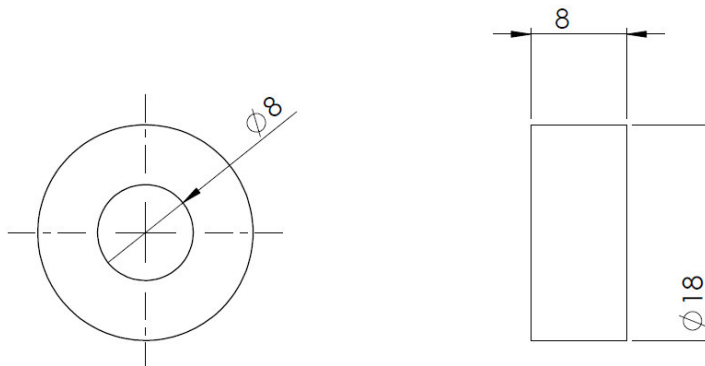


Figura 127. Dimensiones discos

Los discos son pintados con pintura electrostática. Los colores escogidos son azul y naranja. Estos colores representan las marcas Festo e IFM, las cuales representa Ecuainsetec en el país. Los discos se pintan en su totalidad. En cada una de las caras, existe una cavidad cilíndrica de 10 [mm] de diámetro y 1 [mm] de alto. Esta asegura que por el rozamiento y desgaste de la pintura, la zona de identificación para el sensor se mantenga intacta.

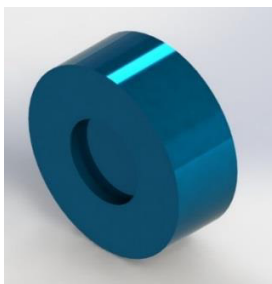


Figura 128. Diseño disco azul

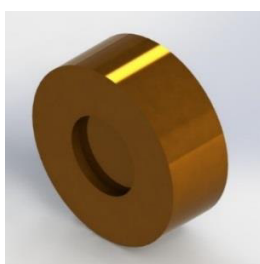


Figura 129. Diseño disco naranja

#### 4.2.3. Dispensador de discos

El dispensador diseñado despacha los discos apilados en un tubo rectangular curvo. Los discos se ingresan de manera manual y ruedan por el canal formado en la estructura metálica por efecto de la gravedad. Los discos se apilan uno sobre otro y se desplazan cuando se retira uno después de la etapa de identificación.



Figura 130. Diseño dispensador de discos

Se escogió esta forma de suministro de los discos para evitar el desgaste de la pintura en las caras del disco al apilarlos uno sobre otro. De esta manera también se puede levantar los discos con un manipulador electromagnético,

sin la necesidad de utilizar un gripper neumático que aumenta costos y espacio para sus equipos de control.

El dispensador se basa en un tubo de sección rectangular de 10 x 20 [mm]. El radio de curvatura es de 163 [mm] aproximadamente y la longitud del mismo es de 192 [mm].

Se determinó sus dimensiones basándose en la necesidad de almacenar 10 discos. Cada disco tiene un diámetro de 18 [mm]. De esta manera se necesita un arco de aproximadamente 180 [mm] de longitud. El arco del dispensador debe tener 60° de apertura y un tramo recto vertical para el depósito de los discos.

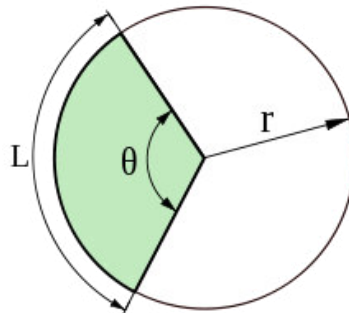


Figura 131. Fórmula sector circular

Fuente: (Wikipedia, 2016)

$$L = r * \theta$$

$$r = \frac{L}{\theta}$$

$$r = \frac{180[mm]}{\frac{\pi}{3}[rad]} = 171.89 \approx 172[mm]$$

El tubo metálico tiene una sección de 20x10 [mm]. Sus paredes son de 1[mm] de espesor. De esta manera, ya que el radio de curvatura desde la línea media del tubo es de 172[mm], su radio interno es de 163[mm]

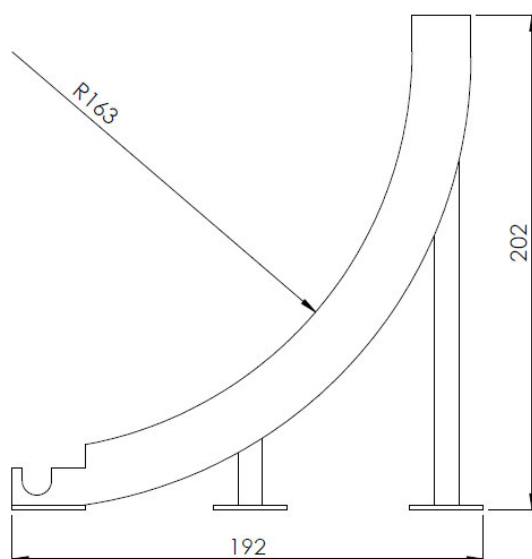


Figura 132. Vista frontal dispensador

Las bases son tres varillas cuadradas soldadas con una placa paralela al piso de 40 x 30 [mm] de área. Cada placa tiene cuatro orificios de 5 [mm] de diámetro como se muestra en la Figura 133. Esto para fijarse a la base del sistema.

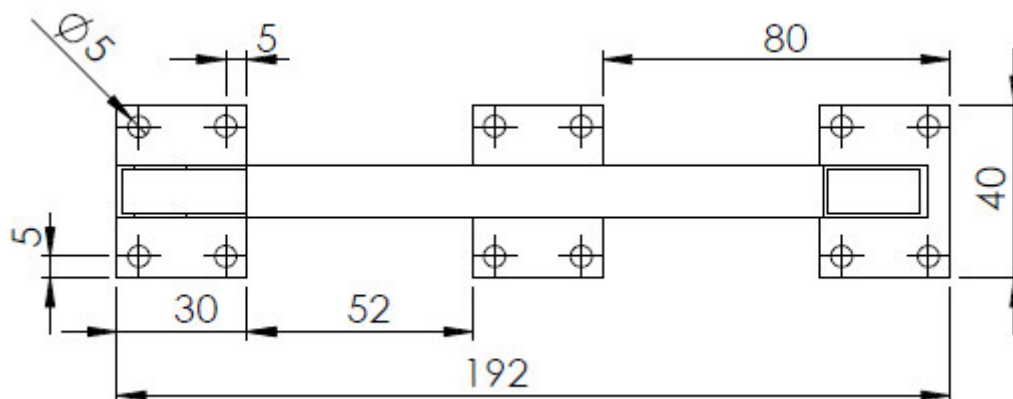


Figura 133. Vista superior dispensador

#### 4.2.4. Identificación de discos

Para la etapa de identificación de discos se utilizó dos sensores. El primer sensor es un sensor inductivo, este indica que el disco está en posición de identificación. El segundo es un sensor de color utilizado para determinar a

cuál grupo pertenece el disco. Estos se fijaron a la placa ranurada de manera que el área de sensado del disco sea siempre el mismo.

#### **4.2.4.1. Sensor de presencia**

La selección del sensor de presencia se basó en las características de los diferentes principios de funcionamiento. El sensor inductivo se adaptó mejor a las características del proceso. En la siguiente tabla presenta los criterios de selección y las características de este sensor.


Tabla 25.

## Necesidades sensor de presencia

Características sensor de presencia	
Necesidades	Características sensor inductivo
<b>Discos de acero</b>	Los sensores inductivos distinguen únicamente materiales metálicos ferromagnéticos.
<b>Sensado entre 2 y 6 [mm]</b>	Los sensores inductivos pueden detectar objetos a distancias cortas.
<b>No falsa señal por estructura metálica</b>	Un sensor inductivo rasante detecta objetos únicamente en su frente. No detecta objetos a los lados del mismo ya que esta encapsulado.
<b>Costo</b>	Sensor de bajo costo

Tabla 26.

## Sensor inductivo para identificación

Modelo	IME12-04BPSZC0S
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 134. Sensor inductivo Sick Fuente: (Sick AG, 2016)</p>
<b>Tamaño de rosca</b>	M12
<b>Diámetro</b>	12 [mm]
<b>Alcance de detección</b>	4 [mm]
<b>Tipo de salida</b>	PNP
<b>Función de salida</b>	Normalmente abierto

Fuente: (Sick AG, 2016)



El sensor se fijó a la placa base mediante una placa de acero inoxidable de 1 [mm] de espesor. Esta placa doblada 90° tiene en sus dos caras áreas de 40 x 30 [mm].

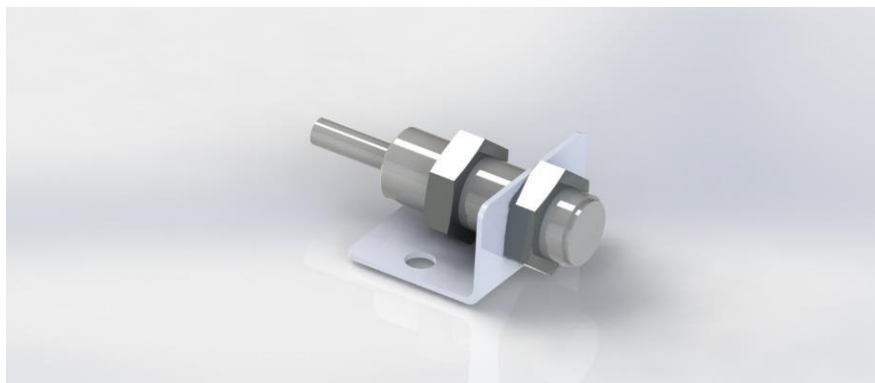


Figura 135. Sensor inductivo en placa de fijación

#### 4.2.4.2. Sensor de registro

La selección del sensor de registro se basó en características del proceso a realizarse. Al igual que con el sensor de presencia, el sensor de color fue el que se adaptó mejor a las características del proceso. La siguiente tabla presenta los criterios de selección.

**Tabla 27.**

#### **Necesidades sensor de registro**

<b>Características sensor de registro</b>	
<b>Necesidades</b>	<b>Características sensor de color</b>
<b>Dos colores</b>	Un sensor de color puede distinguir si el elemento es o no del color enseñado. Si son dos colores en el sistema no hace falta un sensor por color.
<b>Sensado entre 2 y 6 [mm]</b>	Este sensor mide hasta a 12.5 [mm] del objeto.
<b>No falsa señal por iluminación</b>	El sensor de color mide la cantidad de luz roja, verde y azul reflejada de un objeto proveniente de una fuente de luz propia del equipo.
<b>Configuración</b>	Simple desde botón de aprendizaje en el sensor.

La siguiente tabla muestras las características del sensor utilizado.

Tabla 28.

## Sensor de color para identificación


Modelo	CSM-WP117A2P
Esquemático	
Forma	Rectangular
Alcance	12.5 [mm]
Fuente de luz	LED, RGB
Tipo de salida	PNP
Ajuste	Tecla de aprendizaje

Figura 136. Sensor color Sick  
Fuente: (Sick AG, 2016)

Fuente: (Sick AG, 2016)

El sensor se fijó a la placa base mediante una placa de aluminio de 10 [mm] de espesor. Esta placa tiene un área de 40 x 40 [mm] y perforaciones M3 para fijar el sensor. El sensor va acostado sobre la placa.

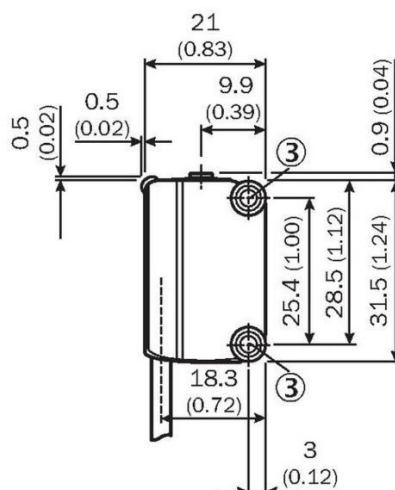


Figura 137. Plano sensor color Sick

Fuente: (Sick AG, 2016)

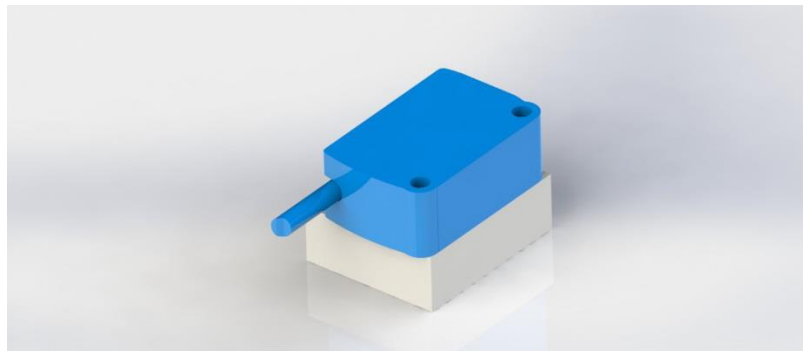


Figura 138. Sensor de color en placa de fijación

#### 4.2.5. Sujeción a base de robot cartesiano

Para fijar la base de las etapas de suministro de discos e identificación a la base del robot cartesiano se utilizó un conjunto de pletinas soldadas perpendicularmente en forma de L. Las dos pletinas son de 1/8" de espesor. Las dimensiones de la más larga son 100 x 10 [mm]. La más pequeña es de 25 x 30 [mm].

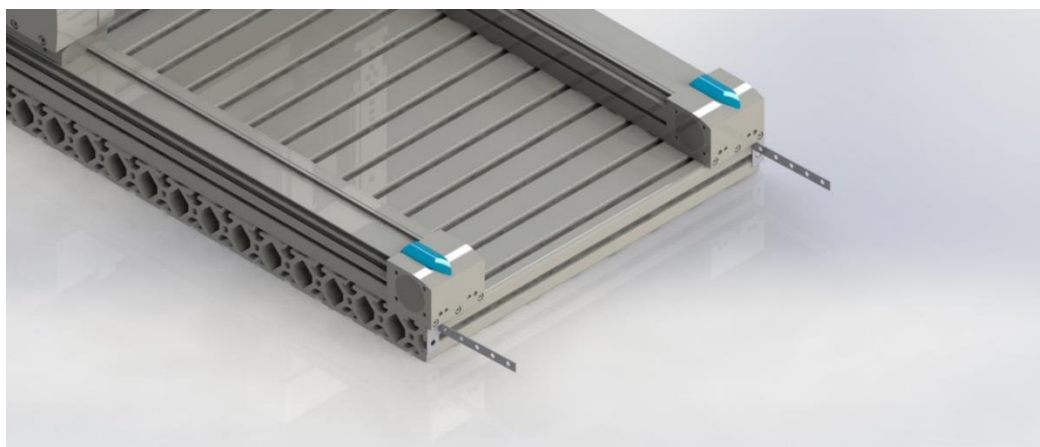


Figura 139. Fijaciones entre robot cartesiano y placa de dispensador

La pletina más larga se conecta a la base ranurada pequeña a través de orificios para pernos M5. La placa más pequeña tiene un orificio para perno M6 con el que se sujeta a la base ranurada del robot cartesiano. La fijación de las dos bases ranuradas tiene un ángulo de dos grados que permite mantener siempre cierta inclinación en el dispensador de discos. De esta manera, la gravedad ayuda a que los discos se mantengan en la posición final de identificación.

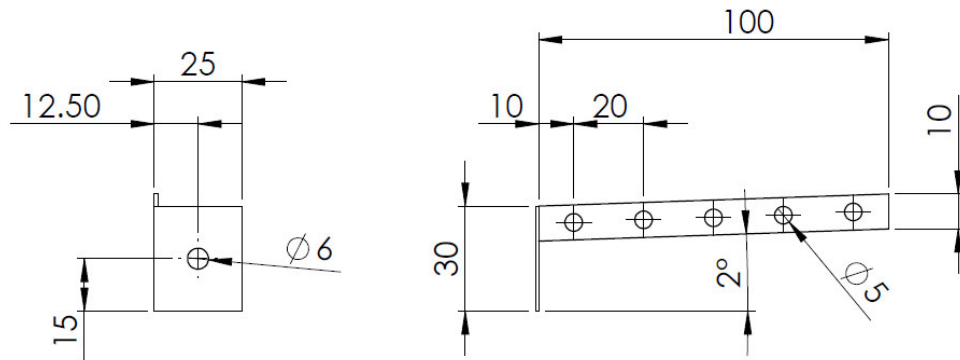


Figura 140. Vista frontal y lateral de fijaciones para placas ranuradas

### 4.3. Equipos de control

Los equipos principales del sistema de control de este módulo son los controladores de servomotores y el controlador lógico programable. Estos pertenecen a la marca Festo. Accesorios como borneras de paso, y protecciones contra corto circuito y sobre carga son parte del stock de la empresa proveniente de diferentes marcas.

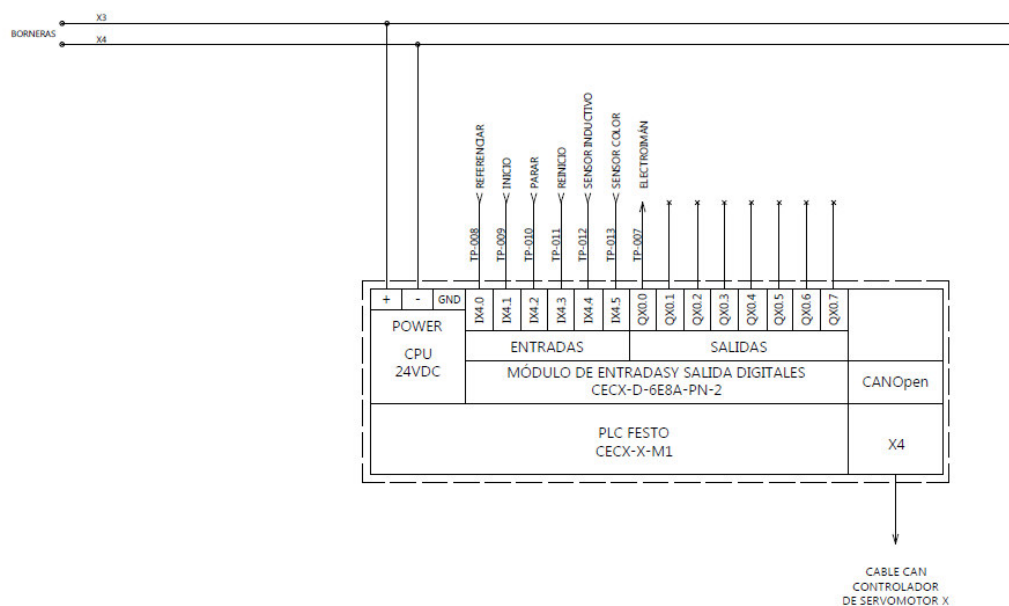


Figura 141. Plan eléctrico parcial PLC CECX FESTO


Toda la parte eléctrica y electrónica de control se encuentra instalada en una placa ranurada independiente del robot cartesiano. La base es de las mismas dimensiones que la del manipulador.

### 4.3.1. Controladores de servomotores

Los controladores de servomotores utilizados pertenecen a la línea CMMP-AS de Festo. Para los tres motores de este módulo se utilizó el mismo modelo de controlador. Estos equipos realizan el sistema de control de lazo cerrado entre el motor, su encoder y los parámetros de referencia dados por el usuario. El controlador lee los valores de posición, velocidad y aceleración deseados a través de distintas interfaces y los transmite en un variador de frecuencia al servomotor. El encoder envía la información de la posición angular del eje motriz como retroalimentación para cerrar el lazo de control. El sistema maneja varios modelos de controladores como el proporcional, proporcional integral, entre otros. Las especificaciones del controlador se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 29.**

#### Controlador de servomotor

Modelo	CMMP-AS-C2-3A-M3
Esquemático	 <p>Figura 142. Controlador CMMP-AS Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2016)</p>
Frecuencia de salida	0 ... 1000 [Hz]
Tensión de salida	3 x 270 [VAC]
Resistencia de frenado	60 [Ohm]
Corriente de salida nominal	2.5 [A]
Potencia nominal	500 [VA]
Tensión DC, alimentación lógica	24 [VDC]
Interfaz de configuración	USB Ethernet
Interfaces bus de campo	CANopen
Velocidad de transmisión	1 [Mbits/s]
Función de seguridad	Safe Torque OFF
Nivel de seguridad	SIL 3

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Los tres controladores se conectan entre sí y con el controlador superior a través de CANopen. Se utilizan conectores DB9 especiales para este bus de campo de manera que se mantenga una topología en línea. El cable utilizado proviene de la marca Igus. Es un cable apantallado completamente, de gran resistencia a aceites, y retardante de fuego.

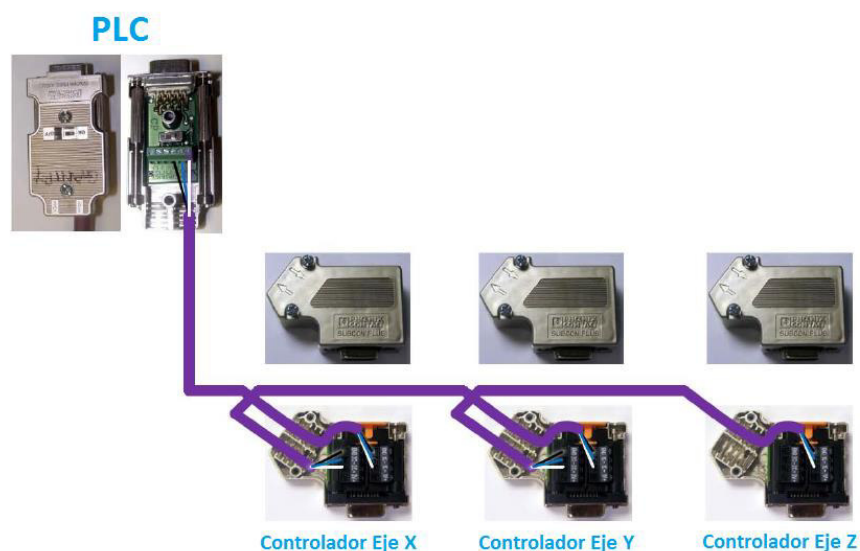


Figura 143. Esquema cableado CANopen

Fuente: (Kottmann, 2009)



Figura 144. Cable CFBUS Igus

Fuente: (Igus, 2016)

El controlador incluye una interfaz DB25 para entradas y salidas digitales. Las entradas, 10 en total, se utilizan para los sensores de final de carrera, activación de freno, selección de perfil de movimiento configurado en el equipo, método de referencia de cada eje, etc. Las salidas, 5 en total, funcionan como indicador de finalización de movimiento, errores, entre otros. La siguiente figura muestra la interfaz I/O necesaria para el control desde el bus de campo.

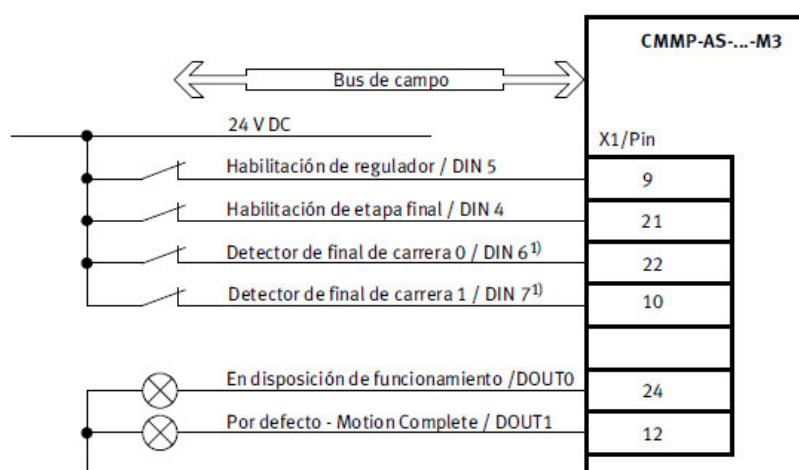


Figura 145. Interfaz I/O necesario para bus de campo

Fuente: (Festo AG & C. KG, 2014)

La habilitación del regulador y de etapa final se la habilita desde el controlador de orden superior, en este caso el PLC.

El controlador cuenta con un interruptor dip switch con el cual se habilita la resistencia de terminación necesaria para la comunicación CANopen. Esta se debe incluir siempre al terminar el bus de comunicación.

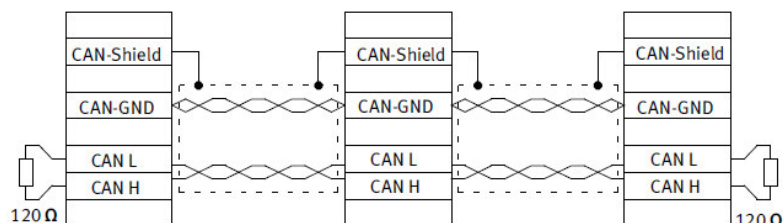


Figura 146. Resistencia de terminación CANopen

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

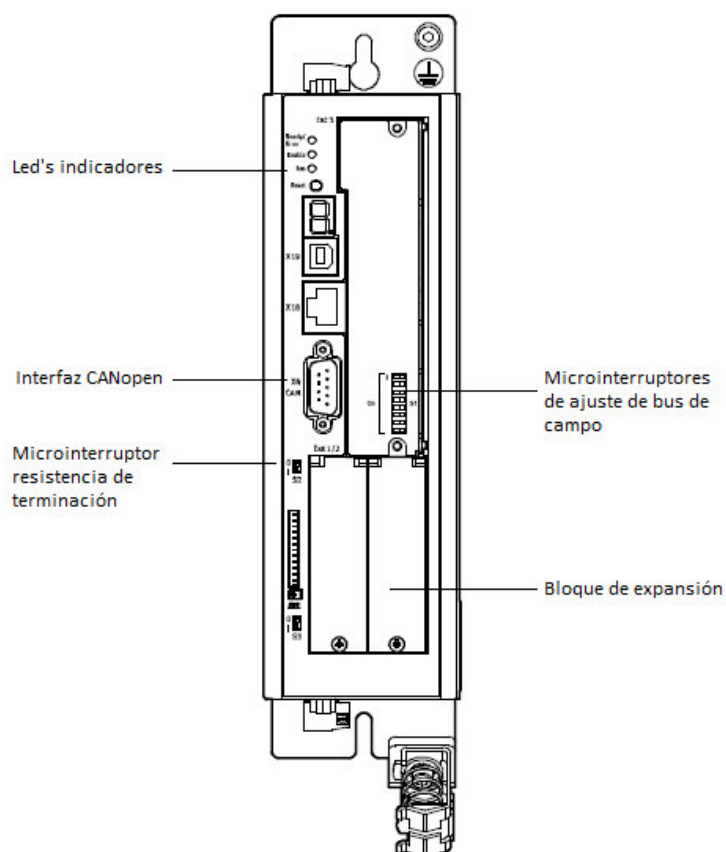


Figura 147. Vista frontal de CMMP-AS

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

Las protecciones necesarias para estos controladores se especifican en el manual de operador. Según la corriente nominal del controlador se establece el valor de la protección tanto de cortocircuito como de sobre corriente.

**Tabla 30.**

**Protecciones de red necesarias**

Controlador del motor	Fases	Corriente [A]	Característica
<b>CMMP-AS-C2-3A</b>	1	16	B16
<b>CMMP-AS-C5-3A</b>	1	16	B16
<b>CMMP-AS-C5-11A</b>	3	16	B16
<b>CMMP-AS-C10-11A</b>	3	16	B16

Fuente: (Festo AG & C. KG, 2014)

Para cualquiera de estos controladores en los que se incluye el CMMP-AS-C2-3A, la protección necesaria es de 16 [A] sobre el cable.



### 4.3.2. Controlador lógico programable

El PLC utilizado en este módulo pertenece a la serie CECX de Festo. Esta serie se especializa en control de movimiento de ejes electromecánicos, tanto en ejes independientes como en interpolación de dos y tres ejes. Utiliza principalmente una interfaz CANopen para comunicación con los controladores de motores. El autómatas es un PLC modular que permite la expansión en módulos tanto de comunicación como en entradas y salidas digitales y analógicas.




Figura 148. PLC CECX

Las especificaciones del PLC se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 31.**

### Controlador lógico programable

Modelo	CECX-X-M1
Esquemático	 <p>Figura 149. Controlador CECX Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2015)</p>
Tensión de funcionamiento	19,2 ... 30 [VDC]
Consumo máximo	69 [W]
Velocidad de procesador	400 [MHz]
Software de programación	CoDeSys v2.3
Lenguajes de programación	Diagrama de escalera (LD) Lista de instrucciones (IL) Bloques de funciones (FB) Texto estructurado (ST) Diagrama secuencial de funciones (SFC)
Interfaces	Ethernet, CAN-Bus, RS-485-A, USB
Nivel de protección	IP20

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2015)

El controlador lógico programable cuenta con librerías para control de movimiento basadas en PLCOpen. Estas permiten controlar ejes asincrónicos en posición, velocidad, aceleración y desaceleración. Se pueden comandar desde la habilitación del controlador de servomotor hasta secuencias de movimiento con posiciones absolutas y relativas.



Figura 150. PLCOpen Motion Control

Fuente: (PLCopen, 2016)

Festo agrupa todas estas funciones y añade nuevos bloques de control que permiten interpolación hasta en tres ejes para sistemas cartesianos. Utilizan el nombre Softmotion para todo este conjunto de librerías en CoDeSys. Este PLC trae este grupo de herramientas cargadas en el entorno de programación. En el módulo cartesiano se utilizaron bloques de control asincrónico para los tres ejes.



Figura 151. Concepto Softmotion Festo

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2013)

El protocolo de comunicación utilizado para el control de movimiento es CANopen. Se utiliza este bus debido a la alta velocidad de comunicación que llega a 1 [Mbaud]. El PLC no cuenta con un micro interruptor para accionar la resistencia de terminación para comunicación CAN. Debido a esto, se agregó una resistencia de 120 [Ohm] en el conector que llega al autómeta

programable. Esto se utiliza para cerrar el bus que conecta al equipo con los controladores de servomotores.

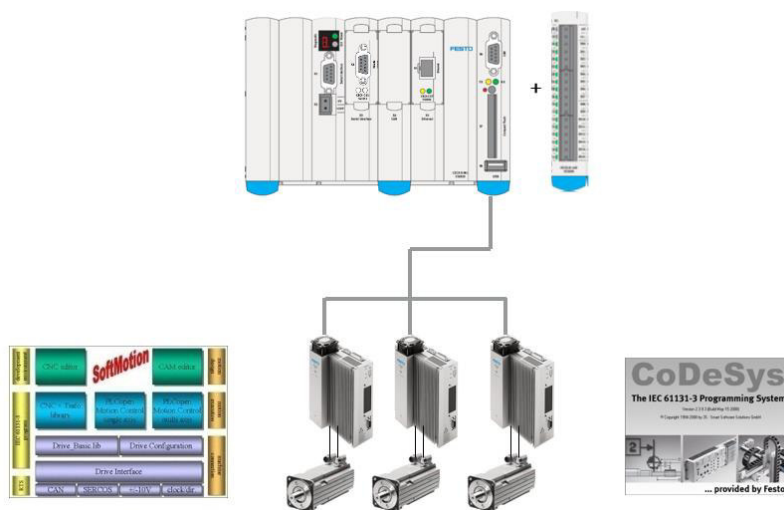


Figura 152. Esquema de conexión CAN con PLC

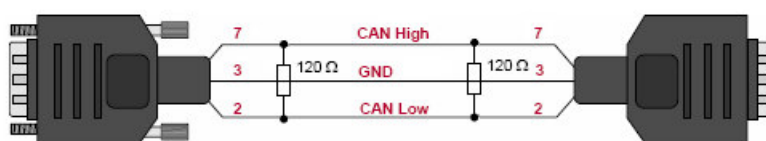


Figura 153. Resistencia de terminación en conectores

Fuente: (Kottmann, 2009)

El controlador programable del módulo incluye una tarjeta de entradas y salidas tipo NPN. A esta interfaz se conectó la botonera, sensores para identificación y el actuador electromagnético.

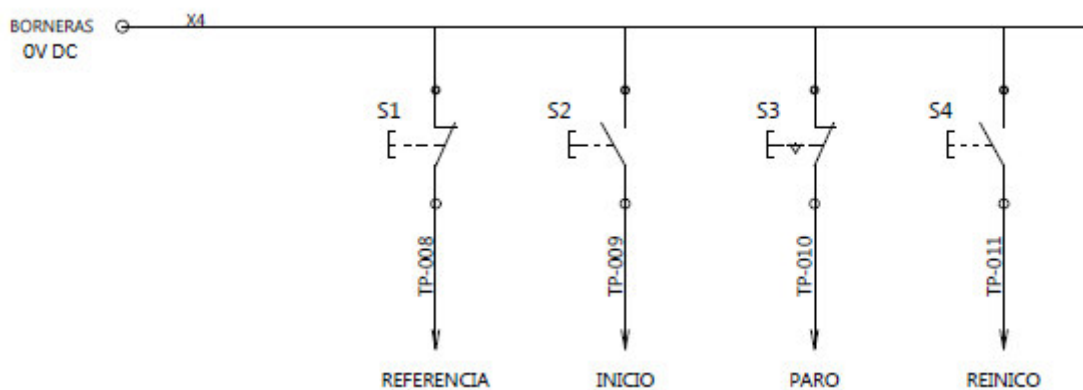



Figura 154. Diagrama eléctrico parcial entradas digitales

Un resumen de las especificaciones del módulo adicional se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 32.**

**Módulo de entradas y salidas PLC**

Modelo	CECX-D-6E8A-PN-2
<b>Esquemático</b>	 <p>Figura 155. Módulo I/O digitales Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2015)</p>
<b>Tensión de funcionamiento</b>	19,2 ... 30 [VDC]
<b>Consumo máximo</b>	1.9 [W]
<b>Entradas digitales, número</b>	6
<b>Entradas digitales, lógica de conmutación</b>	Negativa NPN
<b>Entradas digitales, retardo en la señal de entrada</b>	2 [ms], 100 [ms] y 12[kHz] para interrupciones
<b>Salidas digitales, número</b>	8
<b>Salidas digitales, lógica de conmutación</b>	Negativa NPN
<b>Salidas digitales, tensión de salida</b>	24 [VDC]
<b>Salidas digitales, corriente de salida</b>	2 [A]

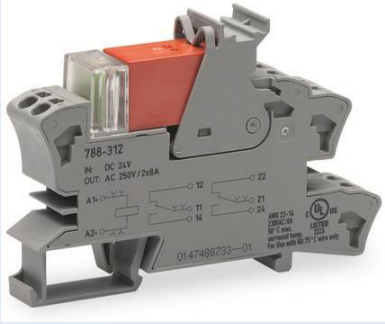
Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2015)

Los sensores utilizados para identificación tienen lógica de conmutación positiva por lo que se añadió un relé respectivamente para su conexión. De igual manera se trabajó con otro relé para el accionamiento del electroimán, ya que este funciona con 12 [VDC]. Los relés de 24 [VDC] pertenecen a la

marca Wago. Un resumen de sus especificaciones se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 33.**

**Relés 24 VDC**

Modelo	788-312
Esquemático	
	<p>Figura 156. Relé</p> <p>Fuente: (Wago Corporation, 2016)</p>
<b>Tensión de accionamiento</b>	24 [VDC]
<b>Corriente mínima</b>	19.1 [mA]
<b>Número de contactos aislados</b>	2
<b>Tensión máxima contactos</b>	250 [VAC]
<b>Carga mínima de contactos recomendada</b>	12 [VDC] / 10 [mA]
<b>Tiempo de conmutación</b>	8 [ms]
<b>Número de conmutaciones operable</b>	30'000 000

Fuente: (Wago Corporation, 2016)


#### 4.3.3. Fuente de alimentación

La fuente de poder utilizada pertenece a la marca Festo. Este equipo suministra 24 [VDC] y 10 [A]. Se alimenta a 110/240 [VAC]. Tiene un potenciómetro que permite regular la salida de voltaje desde 23 hasta 28 [VDC] para aplicaciones que así lo necesiten.

Las especificaciones de la fuente de alimentación se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 34.

## Fuente de alimentación 24 VDC

Modelo	SVG-1/230VAC-24VDC-10A
Esquemático	 <p>Figura 157. Fuente de alimentación Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)</p>
Alimentación primaria	110 / 230 [VAC]
Corriente de entrada	2.8 / 1.2 [A]
Número de contactos aislados	2
Tensión de salida nominal	24 [VDC]
Corriente de salida nominal	10 [A]

Fuente: (Festo AG &amp; Co. KG, 2014)

## 4.3.4. Borneras

Se utilizaron borneras de tecnología Cage Clamp pertenecientes a la marca Wago. Estas se caracterizan por no utilizar tornillos en la conexión. Son altamente resistentes a sobretensión. Existen varios tamaños para diferentes calibres de cable y varias configuraciones con diferentes funciones.

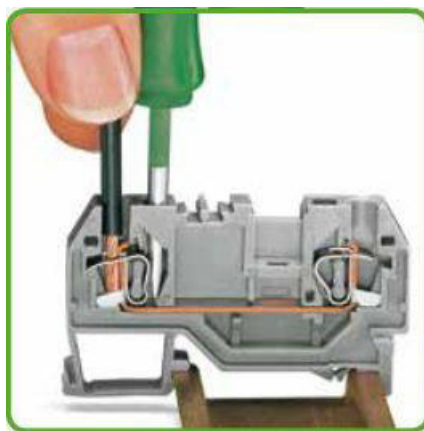


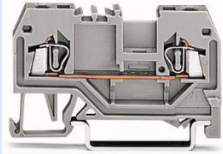

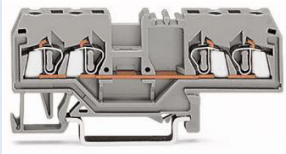
Figura 158. Borneras Cage Clamp

Fuente: (Wago Corporation, 2016)

#### 4.3.4.1. Borneras generales

Se utilizaron borneras de dos, tres y cuatro polos para cable AWG 18. Pertenecen a la serie 280 de Wago. La siguiente tabla muestra las características de las borneras utilizadas.

**Tabla 35. Borneras**

Serie	280-901	280-681	280-833
Imagen referencial			
	Figura 159. Bornera dos polos Fuente: (Wago Corporation, 2016)	Figura 160. Bornera tres polos Fuente: (Wago Corporation, 2016)	Figura 161. Bornera cuatro polos Fuente: (Wago Corporation, 2016)
Número de polos	2	3	4
Calibre de cable	12 – 18 AWG	12 – 18 AWG	12 – 18 AWG

Fuente: (Wago Corporation, 2016)

Se utilizaron puentes contiguos para conexiones entre borneras.



Figura 162. Puentes contiguos

Fuente: (Wago Corporation, 2016)

#### 4.3.4.2. **Borneras de tierra**

Para conectar todos los equipos a tierra, se utilizaron borneras especiales de la serie 280 de Wago para esta función. Estas se caracterizan por conectarse directamente al riel DIN.



Figura 163. Bornera de tierra

Fuente: (Wago Corporation, 2016)

#### 4.3.4.3. **Borneras porta fusibles**

Para instalar los fusibles de protección, se utilizó borneras porta fusibles de la serie 281 de la marca Wago. Estos permiten insertar fusibles tipo G de diferentes corrientes para proteger circuitos de control. Se componen de una bornera Cage Clamp y una porta fusible insertable.

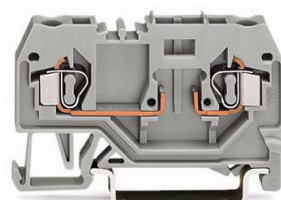


Figura 164. Bornera sin conexión entre polos

Fuente: (Wago Corporation, 2016)



Figura 165. Porta fusible insertable

Fuente: (Wago Corporation, 2016)



#### 4.4. Ensamblaje

El ensamblaje del módulo demostrativo se separa en tres partes, el robot cartesiano, la etapa de suministro e identificación y los equipos de control.

##### 4.4.1. Robot cartesiano

El robot cartesiano se montó sobre una placa de sistema 8 ranurada. Esta tiene un área de 700 x 450 [mm]. Se montó primero el eje X como base, sobre este el eje Y y finalmente el eje Z. El efector final fue el último componente en instalarse. Entre cada eje que existe contacto se instaló una cadena portables.

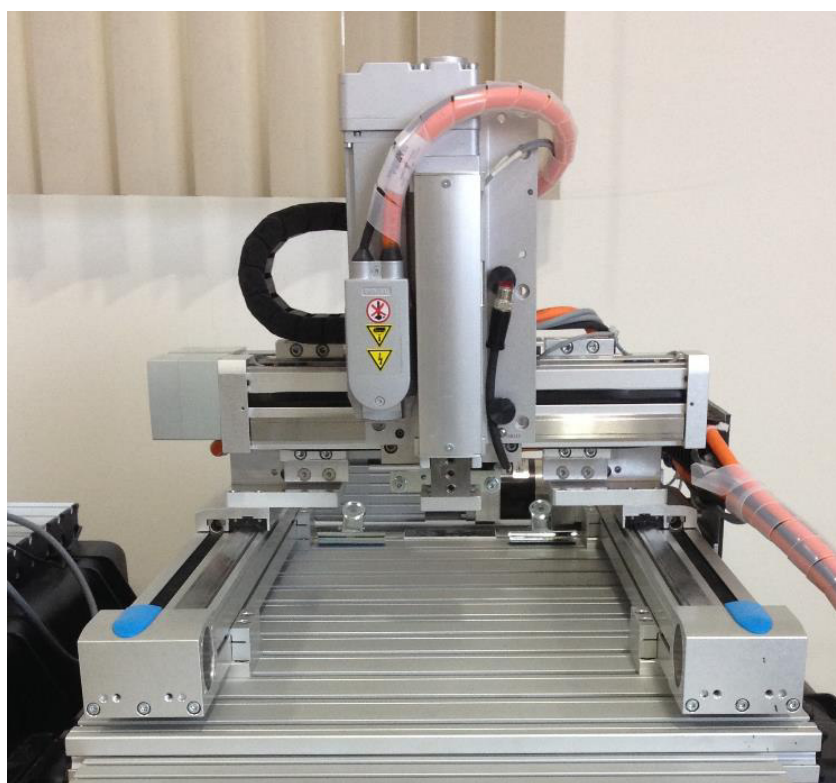


Figura 166. Robot cartesiano

El eje X contó con dos ejes de banda dentada en paralelo y un servomotor. Primero se montó el motor a la caja de reducción planetaria. Esta se conectó al eje EGC-TB de manera que el motor permanezca dentro de la placa base.



Figura 167. Engranaje planetario reductor 5:1

El segundo eje de banda dentada se montó paralelo al primero. Estos dos sirven de base para el resto del robot. El eje Y contó con un eje accionado por husillo y un servomotor montado en paralelo con el eje para reducir espacio. Primero se montó el motor a la transmisión en paralelo. Esta se conectó al eje EGC-BS de manera que el motor permanezca paralelo al eje.

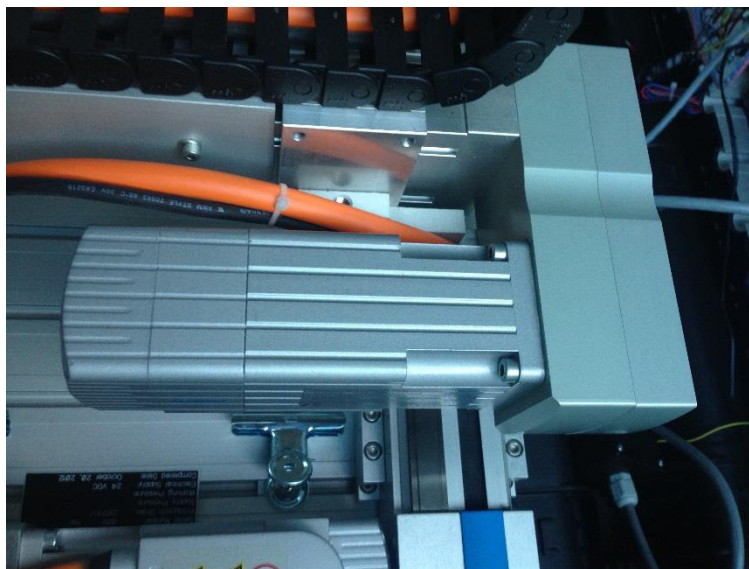


Figura 168. Conexión en paralelo Eje Y

El carro del eje Y esta perpendicular al plano XY. Sobre este se montó el eje lineal Z y su respectivo servomotor.

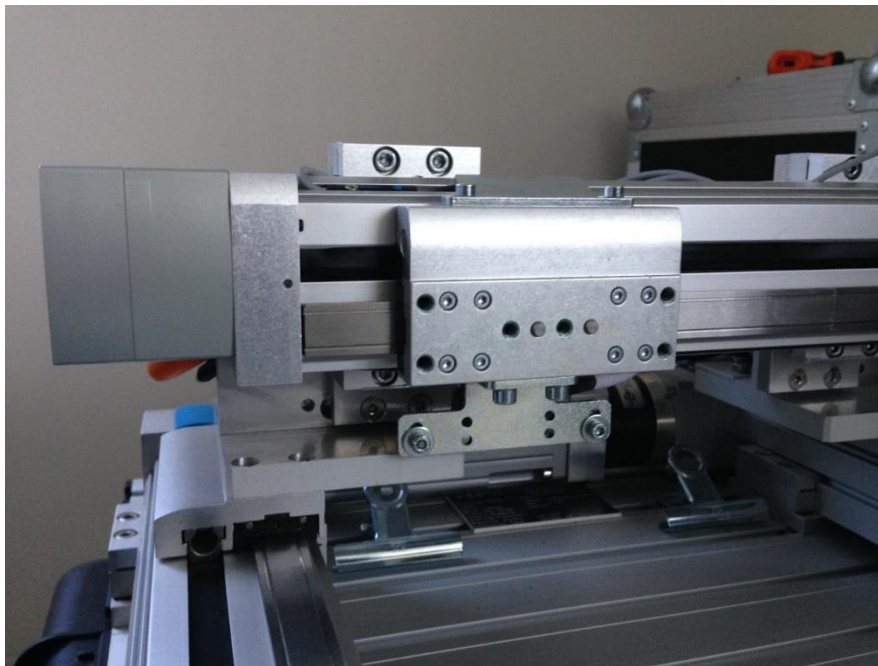


Figura 169. Carro Eje Y

El eje Z contó con un eje accionado por husillo y un servomotor montado en paralelo con el eje para reducir espacio al igual que en el eje Y.

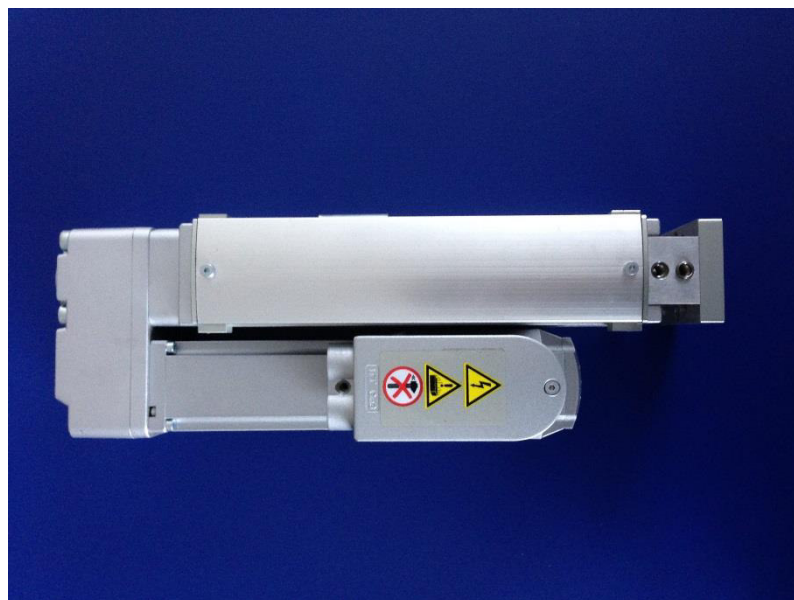


Figura 170. Montaje en paralelo de eje Z



Figura 171. Transmisión por banda dentada eje Z

Los cables de encoder y motor de cada servomotor se instalaron a través de conectores codificados por colores con lo que se asegura evitar errores.

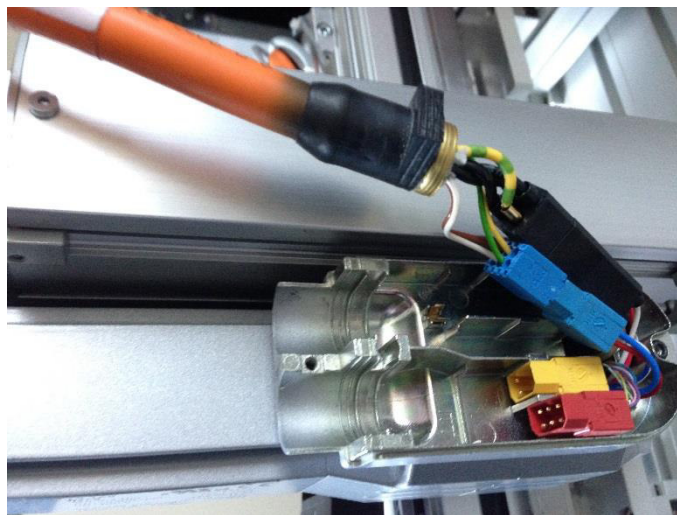


Figura 172. Conexión cables motor y encoder



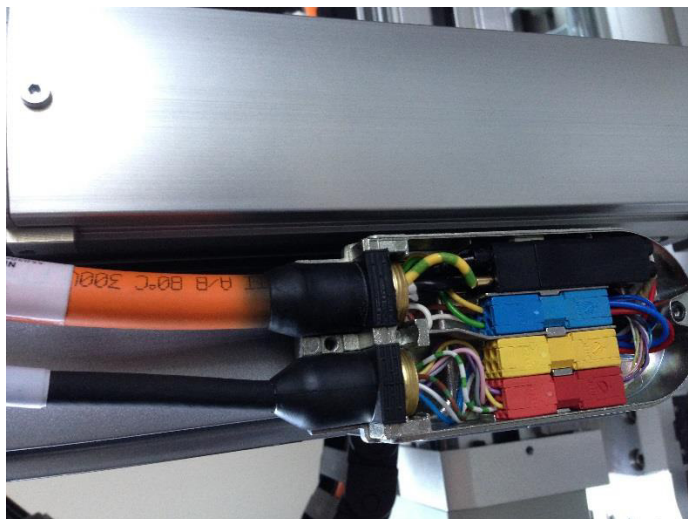


Figura 173. Conexiones de motor en caja de motor

Se conectó en cada eje dos sensores finales de carrera. Estos sensores inductivos se ajustan dentro de las ranuras a lo largo de cada eje. Se usan levass de conmutación para la activación de los mismos.



Figura 174. Instalación de sensor final de carrera y leva de conmutación

Se conectó la garra electromagnética mediante una placa de sujeción construida en tol. Esta se fija a una placa de acero inoxidable doblada en L. Aquí se monta el electroimán.



Figura 175. Montaje de la garra magnética

Las cadenas porta cables se instalaron entre los ejes X y Y, y entre la base ranurada fija y el eje X. Se utilizaron placas de aluminio compuestas tipo alucobond para fijar las cadenas a los ejes. Se utilizó este material ya existían retazos del mismo en la empresa.



Figura 176. Cadenas porta cables Ejes XY y Ejes YZ

Los cables de los sensores se centralizaron en un acumulador de señal fijado en la base ranurada.



Figura 177. Acumulador de señales en base ranurada

#### 4.4.2. Suministro e identificación

Se construyó el suministrador de discos doblando un tubo rectangular de 20 x 10 [mm] de sección y 1 [mm] de espesor. Este se soldó a varillas cuadradas que formaron las patas de dispensador.



Figura 178. Construcción dispensador

Se lijó y pintó el dispensador con pintura de vehículos de color gris. El dispensador tiene orificios en la zona inferior para la detección de los sensores de color y presencia. Se montó el dispensador en una base ranurada de sistema 5 de área 400 x 400 [mm].

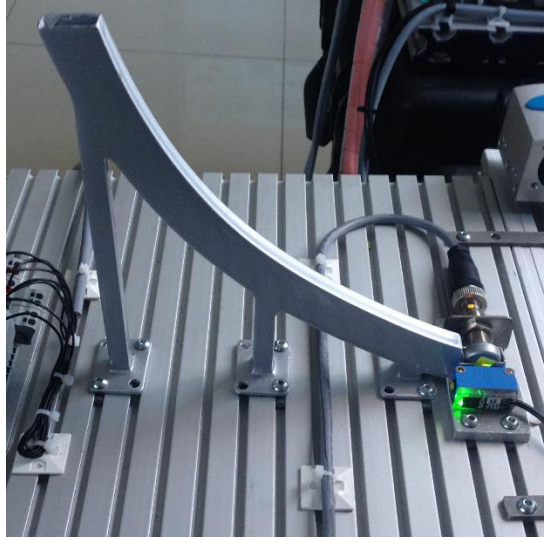


Figura 179. Dispensador pintado

Se realizó un proceso de machuelado en los orificios laterales de la placa base para fijarla a la del robot cartesiano. Se trabajó con machuelos de rosca M5.



Figura 180. Machuelado

Los sensores contaron con placas de fijación para alcanzar el centro de los discos en la posición final del dispensador. Todas las bases se fijaron a la base ranurada a través de tuercas deslizantes.



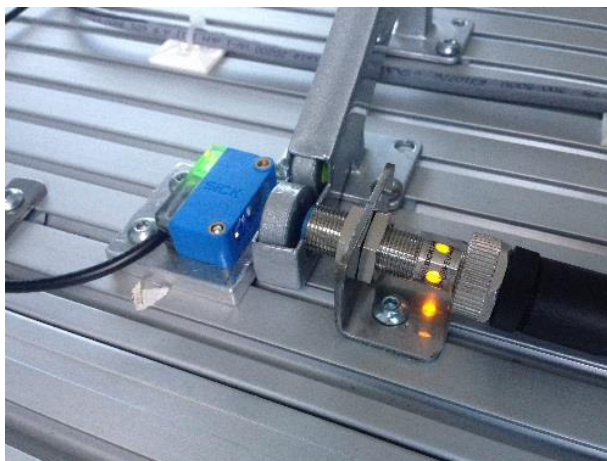


Figura 181. Fijación de sensores

Los discos se maquinaron en torno para alcanzar las dimensiones deseada. Se pintaron bajo un proceso de pintura electroestática, de colores naranja y azul.

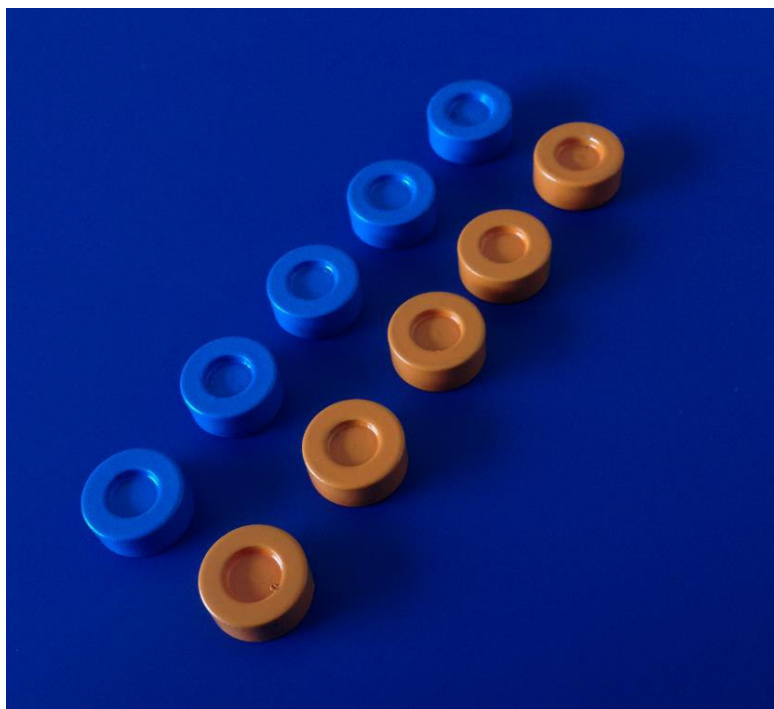


Figura 182. Discos pintados

#### 4.4.3. Equipos de control

En una base ranurada de sistema 8 igual a la del robot cartesiano se instalaron todos los equipos de control. Las conexiones eléctricas se basan en el plano eléctrico adjunto en los anexos de este documento.



Figura 183. Borneras placa de control

Se incluyó en la base ranurada del sistema de suministro e identificación, borneras de alimentación para los sensores. También se incluyeron los relés para enviar una señal NPN al PLC.

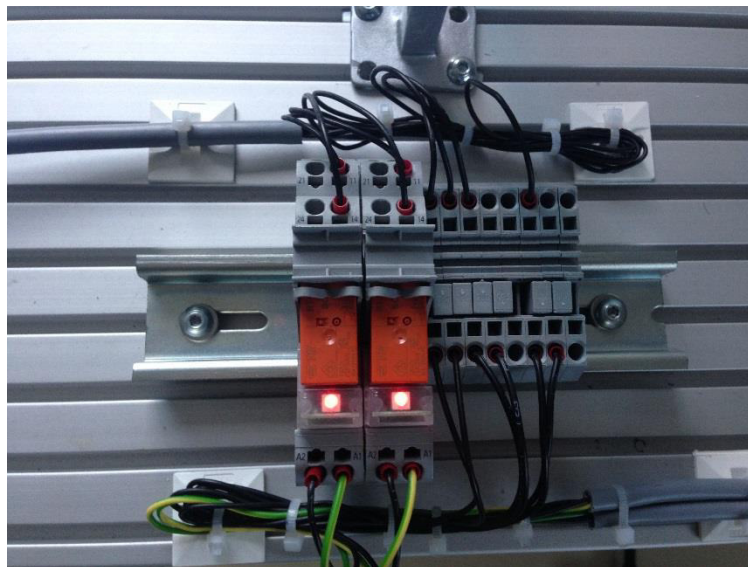


Figura 184. Conexión eléctrica en sistema de suministro e identificación

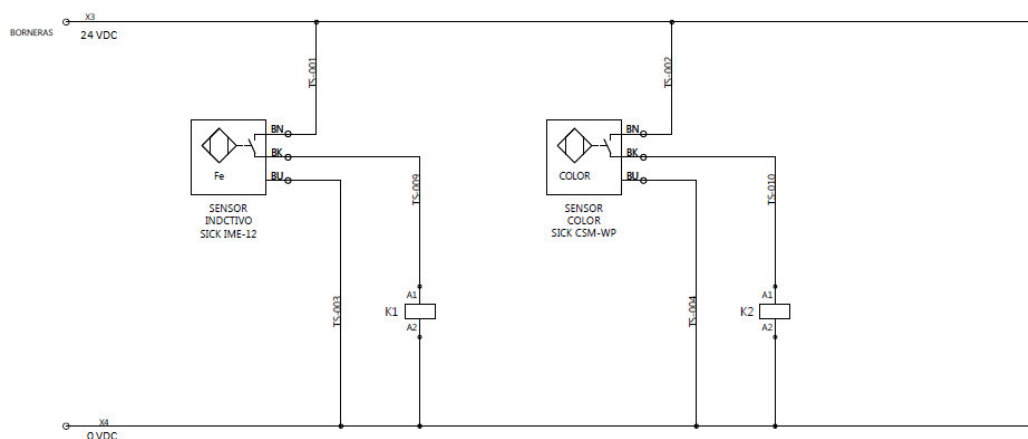


Figura 185. Diagrama eléctrico parcial sensores identificación

El cableado desde la placa de identificación y suministro, a la placa principal de control, fue a través de un cable multipolo de cuatro hilos. Se usó un conector M12 5 polos para fácil desconexión entre placas.

La botonera cuenta con tres pulsadores normalmente abiertos y un botón con enclavamiento. Estos se conectaron todos a un polo común. Al tener entradas NPN en el PLC se conectó la señal negativa de la fuente de 24 [VDC]. Se utilizó un cable multipolo de cinco hilos para llevar las señales eléctricas de la botonera al controlador.

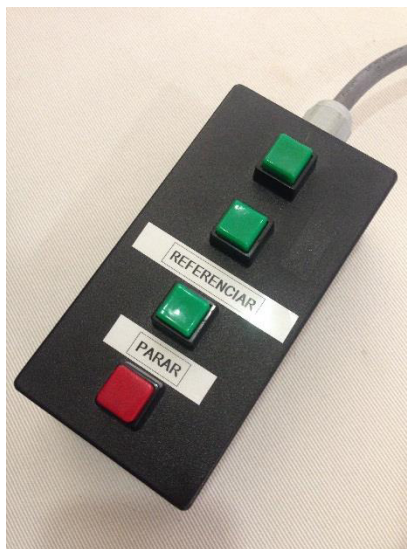


Figura 186. Botonera módulo demostrativo

## CAPÍTULO 5

### SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control del módulo demostrativo se basó en tres partes: la configuración de controladores de servomotores, programación del PLC y creación de interfaces de usuario.

#### 5.1. Configuración de controladores de servomotores

La configuración de los controladores de serie CMMP-AS se realizó a través del programa Festo Configuration Tool. Este entorno permite crear configuraciones de controladores, ejes y motores en base a sus características principales de manera que las constantes de control se calculen automáticamente. Se puede configurar tanto ejes electromecánicos Festo como de otro fabricante.



Figura 187. Festo configuration tool

##### 5.1.1. Festo Configuration Tool

Este software configura funciones y modos de trabajo de cada controlador así como las variables de control en función al tipo de montaje, a la carga de trabajo, y a los motores y ejes a utilizarse.

## 5.1.2. Componentes

Para iniciar un proyecto de configuración se debe seleccionar el tipo de controlador y el firmware con el que este trabajará. El firmware establece los parámetros configurables que cada versión acepta.

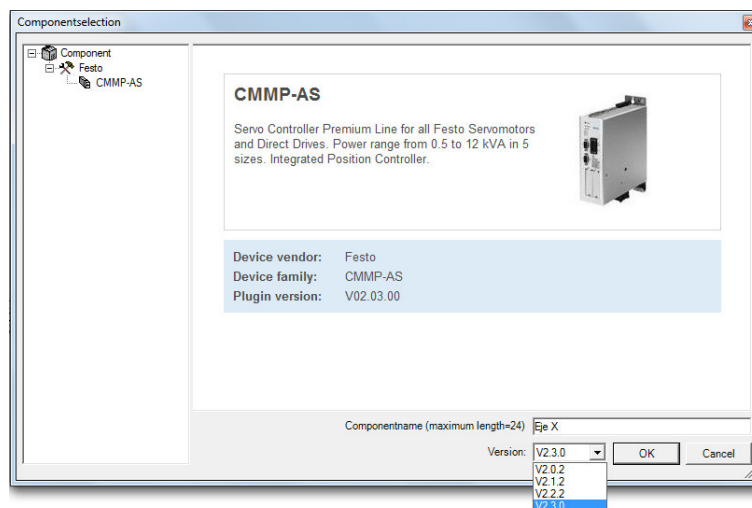


Figura 188. Selección de controlador y firmware

Una vez seleccionado el controlador, se agregan motores y ejes electromecánicos. Los actuadores pueden ser lineales como rotatorios. El software maneja una base de datos con los equipos pertenecientes a Festo. De manera que con el código del producto se importan todas sus características.

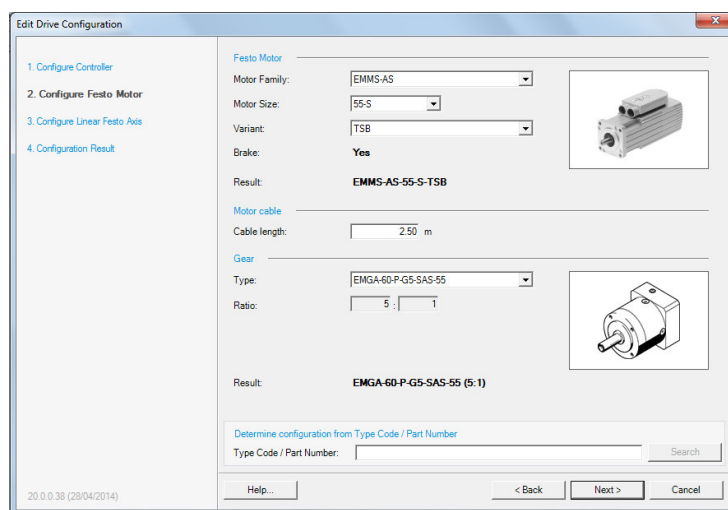


Figura 189. Selección de servomotor

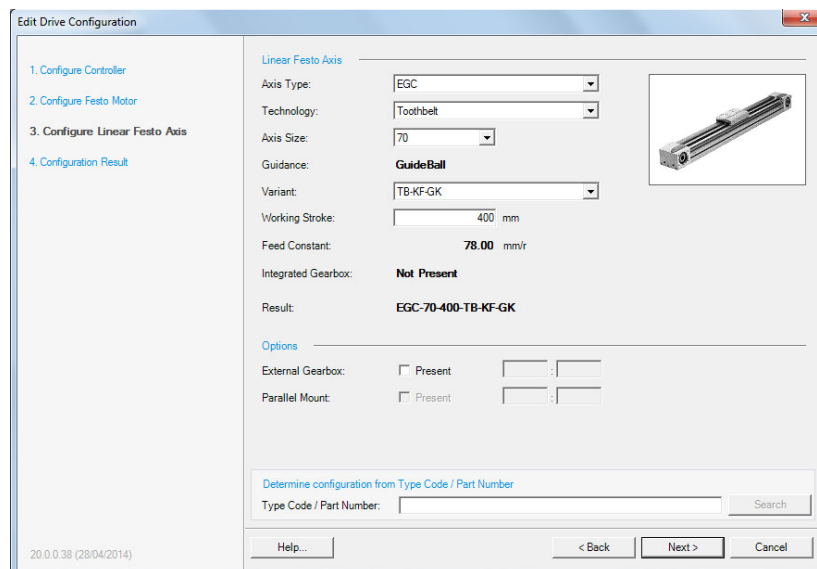


Figura 190. Selección de eje accionado por banda dentada

Al finalizar la selección se presenta un resumen de los equipos seleccionados de manera que se realice una revisión de los mismos.

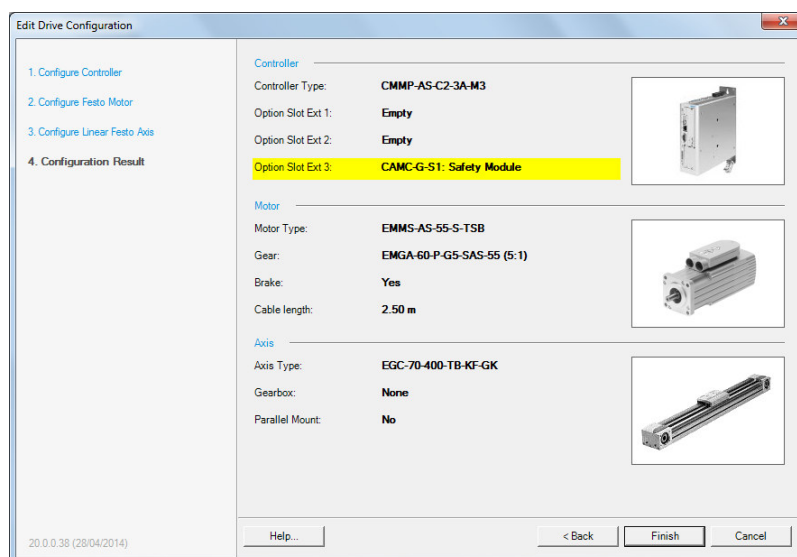


Figura 191. Resumen de selección de componentes

### 5.1.3. Modo de operación

El modo de operación determina si la conexión al controlador se va a realizar desde un bus de campo o tan solo entradas y salidas directas del equipo. En el caso del módulo demostrativo se utiliza CANopen para la comunicación con el PLC.

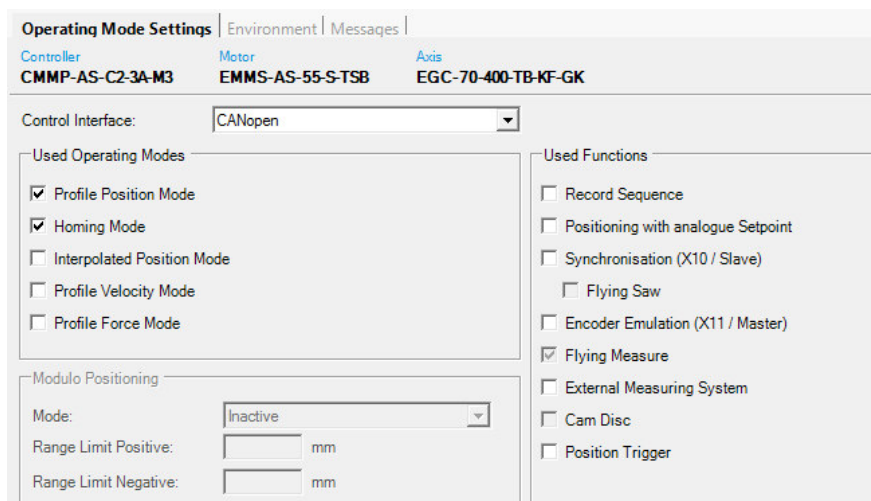


Figura 192. Selección CANopen

Dentro del modo de operación se establece la orientación de montaje y la carga estática del eje. Estos parámetros permiten al software calcular las constantes de control con las que trabajarán los motores.

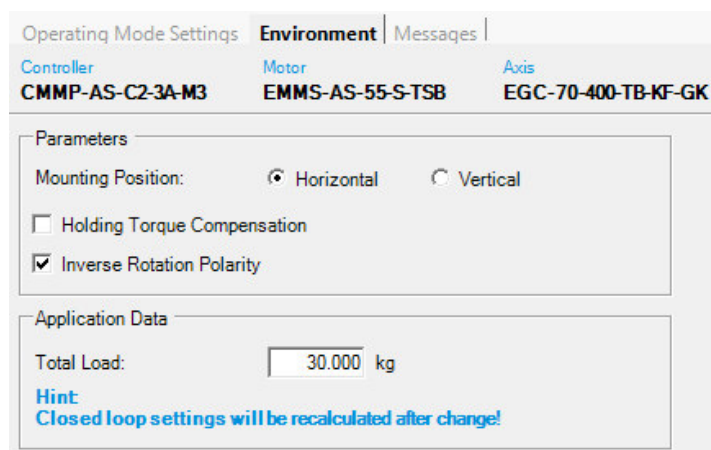


Figura 193. Selección orientación de montaje

Los parámetros de control calculados se pueden ver en la sección Control Loop del árbol de configuración. En esta ventana los valores de las constantes se encuentran bloqueadas para su edición. Se puede realizar modificaciones manuales pero es recomendable mantener las calculadas por el software.



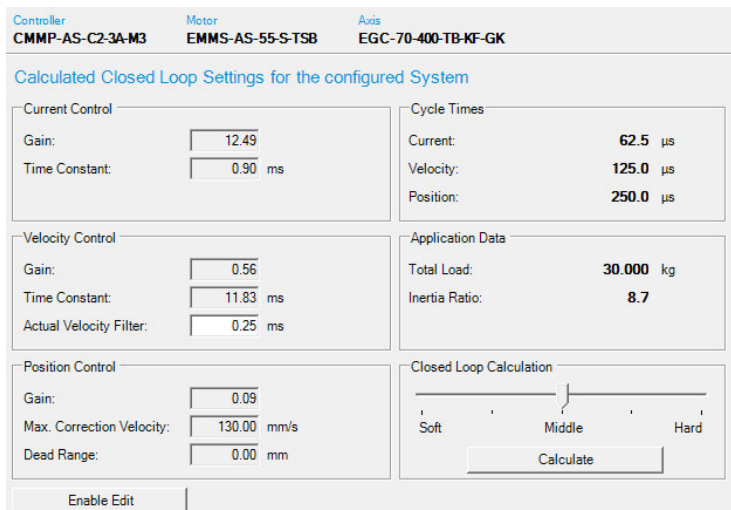


Figura 194. Constantes de control

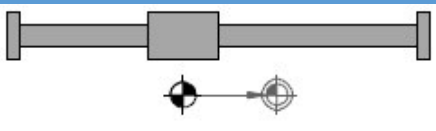
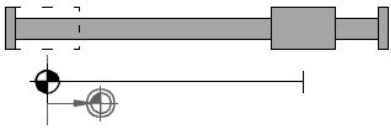
### 5.1.4. Método de referencia

El método de referencia establece el modo en el que el sistema realizará el proceso de homing. Cada vez que se des energiza el controlador de servomotor debe referenciar el sistema de manera que pueda saber la posición exacta del eje.

Existen varios métodos de referencia que su aplicación depende del trabajo que se va a dar al eje. En la siguiente tabla se describen algunos de estos.

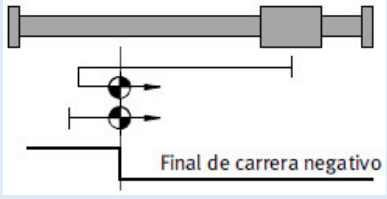
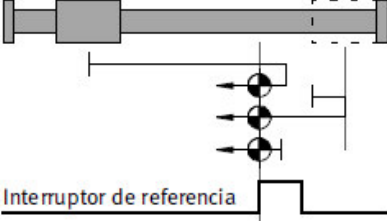
Tabla 36.

#### Métodos de referencia

Nombre	Diagrama	Descripción
<b>Posición actual</b>	 <p>Figura 195. Posición actual Fuente: (Festo AG &amp; C. KG, 2014)</p>	La posición actual se toma como punto de referencia. Más común en ejes de rotación.
<b>Tope</b>	 <p>Figura 196. Tope Fuente: (Festo AG &amp; C. KG, 2014)</p>	Se desplaza a velocidad de búsqueda en uno de los sentidos hasta un tope. Esta posición se toma como punto de referencia.

Continúa



Nombre	Diagrama	Descripción
<b>Sensor final de carrera</b>	 <p data-bbox="596 483 970 562">Figura 197. Final de carrera Fuente: (Festo AG &amp; C. KG, 2014)</p>	<p data-bbox="1015 275 1394 622">Se desplaza a velocidad de búsqueda en uno de los sentidos hasta un final de carrera. Invierte el sentido de movimiento y se desplaza hasta que el final de carrera esté inactivo. Esta posición se toma como punto de referencia.</p>
<b>Interruptor de referencia</b>	 <p data-bbox="596 875 970 999">Figura 198. Interruptor de referencia Fuente: (Festo AG &amp; C. KG, 2014)</p>	<p data-bbox="1015 645 1394 853">El mismo funcionamiento al de final de carrera pero el sensor es un tercer interruptor ubicado en el punto deseado de referencia.</p>

Fuente: (Festo AG & Co. KG, 2016)

En la ventana de configuración se establece el método de referencia como la velocidad y aceleración de búsqueda con la que realizará el movimiento.

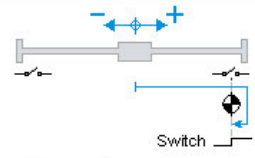
Controller	Motor	Axis	
<b>CMMP-AS-C2-3A-M3</b>	<b>EMMS-AS-55-S-TSB</b>	<b>EGC-70-400-TB-KF-GK</b>	
Homing Method			
Destination:	Limit switch	<input type="checkbox"/> Zero pulse	
Direction:	<input type="radio"/> Negative	<input checked="" type="radio"/> Positive	
Extras:	<input type="checkbox"/> No reversion when blocking		
Method Description:	<b>18: Limit switch positive</b>		
Parameters			
	Vel. [mm/s]	Accel. [m/s <sup>2</sup> ]	Smooth [%]
Search:	30.00	1.000	0
Crawl:	15.00	1.000	0
Running:	61.00	1.000	0
Axis Zero Point:	-3.00 mm		
			 <p data-bbox="1182 1413 1262 1435">Switch</p>
			Save Offset To Encoder

Figura 199. Método de referencia

### 5.1.5. Comunicación

Una vez seleccionado el modo de operación en comunicación CANopen, es necesario configurar los parámetros correspondientes a este bus de campo. En la ventana de configuración se selecciona el perfil de movimiento del

dispositivo. Según el perfil se establecen los datos y la secuencia en la que se envían.

Operation Parameters		Factor Group	
Controller	Motor	Axis	
CMP-AS-C2-3A-M3	EMMS-AS-55-S-TSB	EGC-70-400-TB-KF-GK	
Control Interface: <b>CANopen</b>			
Interface Parameters		Active Settings	
Base Address:	<input type="text" value="2"/>	Base Address:	
		Offset:	
		<b>Node Number:</b>	
Device Profile:	<input type="text" value="GA 402"/>	Bit Rate:	kBit/s
Cycle Time:	<input type="text"/> ms	Device Profile:	
		Cycle Time:	ms

Figura 200. Configuración de comunicación

Se selecciona el nodo de comunicación que tendrá el controlador. La velocidad de comunicación se configura manualmente a través de micro interruptores ubicados en la parte frontal del controlador.



Figura 201. Micro interruptores de comunicación

Todos los cambios que se realicen en la configuración como los cambios en los micro interruptores tienen efecto una vez sincronizado y reiniciado el controlador.

### 5.1.6. Configuraciones por eje

Los parámetros de configuración de cada eje del módulo demostrativo están descritos en la siguiente tabla.

Tabla 37.

## Configuración ejes módulo demostrativo

Eje	Modo de operación	Montaje	Método de referencia	Velocidad de búsqueda [mm/s]	Nodo CAN	Velocidad [Mbps]
Eje X	CANopen	Horizontal	Final de carrera	100	2	1
Eje Y	CANopen	Horizontal	Final de carrera	100	3	1
Eje Z	CANopen	Vertical	Final de carrera	200	4	1

## 5.2. Programación del PLC

La programación del PLC se realizó en el entorno CoDeSys siguiendo un diagrama secuencial. Se utilizaron varias funciones del software como programación en varios lenguajes de programación, configuración multitarea, visualizaciones integradas, entre otras.

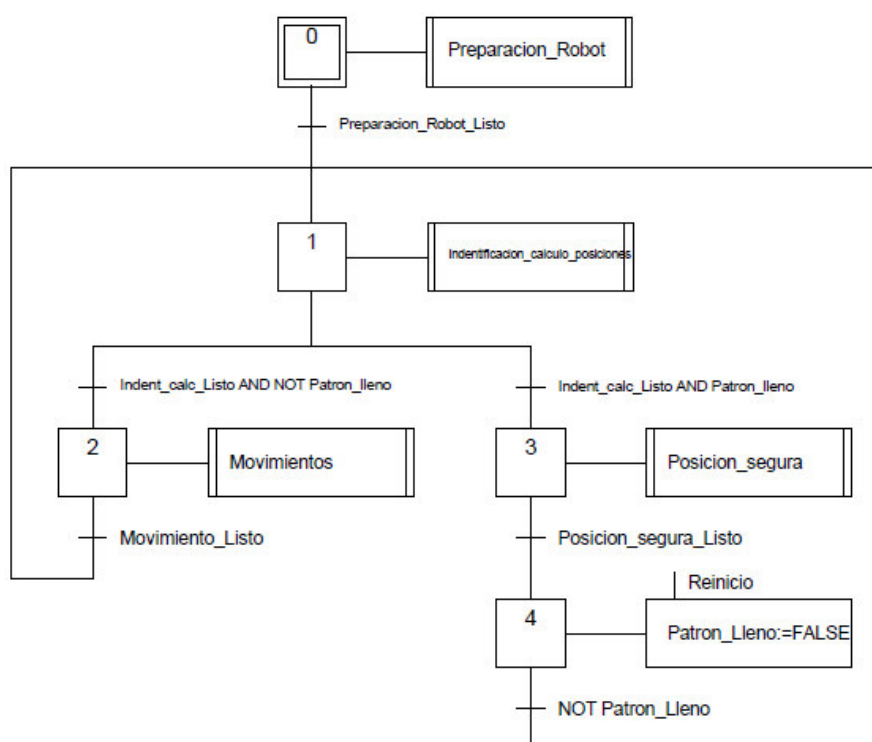


Figura 202. Diagrama secuencial

### 5.2.1. Secuencia del programa

En este programa se basa en una secuencia principal en la que se llama a cinco subrutinas. La mayoría de subrutinas también siguen una metodología de programación secuencial. Se utilizaron tres lenguajes de programación principalmente texto estructurado.

La siguiente tabla describe cada secuencia y subrutina del programa.

**Tabla 38.**  
**Secuencias y subrutinas**

Nombre	Lenguaje de programación	Descripción
<b>Secuencia Principal</b>	Texto estructurado	Se encarga la secuencia principal del proceso. Llama a las subrutinas para asegurar el correcto funcionamiento de todo el módulo demostrativo.
<b>Preparación del robot</b>	Texto estructurado y diagrama de bloques	Se encarga de dos acciones, establecer comunicación con los controladores de servomotor y referenciar los ejes. Se utilizan dos acciones dentro de este objeto en un lenguaje de programación distinto.
<b>Identificación y cálculo de posiciones</b>	Texto estructurado	Se encarga de asignar posiciones en función al color del disco identificado para poder ordenarlo.
<b>Secuencia de movimientos</b>	Texto estructurado	Establece las coordenadas a las que cada eje tiene que moverse para cumplir con una secuencia en la que toma el disco del dispensador y los lleva a la posición final en la que va a ser clasificado.
<b>Movimiento Ejes</b>	Diagrama de bloques	Son los bloques de movimiento provenientes de PLCopen. Estos habilitan y deshabilitan bloques de movimiento absoluto, paro, lectura de posición actual, entre otros.

### 5.2.1.1. Secuencia principal

Esta es la secuencia básica del sistema. Se basa en cinco estados en los que se llama a cuatro subrutinas en diferentes puntos del programa. Se inicia con la preparación del robot. En esta etapa se enciende y referencia cada eje. En la siguiente etapa se identifica el color del disco a ordenar y se calcula la posición final en la que se dejará el mismo. La siguiente etapa realiza la secuencia de movimientos para alcanzar la posición calculada anteriormente. Cuando se ha ordenado todos los discos permitidos, se regresa al robot a una posición segura y se espera a la señal de reinicio dada por el operario.

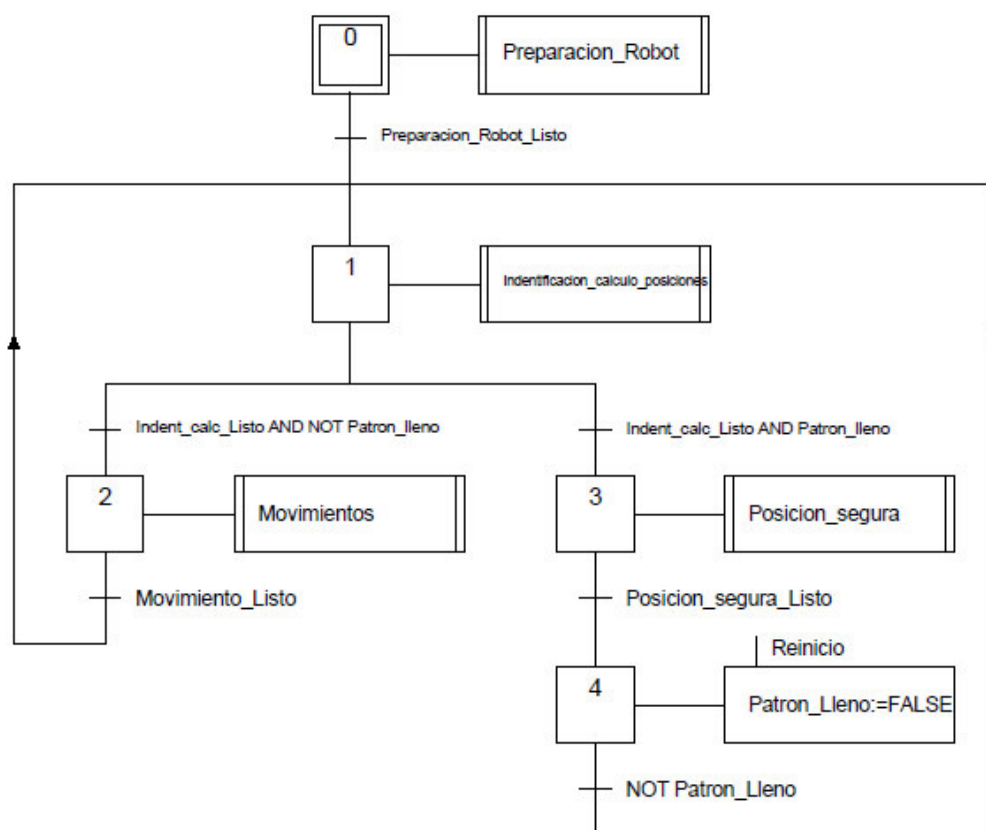


Figura 203. Secuencia principal

### 5.2.1.2. Preparación del robot

Esta subrutina se forma de tres etapas e incluye dos acciones que son llamadas en diferentes partes de la secuencia. Se separaron estas acciones para trabajar con otro lenguaje de programación que permita utilizar con mayor facilidad los bloques de movimiento de PLCopen.

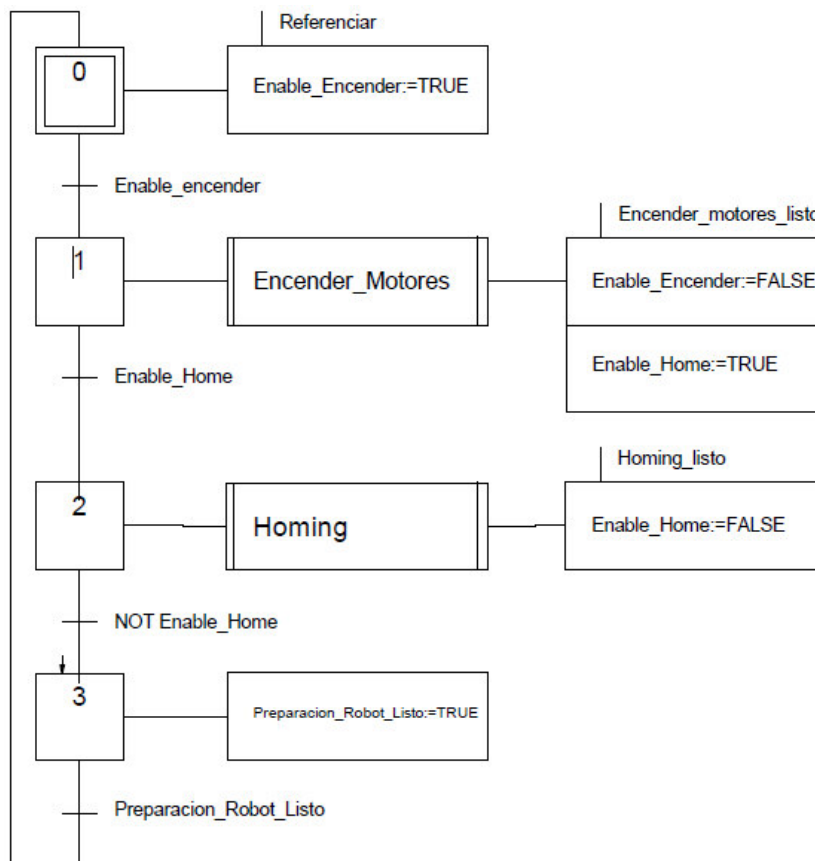


Figura 204. Preparación del robot

La secuencia empieza esperando la señal de referenciar los ejes por parte del operario. Seguida de esta condición se activa el habilitador de encendido de ejes. En el siguiente estado se llama a la acción de encendido de motores. Esta acción únicamente activa los bloques de encendido de ejes pertenecientes a PLCopen. Al encenderse todos los ejes se activa la variable Encender\_motores\_Listo. Esta se convierte en la condición para las siguientes acciones.

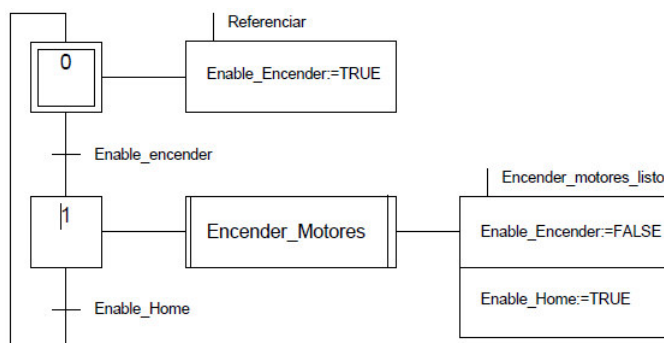


Figura 205. Encendido de motores parcial

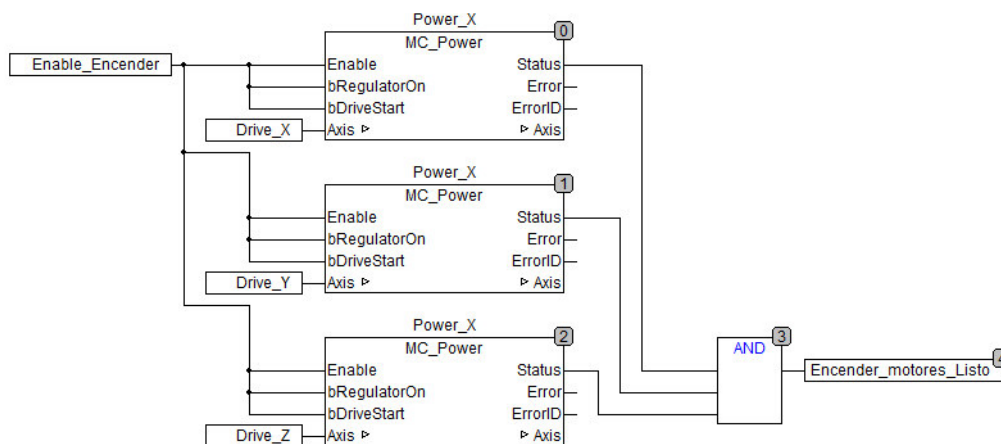


Figura 206. Encender\_motores – Bloques de funciones

En el siguiente estado se llama a la acción Homing. Esta acción únicamente activa los bloques para el método de referencia de ejes pertenecientes a PLCopen. Se inicia con el eje Z para levantar la garra magnética y evitar que golpee con algún objeto al referenciar los ejes X y Y. Al referenciar todos los ejes se activa la variable Homing\_listo. Esta se convierte en la condición para las siguientes acciones.

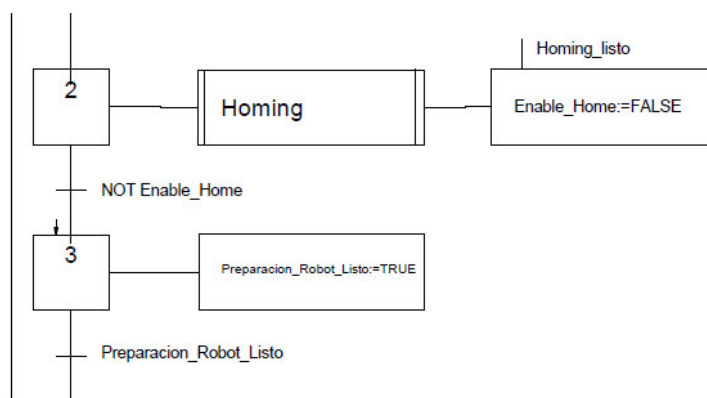


Figura 207. Homing - Parcial

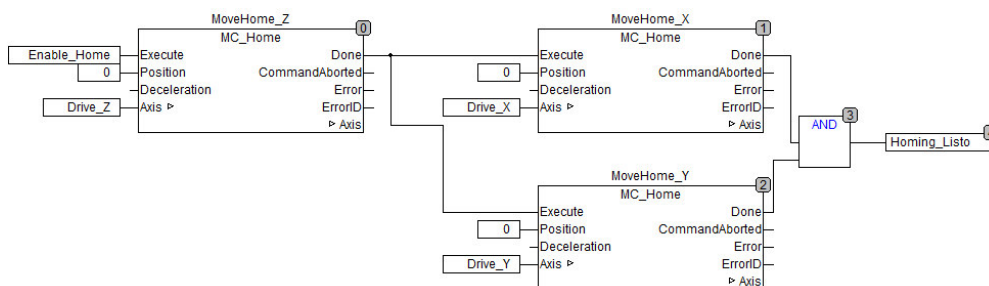


Figura 208. Homing – Bloques de funciones

La secuencia termina activando la variable Preparacion\_Robot\_Listo. Esta se convierte la condición que permite salir de esta subrutina y regresar a la secuencia principal descrita en el numeral 5.2.1.1.

### 5.2.1.3. Identificación y cálculo de posiciones

Esta subrutina se forma de seis estados. Se separaron estas acciones para trabajar de manera más ordenada al realizar operaciones matemáticas y de comparación.

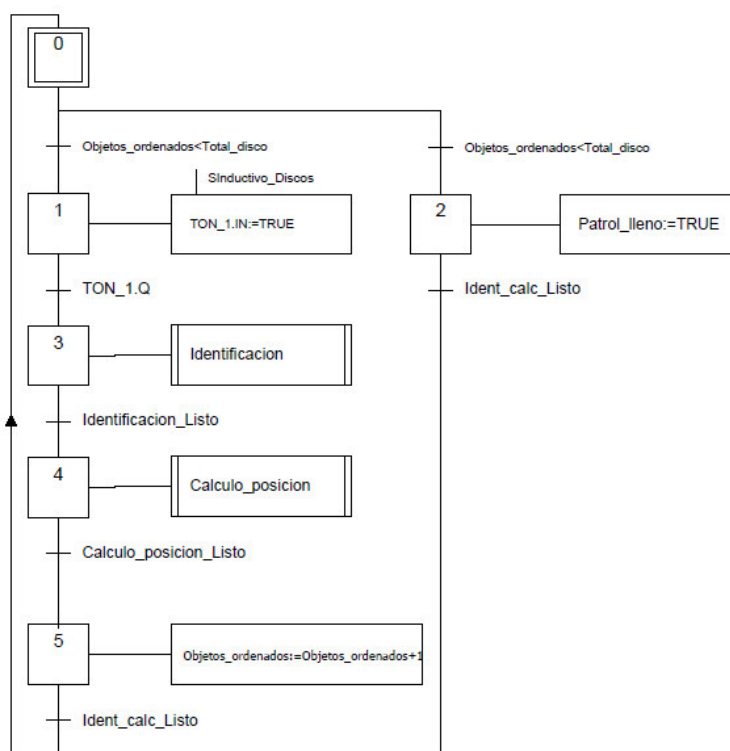


Figura 209. Grafcet identificación y cálculo de posiciones

Inicia determinando si ya se ha cumplió el proceso con todos los discos configurados. En caso que todavía no han sido ordenados todos los discos se pasa al siguiente estado. En caso contrario, se salta al último estado y se activa la variable Patron\_lleno. Esta sirve para volver a la secuencia principal descrita en el numeral 5.2.1.1. y esperar al reinicio de todo el proceso.



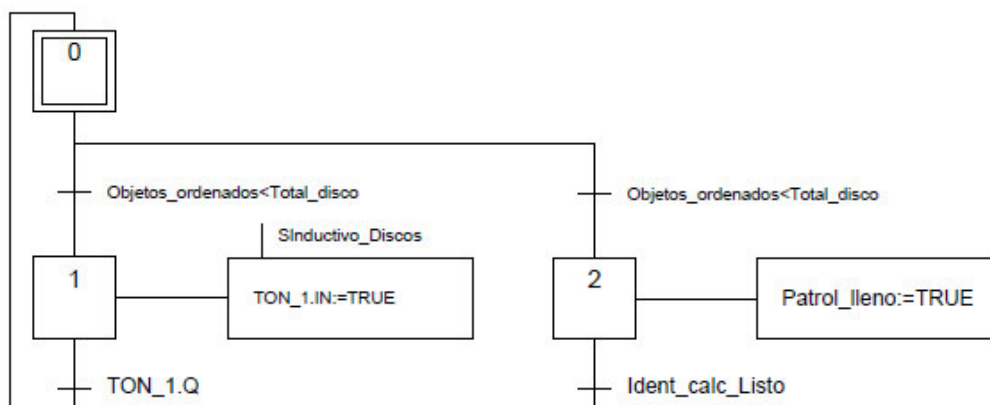


Figura 210. Verificación totalizador de discos

Cuando no se ha completado el todo el proceso, es decir existen más discos por ordenar, se activa un temporizador con retardo a la conexión a partir de la señal del sensor presencia. Se configura el tiempo del retardo en medio segundo. Esto permite no tener doble señal cuando rebote un disco al caer.

En el siguiente estado se llama a la acción Identificación. Esta lee la señal del sensor de color y determina a que grupo pertenece el disco (encendido = color 1, apagado = color 2). Aumenta una unidad al grupo correspondiente al color y pasa al siguiente estado.

El penúltimo estado de esta secuencia desplaza la ubicación en donde se colocará el disco al ser ordenado. Se almacenan en variables las coordenadas tanto en X como en Y del punto al que tiene que llegar el robot al dejar el disco.

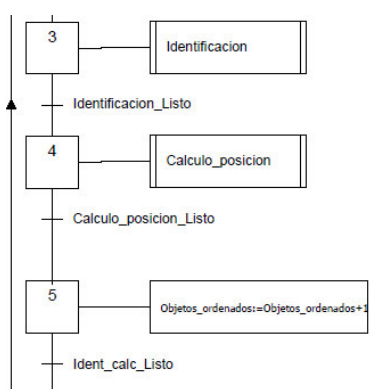


Figura 211. Identificación y cálculo de posiciones parcial

Para finalizar esta secuencia se suma una unidad a totalizador de objetos ordenados. Se activa la variable Ident\_calc\_Listo la cual sirve para salir de

esta subrutina y regresar a la secuencia principal descrita en el numeral 5.2.1.1.

#### 5.2.1.4. Secuencia de movimientos

Es la subrutina que habilita los bloques de movimiento de cada eje y varía las posiciones para crear una secuencia de movimientos. La secuencia inicia trasladando el robot a la posición del dispensador con el eje Z prácticamente recogido para que no golpee con ningún objeto. El siguiente paso es bajar el eje Z a un centímetro del disco. En este punto se reduce la velocidad del eje Z y se lo baja hasta tener contacto con el objeto a manipular. Se enciende el electroimán y se mantiene en esa posición por medio segundo para sujetar bien al disco.

Una vez tomado el objeto, sube el eje Z y se mueven los ejes X y Y a la posición final en donde se va a depositar el disco clasificándolo. Para dejar el disco se realiza una secuencia similar a la realizada en el dispensador. De esta manera el cambio de velocidades hace menos brusca la ubicación del disco en posiciones de posible colisión. La siguiente tabla describe las posiciones, velocidades, ejes que intervienen y la activación de la garra magnética durante el movimiento del robot.

**Tabla 39.**

#### Coordenadas y velocidades de movimientos

N°	Ejes en movimiento			Posición Final [mm]		Velocidad [m/s]				Electroimán
	Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z	
1	o	o	-	392	100	-	1	0.5	-	-
2	-	-	o	-	-	-38	-	-	0.3	-
3	-	-	o	-	-	-48	-	-	0.15	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O
5	-	-	o	-	-	-5	-	-	0.3	O
6	o	o	-	Posición calculada X	Posición calculada Y	-	1	0.5	-	O
7	-	-	o	-	-	-47	-	-	0.3	O
8	-	-	o	-	-	-57	-	-	0.15	O
9	-	-	o	-	-	-5	-	-	0.3	-

El diagrama Grafcet que describe esta secuencia se encuentra en los anexos de este documento.

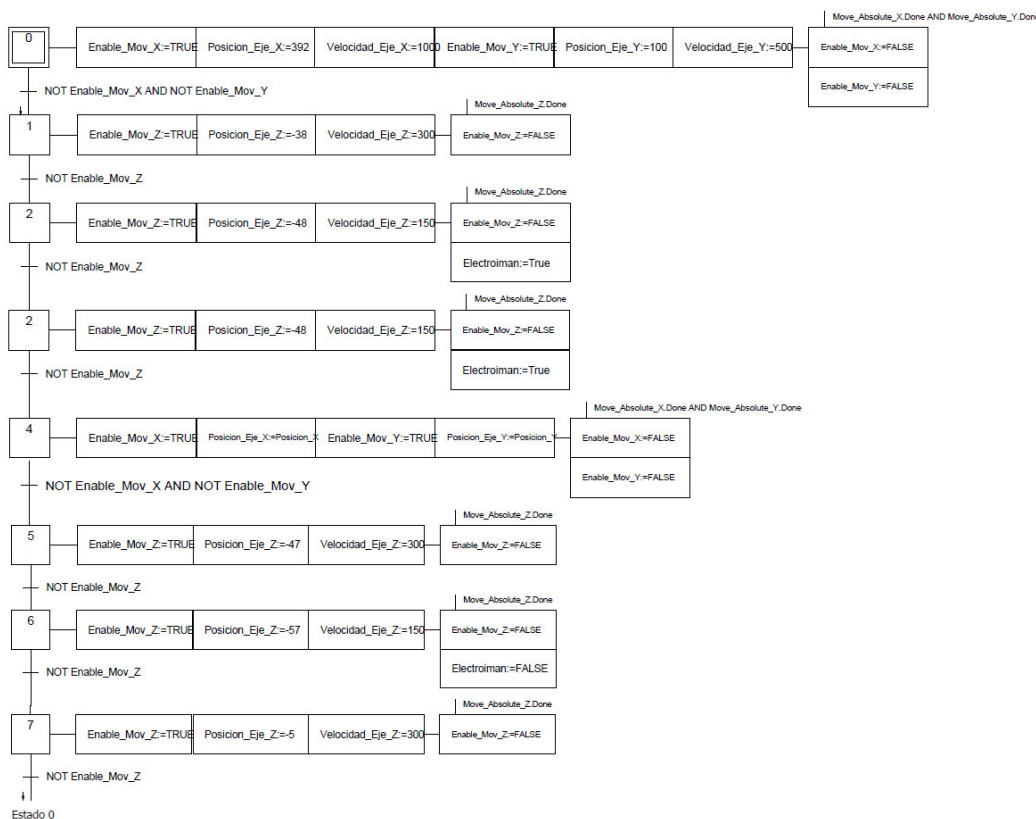


Figura 212. Grafcet Movimientos

La secuencia termina activando la variable Movimiento\_Listo la cual sirve para salir de esta subrutina y regresar a la secuencia principal descrita en el numeral 5.2.1.1.

**5.2.1.5. Movimiento Ejes**

En este objeto se encuentran los bloques de movimiento de cada eje, el paro de cada eje, y la lectura de posición a través del controlador de servomotor. El programa se ejecuta de manera independiente, lo que quiere decir que corre en paralelo con la secuencia principal. Esto permite que la respuesta en estos bloques de programación sea más rápida que si fuera parte de la secuencia principal.

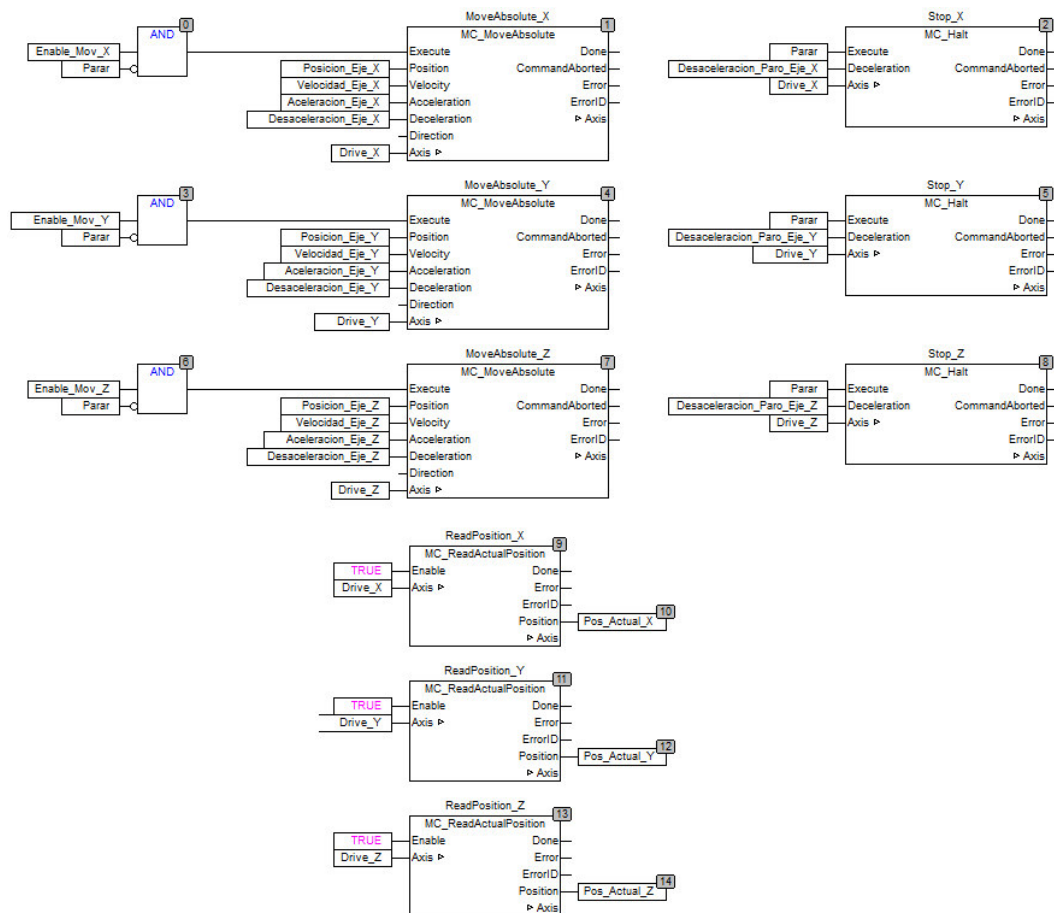


Figura 213. Bloques de funciones movimiento absoluto

### 5.2.2. CoDeSys v2.3

CoDeSys v2.3 es un entorno completo de programación, diseñado para programación de controladores lógicos programable utilizados en la industria de la automatización. Se caracteriza por basarse en la norma IEC 61131-3 y por ser compatible con diferentes marcas como Wago, Festo, entre otros. La versión 2.3 permite programar el controlador CECX-X-M1 e integra directamente al entorno las librerías dedicadas a control de movimiento, tanto para movimientos de ejes independientes como ejes sincronizados.

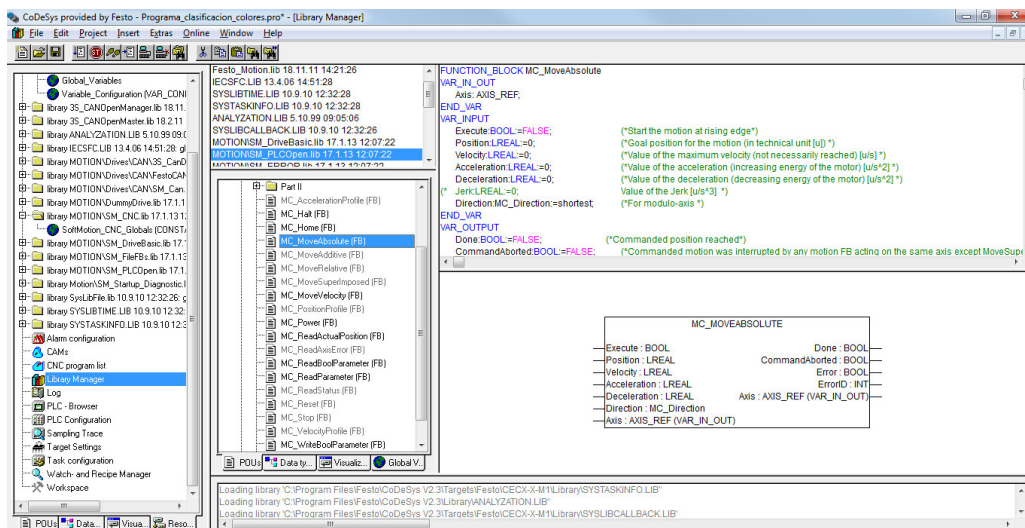


Figura 214. Librerías control de movimiento

### 5.2.2.1. Configuración del PLC

Para trabajar en el PLC es necesario el entorno de programación CoDeSys v2.3 y el Target correspondiente al CECX-M1 como complemento. Una vez instalado este software de desarrollo, se inicia un nuevo proyecto.

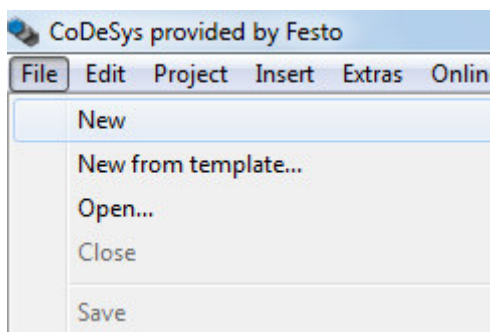


Figura 215. Proyecto nuevo

En la primera ventana abierta se selecciona el modelo del PLC con el que se trabajará de la lista de Targets instalados previamente en el equipo. Se escoge las configuraciones de descarga de programas como la opción a cambios On-Line entre otros.

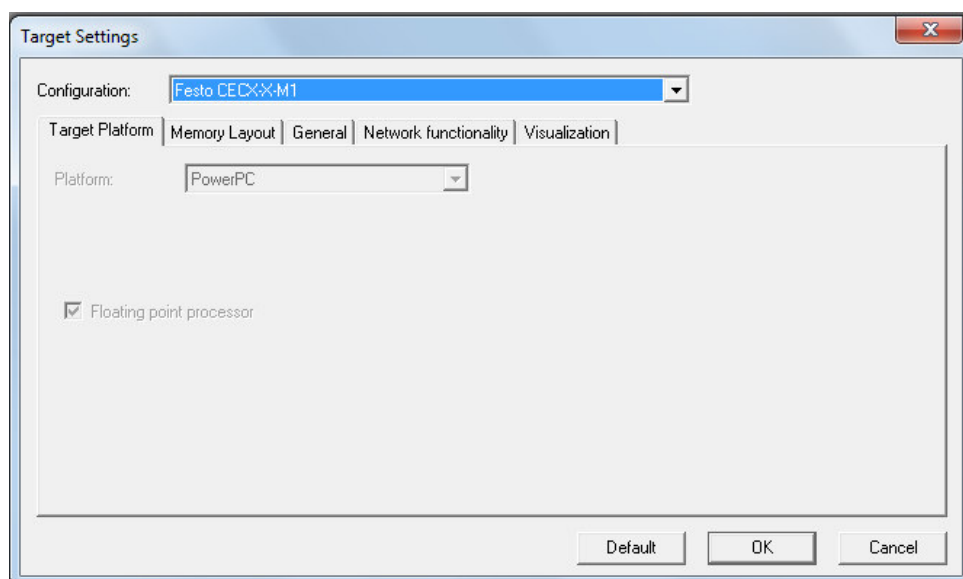


Figura 216. Selección de target

El modelo CECX-X-M1 se comunica a través del puerto Ethernet con el entorno de programación. Para configurar la comunicación del autómeta en CoDeSys se debe conocer la dirección IP del PLC. El software Festo Field Device Tool permite hacer un barrido de los equipos conectados a la red de la PC e identificar y configurar sus características de red.

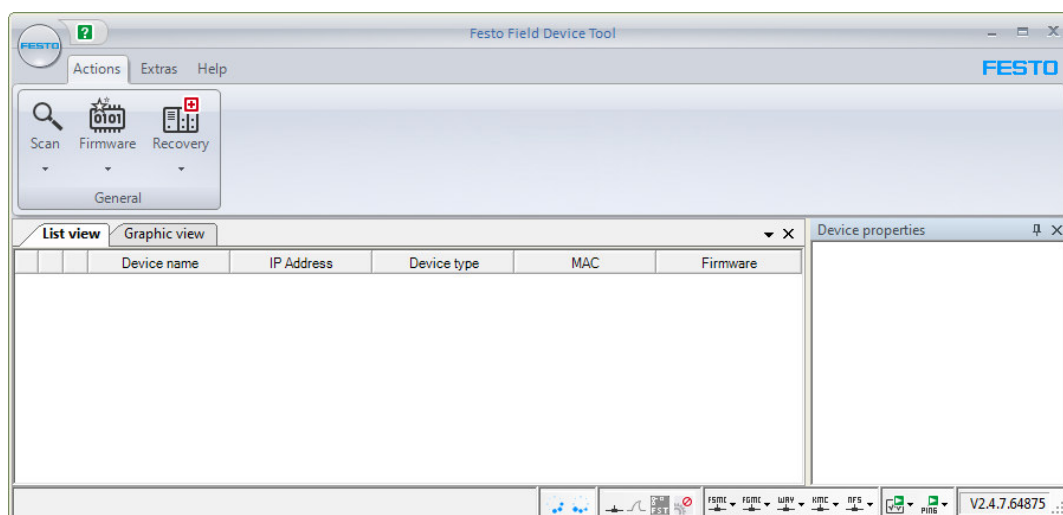


Figura 217. Festo Field Device Tool

Una vez conocida la dirección IP del controlador, se agrega la conexión al CoDeSys. Esto se realiza desde la ventana Online en la opción Communication Parameters. Se crea una nueva configuración de

comunicación en la que se agrega la dirección IP y se acepta para guardar cambios y cerrar la ventana.

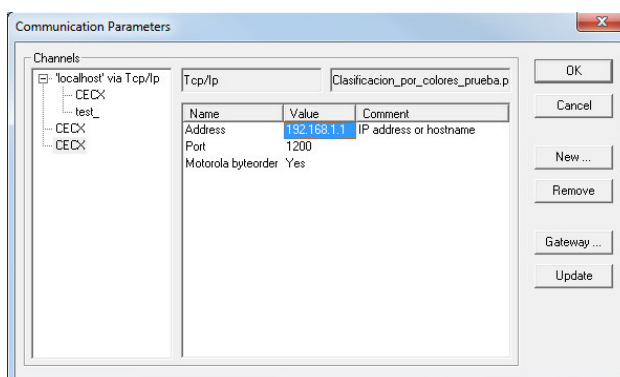


Figura 218. Configuración Comunicación

### 5.2.2.2. Configuración de ejes de movimiento

Para vincular los bloques de funciones de movimiento con los controladores de motores, se debe configurar el PLC. Para esto se debe ir a la ventana de configuración del PLC. En esta ventana se desplegarán los módulos disponibles del controlador. En este cuadro, se pueden agregar o retirar módulos de acuerdo a las características del PLC.

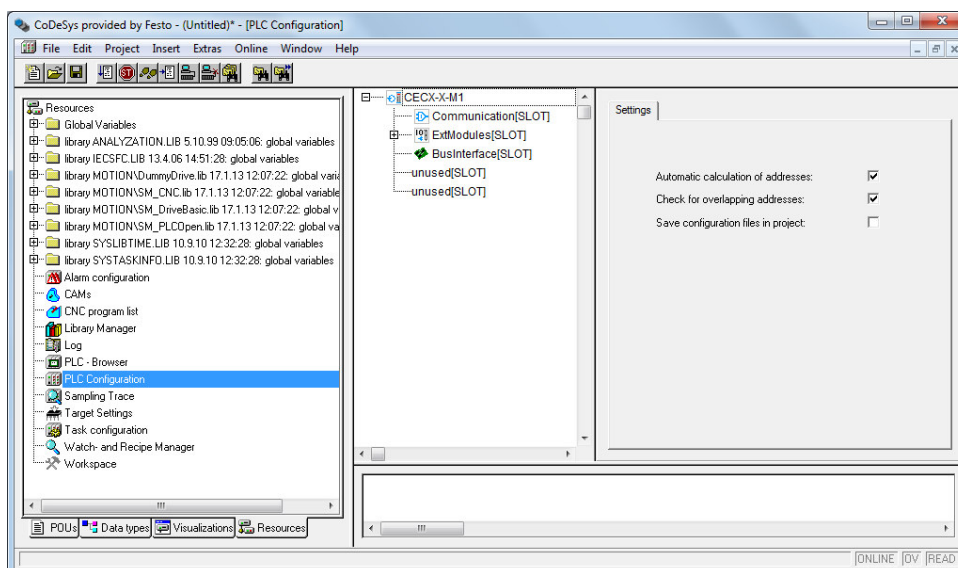


Figura 219. Configuración PLC

Dentro de BusInterface se configura el Driver como FestoCAN en lugar de Dummy como es la configuración predeterminada. Aquí se asigna un grupo

de ejes y se agrega una tarea en la que se correrá el programa con los bloques de control de movimiento.

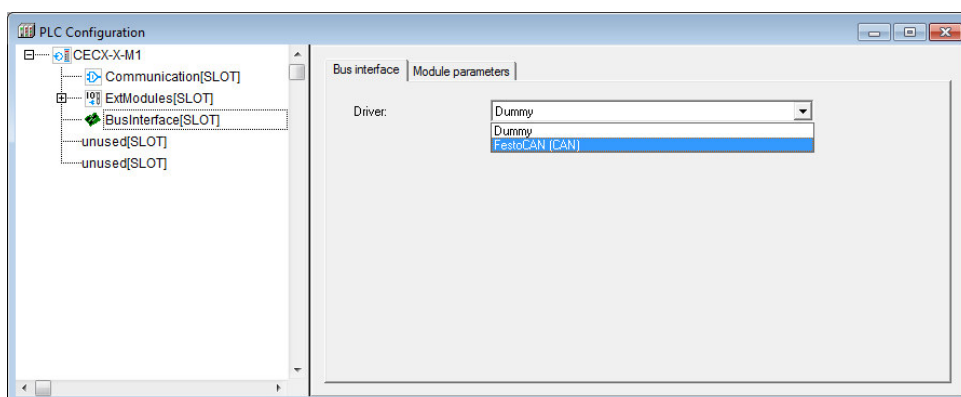


Figura 220. Bus Interface

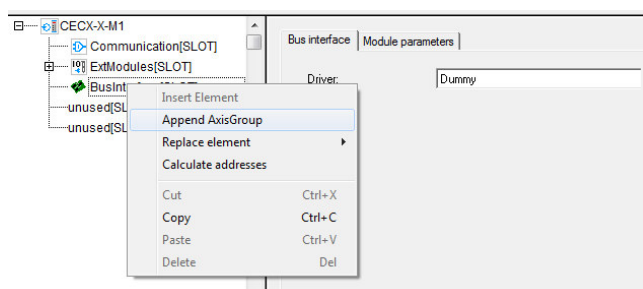


Figura 221. Agregar grupo de ejes

Se configura la comunicación CANopen conforme lo establecido en los controladores de servomotores y se selecciona la tarea que contiene los programas del módulo demostrativo.

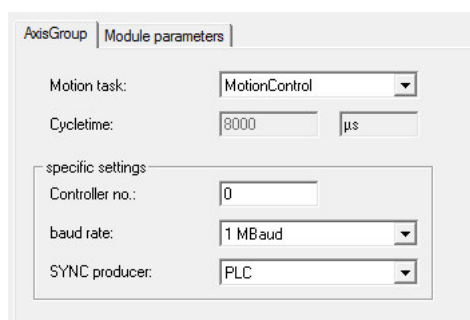


Figura 222. Parámetros comunicación CANopen

En el mismo menú agregar los ejes del sistema. En la configuración de cada actuador se ingresarán los parámetros correspondientes a los actuadores lineales EGC y al actuador EGSL. Se asigna el ID con el que se configuró este



elemento en el FCT para comunicación CAN. Se ingresa la relación de transmisión y el paso del sistema.

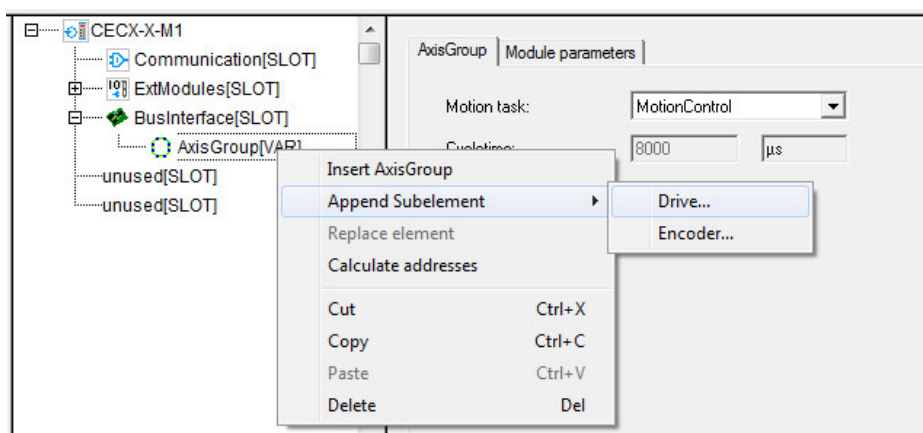


Figura 223. Agregar ejes electromecánicos

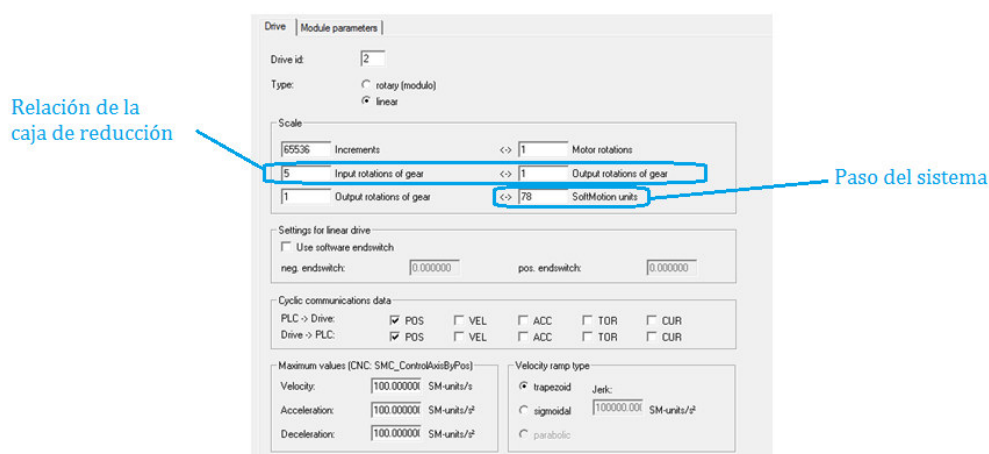


Figura 224. Parámetros mecánicos del eje

### 5.2.2.3. POU's

Los programas y subrutinas creados se encuentran en la pestaña POU's. Desde aquí se puede crear y modificar acciones, programas, subrutinas, funciones, entre otros objetos que puedan necesitarse en la elaboración del código del PLC.

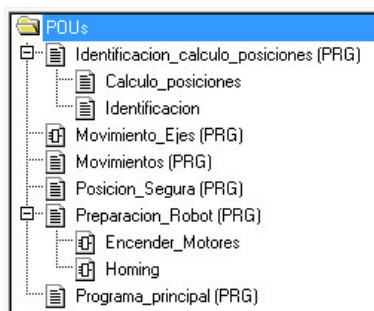


Figura 225. Árbol del programa en Codesys

Se pueden crear objetos en diferentes lenguajes de programación y dentro de un mismo programa llamar acciones en un lenguaje distinto al del código principal. En la elaboración del programa para este módulo demostrativo se utilizaron dos lenguajes de programación.

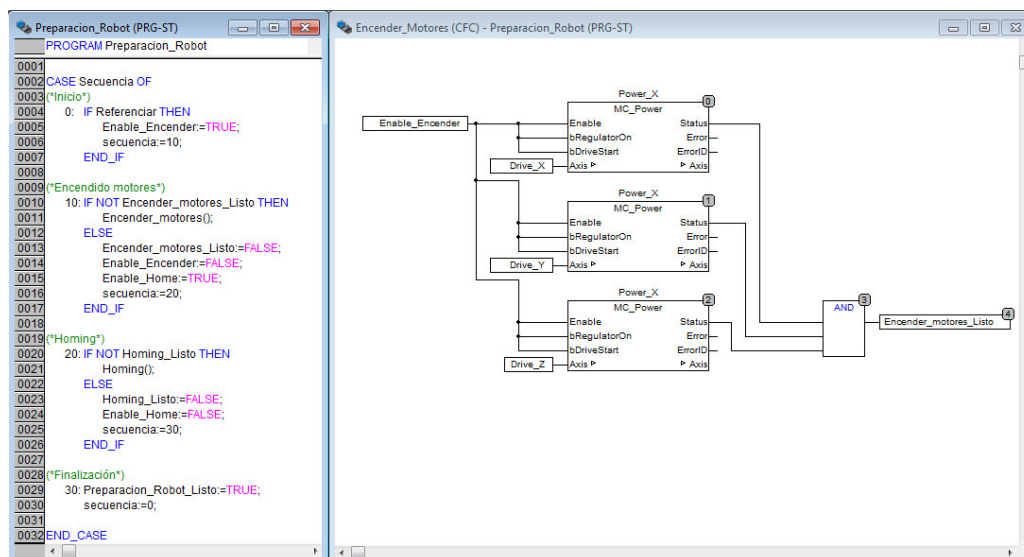


Figura 226. Combinación de lenguajes de programación en Codesys

#### 5.2.2.4. Tareas

Se pueden configurar tareas que se ejecutarán bajo distintas condiciones. Cada tarea puede contener varios programas o acciones. Se pueden configurar tareas cíclicas o accionadas por eventos. Los eventos pueden ser internos como interrupciones o externos como variables pertenecientes a la programación. En la ventana Task Configuration se establecen las tareas necesarias para la ejecución del programa.

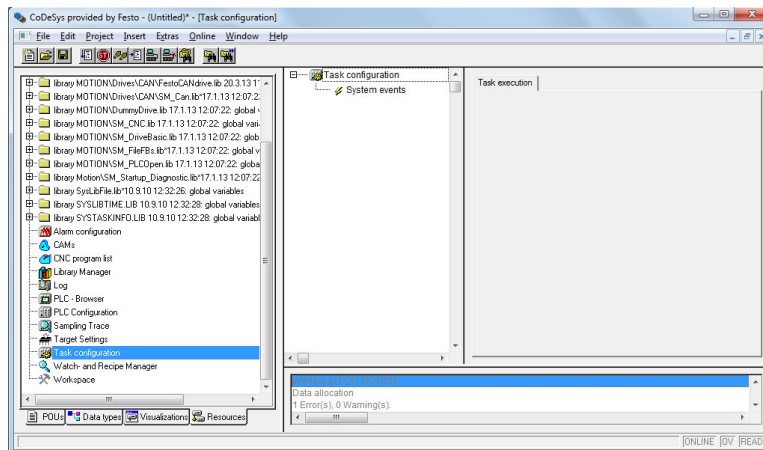


Figura 227. Organizador de tareas

En esta ventana se agregan las tareas nuevas necesarias para el proyecto. Se llenan los parámetros de la tarea como se muestran y se procede a seleccionar los programas que se desea ejecutar.

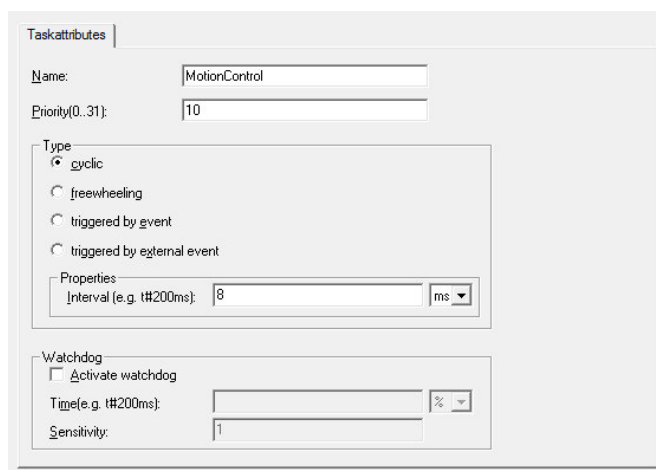


Figura 228. Configuración de ejecución de la tarea

Se explora dentro del proyecto para encontrar el programa a utilizarse. Se escoge el proyecto sobre el cuál se va a trabajar. Para el funcionamiento del módulo demostrativo se usaron los programas:

- Programa principal
- Movimiento\_Ejes

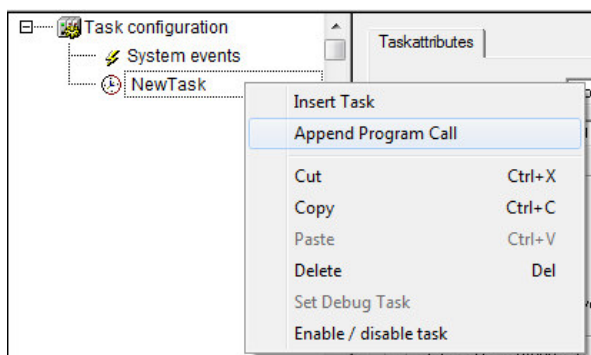


Figura 229. Vincular programa con la tarea

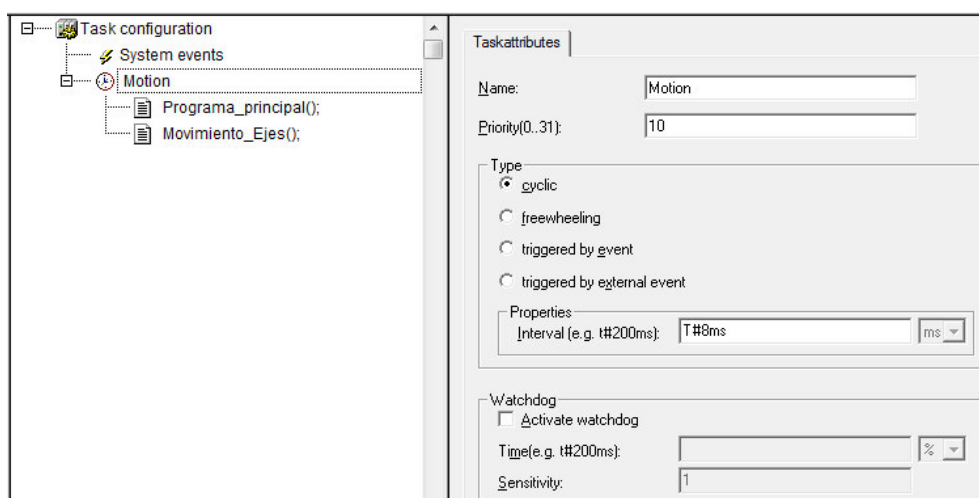


Figura 230. Selección programa

#### 5.2.2.5. Asignación de entradas y salidas

En el módulo demostrativo se trabajó con seis entradas y una salida digital conectadas al PLC. EL autómeta cuenta con un módulo de seis entradas y ocho salidas NPN. Este módulo se debe configurar en el entorno CoDeSys.

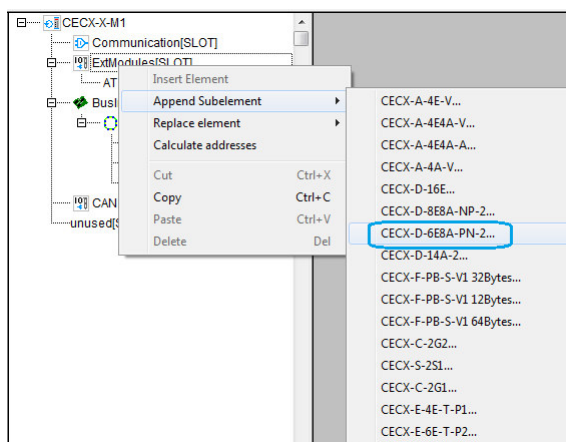


Figura 231. Configuración módulo adicional

Desde la ventana PLC Configuration se agrega el módulo buscando el código del mismo. Desde esta ventana se puede ver la dirección de memoria que se asignará a cada punto de conexión, tanto de entrada como de salida.

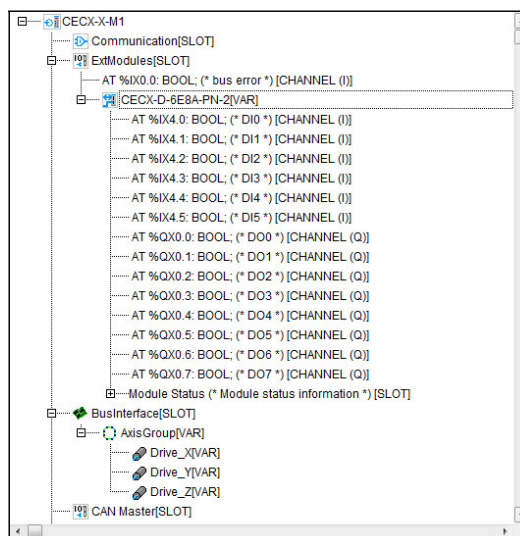


Figura 232. Asignación de direcciones de memoria

En la siguiente tabla se muestran las direcciones y nombres de variables utilizadas como entradas y salidas digitales en el módulo demostrativo.

**Tabla 40.**

### Direcciones entradas y salidas digitales

Nombre	Tipo	Dirección	Descripción
<b>Referenciar</b>	Entrada	%IX4.0	Pulsador para referenciar los ejes del robot cartesiano.
<b>Inicio</b>	Entrada	%IX4.1	Pulsador para inicio del proceso.
<b>Parar</b>	Entrada	%IX4.2	Pulsador para detener el movimiento de los ejes.
<b>Reinicio</b>	Entrada	%IX4.3	Pulsador para reiniciar el proceso.
<b>SInductivo_Discos</b>	Entrada	%IX4.4	Sensor inductivo en dispensador de discos.
<b>Sensor_Color</b>	Entrada	%IX4.5	Sensor de color en dispensador de discos.
<b>Electroimán</b>	Salida	%QX0.0	Electroimán del efector final del robot cartesiano.

### 5.3. Interfaces de usuario

El módulo demostrativo opera desde una botonera. Esta cuenta con cuatro pulsadores, uno de ellos normalmente cerrado y el resto normalmente abiertos. Los botones permiten al operario referenciar el robot, iniciar el proceso, detener el movimiento del robot y reiniciar el proceso.

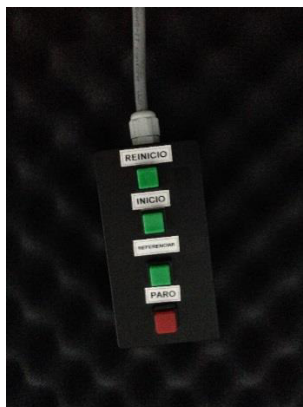


Figura 233. Botonera de usuario

La interfaz HMI permite visualizar las variables del proceso desde la PC. Se puede monitorear las velocidades y posiciones de cada eje como el número de discos de cada color y en que parte del proceso se encuentra el sistema.

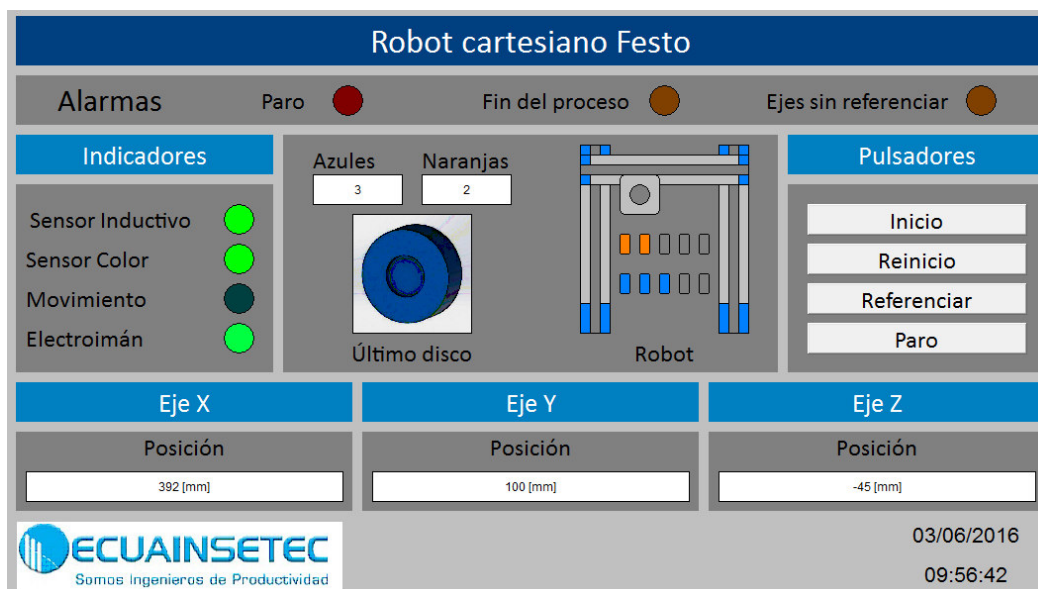


Figura 234. Interfaz HMI en CoDeSys

### 5.3.1. Botonera

La botonera plástica tiene cuatro pulsadores cuadrados ordenados verticalmente. Cada botón está etiquetado con la función que realiza. Solo el pulsador de paro es normalmente cerrado. Este se diferencia del resto por su color rojo. Los tres pulsadores restantes son verdes.

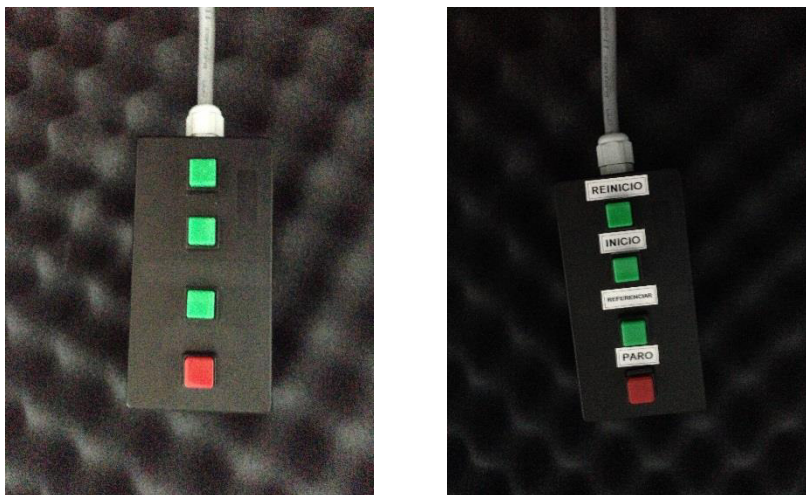


Figura 235. Etiquetas para botonera

En la Tabla 40 se muestra la asignación de direcciones en el PLC en cada botón.

### 5.3.2. HMI

La interfaz HMI se realizó en el editor de visualizaciones de CoDeSys. Desde aquí se puede relacionar rápidamente las variables del PLC con el panel para el usuario. En esta interfaz se buscó visualizar variables de interés como posición y velocidad de cada eje, así como la cantidad de discos ordenados y en la etapa del proceso en la que se encuentra el sistema.

#### 5.3.2.1. Diseño de HMI

El diseño de la interfaz HMI se basó en la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS). Esta se basa en el correcto uso de diez indicadores y una evaluación posterior de comparación y optimización. (Erazo, 2015)

En la siguiente tabla se muestran los diez indicadores de esta guía y cómo se los aplicó en este proyecto.

**Tabla 41.**

**Indicadores GEDIS**

Indicador	Diretrizes	Aplicación al proyecto
<b>Arquitectura</b>	Arquitectura anchas y no profundas. Arquitectura jerárquica.	El proyecto solo tiene una pantalla debido a ser un proceso simple.
<b>Distribución de la pantalla</b>	Diagrama de Gutenberg: arriba/abajo – derecha/izquierda. Información más importante arriba. Gráficos izquierda del campo visual. Simetría de gráficos en toda la pantalla.	Título de la pantalla y alarmas en parte central superior. Sinóptico del proceso en el centro. Logotipo de la empresa en la esquina inferior izquierda. Fecha y hora en la esquina inferior derecha.
<b>Navegación</b>	Navegación horizontal. Botones de navegación lo suficientemente grandes para presionarse.	Solo existe una pantalla en el proyecto por lo que no se incluyen botones de navegación.
<b>Uso del color</b>	Limitar el número de colores en la pantalla (se recomienda 4 colores). Usar colores neutros.	Se utilizaron cuatro colores: azul marino, azul claro, arena y gris.
<b>Uso de fuentes</b>	Utilizar máximo tres fuentes en la interfaz. No usar más de tres tamaños de fuente. No usar solo mayúsculas o solo minúsculas.	Se utilizaron tres tamaños de fuente. La más grande corresponde a los títulos, la mediana a subtítulos y la más pequeña a etiquetas de comandos e indicadores.
<b>Estatus de equipos y eventos</b>	Imágenes simples y de tamaño suficientemente visible. Reforzar la visualización con texto.	Se crearon imágenes simples basadas en figuras geométricas simples para mostrar el proceso.
<b>Información y variables del proceso</b>	Evitar el uso de decimales poco significativos. Separar y enmarcar los grupos de datos.	Se utilizan números enteros en las variables de posición ya que la unidad son milímetros.
<b>Gráficos de tendencias y tablas</b>	Máximo nueve variables por gráfica. Mostrar máximo y mínimo de cada variable.	No existen gráficas de tendencias ni tablas en este proyecto.
<b>Comandos y entradas de datos</b>	Comandos visibles y etiquetados. Área de acción suficientemente grande.	Todos los pulsadores y los indicadores, así como los cuadros de texto se encuentran etiquetados.

Continúa



Indicador	Directrices	Aplicación al proyecto
<b>Alarmas</b>	Evitar el exceso de alarmas y mensajes. Ventana de alarmas siempre presente y distinguible.	Existen tres indicadores de alarma en la parte superior central de la pantalla. El color rojo se usa para el paro del equipo. El color amarillo para indicar el fin del proceso y la falta de referencia en los ejes.

Fuente: (Erazo, 2015)

La distribución se basó en el diagrama de Gutenberg. Este indica que al observar información homogénea distribuida de manera regular, se inicia en la parte superior izquierda y se dirige de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Por este motivo se inicia con el título de la pantalla y alarmas en la parte superior, el sinóptico del proceso en el centro y finalmente se muestra el logotipo de la empresa, fecha y hora.

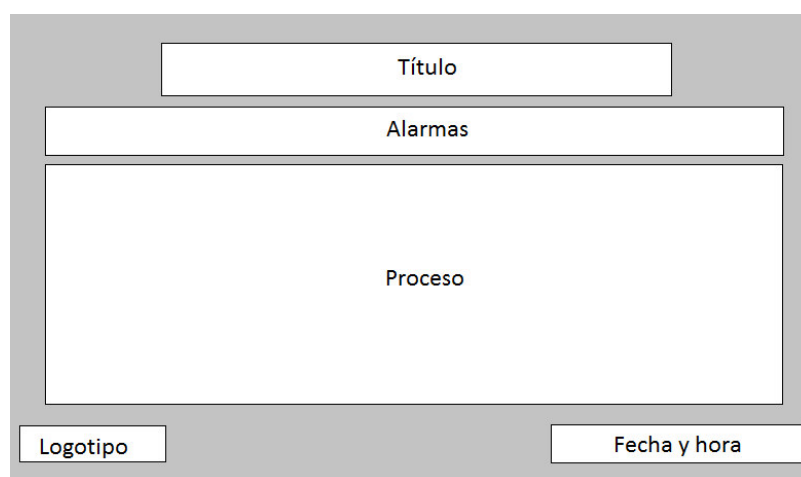


Figura 236. Distribución HMI

La interfaz cuenta con una pantalla. Esta muestra los cuatro indicadores booleanos. Estos corresponden al sensor de color, al sensor inductivo, al estado del robot y al estado del electroimán.

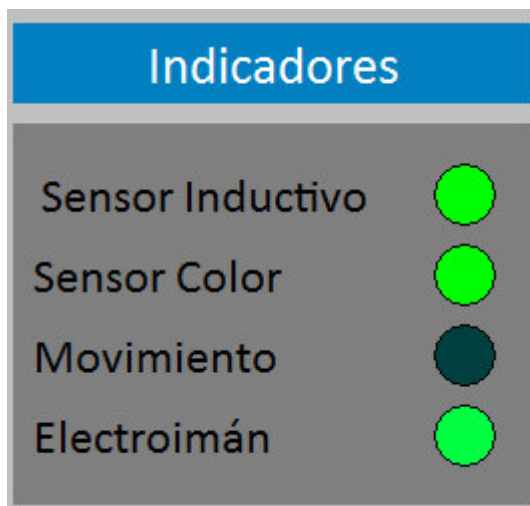


Figura 237. HMI - Indicadores

Al lado derecho de la pantalla se encuentran tres pulsadores normalmente abiertos y un pulsador normalmente cerrado con enclavamiento. Estos corresponden a los mismos controles que se encuentran en la botonera. De esta manera se puede controlar el proceso desde la pantalla o desde el juego de pulsadores físicos.

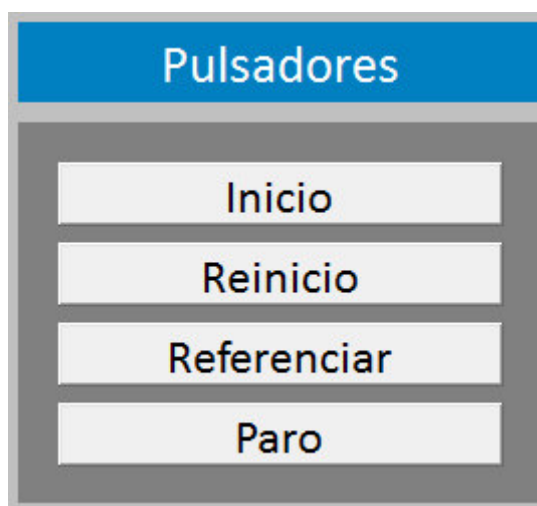


Figura 238. HMI - Pulsadores

En la parte central se encuentra el diagrama del proceso. Este muestra el color del último disco ordenado, la cantidad de discos por color que pasaron por el proceso y un esquema del robot cartesiano y de los discos ordenados.

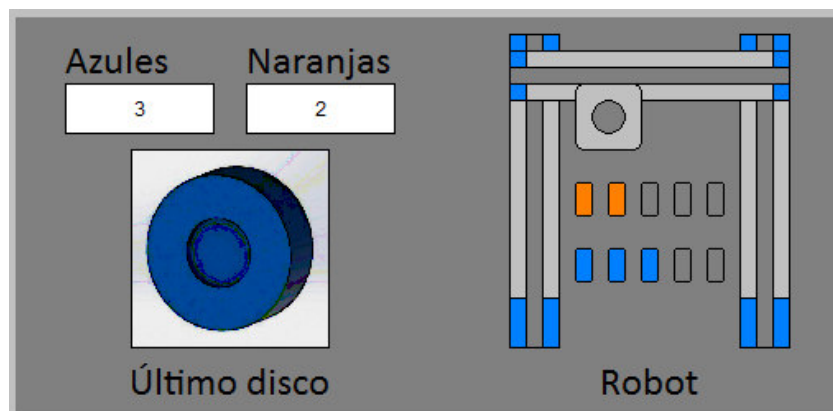


Figura 239. HMI - Proceso

En la parte superior central de la pantalla se muestra un cuadro de alarmas. Existen tres indicadores, uno de color rojo y dos amarillos. El de color rojo corresponde al accionamiento del botón de paro. Los indicadores amarillos corresponden al fin del proceso y al robot sin referenciar.

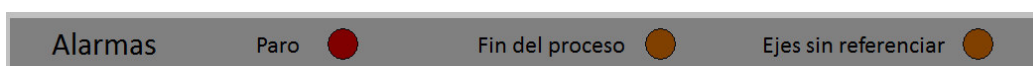


Figura 240. HMI - Alarmas

En la parte inferior se visualiza la posición de cada eje. En los ejes X y Y la posición es positiva mientras que en el eje Z es negativa. Esto se debe al sentido del movimiento de este actuador. Las posiciones se muestran en [mm].

Eje X	Eje Y	Eje Z
Posición	Posición	Posición
392 [mm]	100 [mm]	-45 [mm]

Figura 241. HMI – Variables de proceso

En las esquinas inferiores se encuentra el logotipo de la empresa y al lado opuesto la fecha y hora.



Figura 242. HMI – Logotipo, fecha y hora

## CAPÍTULO 6

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta los parámetros analizados y el método de evaluación que se aplicó a varios puntos del proyecto. Los puntos importantes a los que se evaluó fueron: el proceso (ordenar discos correctamente), interfaz de operación del operario (HMI y botonera) y evaluación de interés del cliente.

#### 6.1. Pruebas

El proceso debe ordenar diez discos en dos grupos según su color. El proceso inicia depositando los discos en el dispensador, encendido y referenciado del robot desde la botonera o HMI y clasificando de los discos manipulados por la garra electromagnética.

##### 6.1.1. Parámetros a evaluar

Los parámetros que se calificarán del proceso se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 42.**

#### Parámetros a evaluar del proceso

Nombre	Descripción
<b>Posicionamiento</b>	Se evalúa el posicionamiento del efector final en dos posiciones. La primera es fija y corresponde al punto de identificación de discos. La segunda es variables y corresponde al posicionamiento del disco a clasificarse de manera que coincida con una de las ranuras de la placa base. No se evalúa llevar el disco a un grupo equivocado ocasionado por una mala identificación.
<b>Identificación de color del disco</b>	Se evalúa la correcta identificación del color del disco. Esto incluye la lectura del sensor inductivo para reconocer la presencia del disco e identificación del color como tal.
<b>Manipulación de discos</b>	Se evalúa que la garra magnética pueda levantar un solo disco, trasladarlo a un punto deseado y depositarlo sin soltarlo.
<b>Interfaces de operación</b>	Se evalúa la facilidad de operación desde la botonera como desde la intefaz HMI. Se evalúa al personal de Ecuainsetec que realiza presentaciones técnicas.
<b>Movilidad del módulo</b>	Se evalúa la facilidad de transporte y ensamblaje del módulo. Se utiliza el tiempo como un parámetro de evaluación representando la complejidad de la puesta en marcha del módulo demostrativo.

### 6.1.2. Posicionamiento

Se realizaron diez repeticiones del proceso. En cinco ocasiones el proceso inició con el módulo apagado. Se enciende el equipo y se referencian los ejes. Se ingresan discos al dispensador y se presiona el botón de inicio desde una interfaz de operación. El proceso termina al ordenar diez discos, cinco de cada color. Las siguientes cinco repeticiones se realizaron con una sola referencia de ejes.

Las calificaciones fueron del uno al tres siendo el tres la mejor calificación. Uno representa totalmente alejado de posición esperada, mayor a 10 [mm]. Dos representa cerca a la posición esperada, entre 3 y 10 [mm]. Tres representa posición correcta, menor a 3 [mm] de la posición deseada. Se establecieron estos valores debido a las dimensiones del módulo y sus elementos.

Los resultados de las pruebas se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 43.**

#### Resultados evaluación del posicionamiento

Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Posición de identificación	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2.9
Posición de clasificación de discos	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2.8

Las pruebas se realizaron en la Universidad Politécnica Salesiana sede sur el dos de junio del año dos mil dieciséis.

### 6.1.3. Identificación de color de disco

Se realizaron diez repeticiones del proceso. Las condiciones de las pruebas fueron las mismas que en la evaluación de posición.

Las calificaciones fueron del uno al tres siendo el tres la mejor calificación. Uno representa que ninguno de los sensores dio el resultado correcto. Dos

representa que uno de sensores dio un resultado incorrecto. Tres representa que los dos sensores identificaron correctamente el disco.

Los resultados de las pruebas se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 44.**

**Resultados evaluación de identificación de color de disco**

Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Identificación de color de disco	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Las pruebas se realizaron en la Universidad Politécnica Salesiana sede Sur, el dos de junio del año dos mil dieciséis.

**6.1.4. Manipulación de discos**

Se realizaron diez repeticiones del proceso. Las condiciones de las pruebas fueron las mismas que en la evaluación de posición.

Las calificaciones fueron del uno al tres siendo el tres la mejor calificación. Uno representa que el disco se desprendió totalmente del manipulador electromagnético en medio del traslado. Dos representa que el disco se movió sin desprenderse del manipulador ocasionando cambios en su orientación. Tres representa que se mantuvo el disco fijo al manipulador durante todo el recorrido.

Los resultados de las pruebas se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 45.**

**Resultados evaluación de manipulación de discos**

Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Manipulación de discos	3	3	1	3	3	2	3	2	3	3	2.6

Las pruebas se realizaron en la Universidad Politécnica Salesiana sede sur el dos de junio del año dos mil dieciséis.

### 6.1.5. Interfaces de operación

La interfaz de operación del módulo demostrativo se conforma de una botonera y una HMI en CoDeSys. El operario del módulo demostrativo, quien es el expositor del producto debe poder poner en funcionamiento de manera rápida y sencilla el módulo. La interfaz HMI debe permitir mostrar variables del sistema como posición actual del efector final y la cantidad de discos ordenados.

Cuatro ingenieros pertenecientes a la empresa Ecuainsetec evaluaron la funcionalidad de las dos interfaces de operación. Las calificaciones fueron del uno al tres siendo el tres la mejor calificación. Uno representa una complejidad de operación alta, es decir no se puede completar la secuencia de operación por sí solo. Dos representa una complejidad de operación media, es decir es necesario repetir varias veces la secuencia de operación para recordarla. Tres representa una complejidad de operación baja, es decir, no hace falta conocer a detalle la programación para poder operar el módulo solo una breve explicación del programador.

**Tabla 46.**

#### **Resultados evaluación de interfaces de operación**

<b>Nombre</b>	<b>HMI</b>	<b>Botonera</b>
<b>Johanna Salvador</b> Gerente nacional de sensores	3	3
<b>Vinicio Dávila</b> Gerente nacional de proyectos	3	3
<b>Paola Naranjo</b> Asesora técnica comercial	3	3
<b>Fernanda Mero</b> Asesora de marketing	2	3

### 6.1.6. Movilidad del módulo

Se realizaron tres pruebas sobre la movilidad de los equipos. La primera fue a la sede sur de la Universidad Politécnica Salesiana el día dos de junio del

año dos mil dieciséis. La segunda fue una empresa manufacturera en ubicada al sur de la ciudad de Quito el día diecisiete de junio del año dos mil dieciséis. La tercera y última prueba se realizó entre sucursales el día veintisiete de julio del mismo año.

Se estableció un tiempo máximo de diez minutos para el armado y conexión del módulo. Esto considerando la duración de las presentaciones realizadas por la empresa.

Los resultados de las pruebas se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 47.**

**Resultados evaluación de movilización del módulo**

<b>Nombre</b>	<b>Tiempo ensamblaje</b>	<b>Tiempo conexiones</b>	<b>Total</b>
<b>Universidad Politécnica Salesiana</b>	7'	2'	9'
<b>Cliente sur de la ciudad (confidencial)</b>	6'	2'	8'
<b>Sucursal</b>	6'	2'	8'

**6.2. Análisis de resultados**

Según los resultados obtenidos se analiza el correcto funcionamiento del módulo diseñado.

Los resultados de las pruebas de posicionamiento muestran que el módulo demostrativo trabaja correctamente respecto a la movilidad el efector final del robot cartesiano. No existieron movimientos inesperados del manipulador ni colisiones.

Los resultados de identificación de discos fueron en su totalidad exitosos. El módulo no perdió la señal de los sensores en ninguna de las repeticiones del proceso. Se tuvo la respuesta esperada planteada en el diseño del proceso.

Los resultados del manipulador demostraron ser el punto más sensible del módulo. Se pudo constatar que la firmeza de la mesa en la que se asienta el



módulo es influyente en el funcionamiento del mismo. Las vibraciones generadas por el movimiento de los ejes en una base desbalanceada generan que los discos se muevan ligeramente de la garra magnética.

Las interfaces de operación fueron claras e intuitivas para la puesta en marcha del módulo demostrativo. Esto lo evidenciaron miembros de la empresa Ecuainsetec pertenecientes tanto al área técnica como al área de marketing, la cual gestiona todas las visitas de presentación de productos.

Finalmente el tiempo de ensamblaje y conexionado del módulo es menor que el establecido como tiempo de preparación en una charla técnica de la empresa. De esta manera se puede asegurar que se pueda realizar una presentación de acuerdo a los tiempos acordados con un cliente.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- La utilización de varios lenguajes de programación de la norma IEC 61131-3 permite aprovechar de mejor manera cada bloque de función de las distintas librerías existentes dando mayores facilidades al programador. Por ejemplo la utilización de un lenguaje gráfico en bloques de control de movimiento o un lenguaje de texto en cálculos matemáticos.
- La integración de actuadores electromecánicos configurados en forma de un robot cartesiano permitió realizar un proceso exitoso de clasificación de discos por color. Este conjunto se convirtió en un módulo demostrativo atractivo, en donde los clientes pueden ver con facilidad las ventajas de estos productos.
- Los ejes accionados por banda dentada permiten tener velocidades más altas que los ejes accionados por husillo. Los ejes accionados por husillo permiten tener una mayor fuerza y mayor precisión que los ejes de banda dentada. Esto es determinante para la selección de componentes en el diseño de un sistema como el de este módulo demostrativo.
- Los ejes accionados por husillo representan un mayor peso al tener un tornillo sinfín dentro de su cuerpo. Esto hace que a grandes longitudes se utilice ejes accionados por banda dentada o por cadenas al reducirse el peso y el costo de los mismos.
- La programación secuencial descrita en diagramas Grafcet permite organizar y depurar el programa con mayor facilidad a lo largo de su desarrollo. Comprender la secuencia del programa se vuelve sencillo al representarlo en un diagrama secuencial.

- La selección de ejes y servomotores se basa en el conocimiento de las características más importantes de cada tipo de actuador. Esto se complementa con software de simulación, como el desarrollado por Festo. La combinación del conocimiento del usuario y las herramientas virtuales, permiten una selección más rápida y eficiente de los componentes necesarios.
- En el presente proyecto se aplicaron conocimientos adquiridos en la Universidad de las Fuerzas Armadas especialmente en las áreas de: PLC, redes industriales, robótica, mecanismos, entre otros.

## **7.2. Recomendaciones**

- Es importante leer el manual de operación de cada equipo que se va a utilizar previo al encendido y conexión del mismo. Esto nos permite estar seguros de cumplir con todas las condiciones de funcionamiento del mismo y evitar daños.
- Al trabajar con sistemas que tienen movimiento, es recomendable desconectar la energía eléctrica o presionar un paro de emergencia al manipular de cerca los actuadores. Esto evita cualquier movimiento inesperado durante el trabajo.
- Para evitar cables enredados o que puedan interferir con el movimiento del sistema se debe utilizar cadenas portacables. Estas permiten un movimiento limpio de los diferentes actuadores y seguros respecto al cableado eléctrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amazon. (2016). *Amazon*. Obtenido de [http://www.amazon.com/Sucking-Solenoid-Holding-Electromagnet-DC12V/dp/B00HR8LLF6/ref=pd\\_sim\\_328\\_3?ie=UTF8&dpID=41pZJRKaOnL&dpSrc=sims&preST=\\_AC\\_UL160\\_SR160%2C160\\_&refRID=0RDGD81097ZQWD9TCF8A](http://www.amazon.com/Sucking-Solenoid-Holding-Electromagnet-DC12V/dp/B00HR8LLF6/ref=pd_sim_328_3?ie=UTF8&dpID=41pZJRKaOnL&dpSrc=sims&preST=_AC_UL160_SR160%2C160_&refRID=0RDGD81097ZQWD9TCF8A)
- Beck, A. (2016). *Cadenas Part Solution*. Obtenido de <http://partsolutions.com/pcb-linear-3d-parts-catalog-beings-large-format-3d-printing-capabilities-to-the-masses/>
- Bryan, L. (1997). *Programmable controllers: theory and implementation*. Marrieta: Industrial Text & Video Company.
- Ecuainsetec Cia Ltda. (2016). *Ecuainsectec*. Obtenido de Servicios: <http://www.ecuainsetec.com.ec/es/servicios/charlas-especializadas>
- Electrocrea. (2016). *Electrocrea*. Obtenido de <https://electrocrea.com/products/electroiman-12v-24n?variant=3795342595>
- Erazo, A. (2015). Control automático en entornos industriales distribuidos. *Apuntes clase Redes Industriales - Universidad de las Fuerzas Armadas*, (pág. 38). Sangolquí.
- Festo AG & C. KG. (04 de 2014). *Controlador del motor - Descripción del funcionamiento*. Obtenido de [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/326547/CMMP-AS-M3-FW\\_2013-04\\_8022068e1.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/326547/CMMP-AS-M3-FW_2013-04_8022068e1.pdf)
- Festo AG & Co .KG. (2016). *Distribuidor multipolo MPV*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-ar\\_ar/products\\_MPV](https://www.festo.com/cat/es-ar_ar/products_MPV)
- Festo AG & Co. KG. (10 de 2007). *Componentes Mecánicos Catálogo 2007*. Obtenido de [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/10607/Componentes\\_Mecanicos\\_2007\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/10607/Componentes_Mecanicos_2007_es.pdf)
- Festo AG & Co. KG. (08 de 2009). *Festo*. Obtenido de Product Short Information: <https://www.festo.com/net/supportportal/files/13552/egsk>
- Festo AG & Co. KG. (2013). Codesys v2.3 Help. *Softmotion Concept*. Smart Software Solutions.
- Festo AG & Co. KG. (08 de 2014). Ejes accionados por correa dentada EGC-TB-KF. Alemania.
- Festo AG & Co. KG. (01 de 2014). *Fuentes de alimentación SVG*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-ar\\_ar/search?query=SVG](https://www.festo.com/cat/es-ar_ar/search?query=SVG)
- Festo AG & Co. KG. (12 de 2014). Servomotores EMMS-AS. Alemania.
- Festo AG & Co. KG. (10 de 2015). *Conjunto de varios ejes*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-ar\\_ar/products\\_010850](https://www.festo.com/cat/es-ar_ar/products_010850)

- Festo AG & Co. KG. (05 de 2015). *Unidades modulares de control CECX*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ES/PDF/ES/CECX\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/CECX_ES.PDF)
- Festo AG & Co. KG. (01 de 2016). *Controlador de motor CMMP-AS para servomotores*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-ar\\_ar/data/doc\\_es/PDF/ES/CMMP-AS-M3\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-ar_ar/data/doc_es/PDF/ES/CMMP-AS-M3_ES.PDF)
- Festo AG & Co. KG. (02 de 2016). Ejes accionados por husillo EGC-BS-KF. Alemania.
- Festo AG & Co. KG. (2016). *Festo*. Obtenido de [https://www.festo.com/cms/es-cl\\_cl/15576.htm](https://www.festo.com/cms/es-cl_cl/15576.htm)
- Festo AG & Co. KG. (2016). *Festo*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-mx\\_mx/products\\_SIES](https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/products_SIES)
- Festo AG & Co. KG. (02 de 2016). Minicarros EGSL eléctrico. Alemania.
- Fraden, J. (2010). *Handbook of modern sensors*. Londres: Springer.
- González, V. R. (2003). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/sistema/morfologia.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm)
- Guitierrez, A. (12 de 06 de 2014). *Mecatronic*. Obtenido de <http://mecatronic.blogspot.com/2012/06/manipulador.html>
- Haug, C. (26 de 10 de 2011). *Festo AG & Co. KG*. Obtenido de [https://www.festo.com/net/en\\_group/SupportPortal/press.aspx?cat=4200&tab=11&offset=90](https://www.festo.com/net/en_group/SupportPortal/press.aspx?cat=4200&tab=11&offset=90)
- Hernando, C. (24 de 02 de 2010). *Pick & Place Festo Didactic - Video de Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=0MIANHPvx8M>
- Ibarra, A. (2015). Elementos terminales, actuadores finales o grippers. *Apuntes clase Robótica Industrial - Universidad de las Fuerzas Armadas*, (pág. 17). Sangolquí.
- IFM. (2016). *IFM*. Obtenido de <https://www.ifm.com/ifmcl/web/apps-by-industry/medici%C3%B3n-de-nivel-en-dep%C3%B3sitos-de-almacenamiento.html>
- IFM. (2016). *IFM*. Obtenido de [http://www.ifm.com/ifmes/web/news/news\\_789df3.html](http://www.ifm.com/ifmes/web/news/news_789df3.html)
- Igus. (2016). *Igus, plastics for longer life*. Obtenido de <http://www.igus.es/wpck/2415/chainflectested?C=ES&L=es>
- Igus GmbH. (2016). *Igus plastics for life*. Obtenido de E-chains: [http://www.igus.eu/wpck/5153/econovate\\_echains](http://www.igus.eu/wpck/5153/econovate_echains)
- Innova. (30 de 06 de 2014). *Innova Maquinaria Industrial*. Obtenido de <http://www.innovamaquinaria.com/el-robot-ideal-para-la-paletizacion-de-envases/>

- Kottmann, A. (2009). *SoftMotion/Motion Control & Festo Electric Drives*. Estados Unidos.
- Led Controls Cia Ltda. (2016). Obtenido de <http://www.ledcontrols.com.mx/catalogo.php?linea=9>
- Maloney, T. (2006). *Electrónica Industrial Moderna*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- Menéndez Poo, L. P. (11 de 12 de 2008). *Universidad de las Américas Puebla*. (U. d. Puebla, Ed.) Obtenido de UDLAP Bibliotecas: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/menendez\\_p\\_lp/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/menendez_p_lp/capitulo1.pdf)
- Omron. (2016). *Omron Industrial Automation*. Obtenido de [http://www.omron.com.au/solutions/application\\_solutions/industry\\_details.asp?app\\_id=E483](http://www.omron.com.au/solutions/application_solutions/industry_details.asp?app_id=E483)
- Panasonic. (2016). *Industrial Panasonic*. Obtenido de Automation Controls: <http://www3.panasonic.biz/ac/e/fasys/plc/plc/fp0r/index.jsp>
- Patino, J. (02 de 2015). *Avances teóricos de los motores*. Obtenido de <http://jorgepatino280257.blogspot.com/>
- PLCopen. (2016). *PLCopen for efficiency in automation*. Obtenido de <http://www.plcopen.org/index.html>
- Rojas Cubides, H. D. (14 de 01 de 2009). *Automatización industrial mediante PLC's*. Obtenido de <https://davidrojasticsplc.files.wordpress.com/2009/01/plc1s2.pdf>
- Rojas Cubides, H. D. (14 de 01 de 2009). *Automatización Industrial mediante PLC's*. Obtenido de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/2009/01/14/ventajas-y-desventajas/>
- Sick AG. (2016). *Sick Sensor Intelligence*. Obtenido de [https://www.sick.com/es/es/gama-de-productos/c/PRODUCT\\_ROOT#g172752](https://www.sick.com/es/es/gama-de-productos/c/PRODUCT_ROOT#g172752)
- Sick AG. (2016). *Sick Sensor Intelligence*. Obtenido de <https://www.sick.com/es/es/gama-de-productos/sensores-de-registro/sensores-de-color/c/g113666>
- Smolenski, N. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Robot\\_de\\_coordenadas\\_cartesianas#/media/File:Descartes\\_configuration.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Robot_de_coordenadas_cartesianas#/media/File:Descartes_configuration.png)
- Tactical Marcoms. (22 de 11 de 2010). *Tactical Marcoms Limited*. Obtenido de <http://www.tacticalmarcomms.com/news/147/>
- Wago Corporation. (2016). *WAGO Online Catalog*. Obtenido de [https://eshop.wago.com/JPBC/0\\_5StartPage.jsp;jsessionid=971F3D8226C0473BA1847CDE1D54A555?zone=6](https://eshop.wago.com/JPBC/0_5StartPage.jsp;jsessionid=971F3D8226C0473BA1847CDE1D54A555?zone=6)
- Wikipedia. (17 de 11 de 2016). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sector\\_circular](https://es.wikipedia.org/wiki/Sector_circular)



## **ANEXOS**