



# **ESPE**

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

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE DOS MÓDULOS  
DIDÁCTICOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE SÓLIDOS Y  
TAPADO DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE  
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA.**

**AUTORES: ORTEGA QUEVEDO BRYAN JAVIER  
QUIÑONEZ PAREDES JORDAN JOSE**

**DIRECTOR: ING. TERNEUS, FRANCISCO**

**SANGOLQUÍ**

**DICIEMBRE, 2015**

## CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto "REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE DOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE SÓLIDOS Y TAPADO DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA." Fue desarrollado en su totalidad por los señores Bryan Javier Ortega Quevedo y Jordan Jose Quiñonez Paredes como requerimiento parcial para la obtención del título de ingeniero mecatrónico.



Ing. Francisco Terneus.

DIRECTOR

Sangolquí, Diciembre 2015

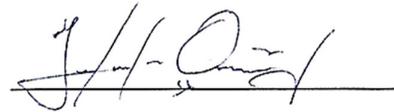
## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE DOS MÓDULOS DIDÁCTICOS  
PARA LA DOSIFICACIÓN DE SÓLIDOS Y TAPADO DE BOTELLAS EN EL  
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA.”

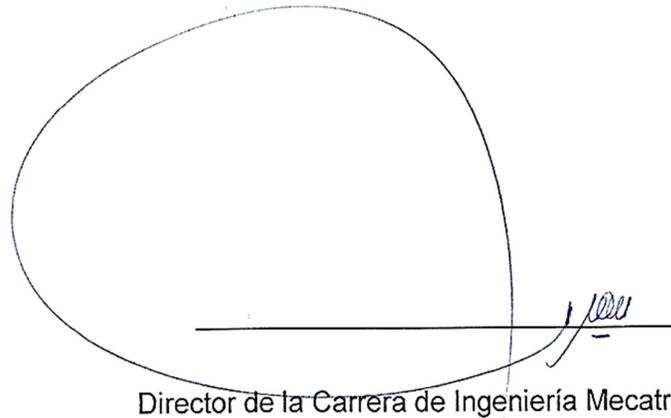
ELABORADO POR:



Bryan Javier Ortega Quevedo



Jordan Jose Quiñonez Paredes



Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

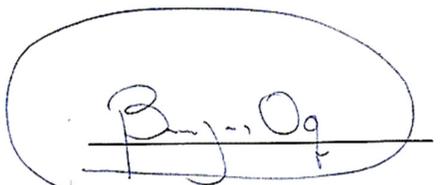
Ing. Francisco Terneus

Sangolquí, Diciembre 2015

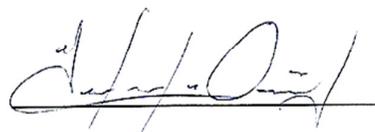
## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado "REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE DOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE SÓLIDOS Y TAPADO DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA.", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.

A handwritten signature in blue ink, consisting of the letters 'B', 'J', 'O', and 'Q' in a stylized, cursive font, enclosed within a hand-drawn oval.

Bryan Javier Ortega Quevedo

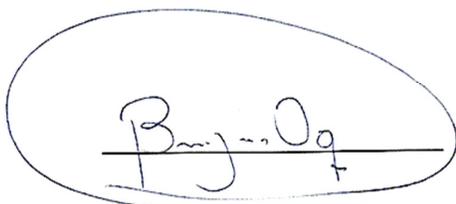
A handwritten signature in blue ink, featuring a complex, cursive script with a prominent initial 'J' and 'Q', positioned above a horizontal line.

Jordan Jose Quiñonez Paredes

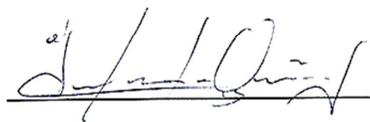
Sangolquí, Diciembre 2015

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, Bryan Javier Ortega Quevedo y Jordan Jose Quiñonez Paredes, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo “REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE DOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE SÓLIDOS Y TAPADO DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature appears to be "Bryan Ortega".

Bryan Javier Ortega Quevedo

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized cursive script.

Jordan Jose Quiñonez Paredes

Sangolquí, Diciembre 2015

**DEDICATORIA**

*“Dedico este proyecto a todas las personas que me han apoyado para conseguir este objetivo, principalmente a mis padres, que han sido mi sustento y me han ayudado cada día a seguir adelante.”*

Bryan Javier Ortega Quevedo

**DEDICATORIA**

*“Dedico este proyecto principalmente a mi madre, que me ha dado todo lo que soy como persona apoyando con su esfuerzo y cariño incondicional en los momentos difíciles para no desfallecer durante toda mi trayectoria estudiantil y de vida. De igual forma a mis hermanos y seres queridos que siempre han estado para brindarme su apoyo compartiendo buenos y malos momentos. Finalmente a todos aquellos familiares y amigos que han aportado un granito de arena a la culminación de este trabajo.”*

Jordan Jose Quiñonez Paredes

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres por haberme apoyado en todo momento y estar conmigo ayudándome en los buenos y en los malos momentos.*

*A aquellos profesores que me enseñaron a creer en mis capacidades y me brindaron los consejos necesarios para ser un buen profesional.*

Bryan Javier Ortega Quevedo

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco, a Dios por brindarme salud y fuerza para culminar esta etapa de mi vida. A mi madre y abuelita que con su comprensión y paciencia han estado para corregir mis errores.*

*A mi familia y amigos por ser parte importante en mi vida dando alegrías y consejos cuando más los he necesitado.*

*Gracias a los Ingenieros por los conocimientos que me transmitieron y a todos los que me brindaron su ayuda a lo largo de esta trayectoria.*

Jordan Jose Quiñonez Paredes

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	iii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iv
AUTORIZACIÓN .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
RESUMEN .....	xxiv
ABSTRACT .....	xxv
CAPÍTULO 1 .....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	3
1.4. ÁREA DE INFLUENCIA .....	4
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO .....	4
1.5.1. Alcance Mecánico .....	4
1.5.2. Alcance Electrónico .....	5
1.5.3. Alcance del Sistema de Control .....	5
1.6. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	6
1.6.1. Objetivo General .....	6
1.6.2. Objetivos Específicos .....	6
CAPÍTULO 2 .....	8
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	8
2.1. INTRODUCCIÓN .....	8
2.1.1. Estaciones Didácticas .....	9
2.1.2. Sistemas Modulares .....	10
2.1.3. Sistemas de Dosificación .....	11
2.1.4. Sistemas de Tapado de Botellas .....	12

2.1.5.	Transportación entre módulos.....	13
2.2.	COMPONENTES MECÁNICOS .....	15
2.2.1.	Cilindros Neumáticos .....	15
2.2.2.	Electroválvulas .....	17
2.2.3.	Tornillo sin Fin.....	19
2.2.4.	Brazo Mecánico.....	20
2.2.5.	Efactor final de un Brazo Mecánico.....	22
2.3.	COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	23
2.3.1.	Placa Arduino .....	23
2.3.2.	Relé.....	23
2.3.3.	Motor eléctrico.....	24
2.3.4.	Motor reductor .....	25
2.3.5.	Motor DC.....	26
2.3.6.	Servomotor.....	26
2.3.7.	Motor a pasos .....	27
2.3.8.	Controlador lógico programable .....	28
2.4.	SENSORES.....	29
2.4.1.	Sensor Magnético .....	29
2.4.2.	Sensor Fotoeléctrico .....	29
2.4.3.	Sensor Capacitivo .....	30
2.4.4.	Sensor de Contacto o Final de Carrera.....	31
2.4.5.	Sensor Infrarrojo.....	31
2.4.6.	Sensor de Color .....	32
	CAPÍTULO 3.....	33
3.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	33
3.1.	DIRECTRICES PREVIAS PARA EL DISEÑO .....	33
3.2.	DISEÑO MECÁNICO.....	34
3.2.1.	Diseño de las Estructuras Principales.....	35
3.2.2.	Diseño de las Bandas Transportadoras.....	51
3.2.3.	Sistema Dosificador de Sólidos.....	83
3.2.4.	Sistema de Tapado de Botellas .....	91
3.2.5.	Diseño Neumático.....	112

3.2.6.	Diseño de las estructuras de soporte .....	122
3.2.7.	Diseño Conceptual del Brazo Electromecánico .....	138
3.2.8.	Mecanismo de Sujeción del Brazo Electromecánico.....	141
3.2.9.	Análisis estático del brazo electromecánico.....	152
3.3.	DISEÑO ELECTRÓNICO .....	164
3.3.1.	Selección y Acondicionamiento de Actuadores.....	164
3.3.2.	Selección y Acondicionamiento de Sensores.....	181
3.3.3.	Conexiones Externas de 5 [Vdc] y 24 [Vdc] .....	186
3.3.4.	Selección de Fuentes de alimentación.....	188
CAPÍTULO 4	.....	190
4.	MANUAL DE USUARIO .....	190
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	190
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS.....	195
4.3.	ESQUEMAS DE CONEXIÓN .....	199
4.3.1.	Esquemas neumáticos.....	199
4.3.2.	Esquemas eléctricos .....	200
4.3.3.	Conexiones hacia el PLC .....	202
4.4.	OPERACIÓN DEL BRAZO ELECTROMECAÁNICO.....	203
4.4.1.	Programación del Controlador.....	204
4.5.	PRECAUCIONES .....	205
CAPÍTULO 5	.....	206
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO 'DEMO' .....	206
5.1.	CONEXIONES DEL SISTEMA DE CONTROL.....	209
5.1.1.	Conexiones en el módulo didáctico 1.....	209
5.1.2.	Conexiones en el módulo didáctico 2.....	211
5.2.	SECUENCIAS DEL PROCESO.....	212
5.2.1.	Secuencia del Módulo Didáctico 1 .....	212
5.2.2.	Secuencia del Módulo Didáctico 2 .....	220
5.2.3.	Secuencia entre Módulos Didácticos .....	226
5.3.	PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES .....	230
5.4.	REQUERIMIENTOS PREVIOS .....	230
CAPÍTULO 6	.....	232

6. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	232
6.1. COSTOS DIRECTOS .....	232
6.2. COSTOS INDIRECTOS.....	235
6.3. COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.....	236
CAPÍTULO 7.....	237
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	237
7.1. CONCLUSIONES .....	237
7.2. RECOMENDACIONES .....	238
ANEXOS.....	240
Referencias.....	241

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 . Características Físicas del Envase .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Aluminio 6061 .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Factor de seguridad en función de las Condiciones de Trabajo ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4. Catálogo del producto NAB-8EEWV 11 .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5. Coeficiente de fricción del acero con algunos materiales.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6. Coeficiente de fricción del aluminio con algunos materiales .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 7. Datos Técnicos del motor seleccionado.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8. Coeficiente de fricción del acero con algunos materiales.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 9. Coeficiente de fricción del acero con algunos materiales.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 10. Datos Técnicos del motor seleccionado.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 11. Productos Agrícolas .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 12. Tabla de diseño de tolvas .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 13. Coeficiente de fricción del aluminio con algunos materiales .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 14. Datos Técnicos del motor seleccionado.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 15. Propiedades Técnicas del Cilindro Simple Efecto.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 16. Catálogo del producto Servomotor HITEC HS-805 BB .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 17. Propiedades Técnicas del Cilindro Doble Efecto .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 18. Propiedades Técnicas del Cilindro Doble Efecto .....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 19. Propiedades Técnicas del Cilindro Simple Efecto.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 20. Dimensiones de estructura soporte 1.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 21. Dimensiones de estructura soporte 2.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 22. Catálogo de perfiles estructurales cuadrados .....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 23. Características y propiedades de Acrílico .....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 24. Características Motor NEMA.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 25. Datos Eléctricos del motor – banda transportadora .....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 26. Datos Eléctricos del driver de potencia L298N.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 27. Datos Eléctricos dimensionamiento del circuito de control.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 28. Especificaciones Eléctricas del Transistor 2N3904.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 29. Datos Eléctricos del motor – Disco rotatorio .....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 30. Especificaciones Técnicas - Electroválvulas.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 31. Tabla de Actuadores Neumáticos – Módulo 1.....</i>	<i>172</i>

<i>Tabla 32. Especificaciones Eléctricas del Transistor 2N3904.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 33. Tabla de Actuadores Neumáticos – Módulo 2.....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 34. Tabla de Consumo por Elementos – Módulo 1.....</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 35. Tabla de Consumo de Energía – Módulo 1.....</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 36. Tabla de Consumo por Elementos – Módulo 2.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 37. Tabla de Consumo de Energía – Módulo 2.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 38. Tabla de Componentes en el Módulo 1.....</i>	<i>191</i>
<i>Tabla 39. Tabla de Componentes en el Módulo 2.....</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 40. Tabla de Sistemas en el Módulo 1.....</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 41. Tabla de Sistemas en el Módulo 2.....</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 42. Tabla de Entrada/Salidas hacia el PLC – Módulo 1.....</i>	<i>202</i>
<i>Tabla 43. Tabla de Entrada/Salidas hacia el PLC – Módulo 2.....</i>	<i>202</i>
<i>Tabla 44. Especificaciones Técnicas del Arduino NANO.....</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 45. Especificaciones Técnicas del Arduino MEGA.....</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 46. Especificaciones Técnicas del PLC Logo.....</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 47. Ponderación en E/S Digitales.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 48. Ponderación en Corriente por E/S.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 49. Ponderación en Costos.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 50. Ponderación de Parámetros.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 51. Tabla de Decisión.....</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 52. Tabla de relación de Señales en el Módulo 1.....</i>	<i>210</i>
<i>Tabla 53. Tabla de relación de Señales en el Módulo 2.....</i>	<i>211</i>
<i>Tabla 54. Diagrama de estados – paso A1.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 55. Diagrama de estados – paso A2.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 56. Diagrama de estados – paso A3.....</i>	<i>214</i>
<i>Tabla 57. Diagrama de estados – paso A4.....</i>	<i>215</i>
<i>Tabla 58. Diagrama de estados – paso A5.....</i>	<i>216</i>
<i>Tabla 59. Diagrama de estados – paso A6.....</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 60. Diagrama de estados – paso A7.1.....</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 61. Diagrama de estados – paso A7.2.....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 62. Diagrama de estados – paso B1.....</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 63. Diagrama de estados – paso B2.....</i>	<i>221</i>

<i>Tabla 64. Diagrama de estados – paso B3</i> .....	223
<i>Tabla 65. Diagrama de estados – paso B4</i> .....	223
<i>Tabla 66. Diagrama de estados – paso B5</i> .....	224
<i>Tabla 67. Diagrama de estados – paso B6</i> .....	226
<i>Tabla 68. Diagrama de estados – paso C1</i> .....	227
<i>Tabla 69. Diagrama de estados – paso C2</i> .....	228
<i>Tabla 70. Diagrama de estados – paso C3</i> .....	229
<i>Tabla 71. Costo de ejecutores</i> .....	232
<i>Tabla 72. Costo de Elementos Mecánicos</i> .....	233
<i>Tabla 73. Costo de elementos eléctricos y electrónicos</i> .....	234
<i>Tabla 74. Costo directos totales</i> .....	235
<i>Tabla 75. Costo indirectos totales</i> .....	235
<i>Tabla 76. Costos totales del Proyecto</i> .....	236

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estación didáctica de Separado y Clasificación de Sólidos .....	9
Figura 2. Sistema de Producción Modular .....	10
Figura 3. Sistema de Dosificación.....	12
Figura 4. Sistema de Tapado de Botellas .....	13
Figura 5. Cinta transportadora .....	14
Figura 6. Brazo Mecánico Industrial para el Traslado de Cajas.....	14
Figura 7. Cilindro Neumático .....	15
Figura 8. Cilindro Neumático de Simple Efecto .....	16
Figura 9. Cilindro Neumático de Doble Efecto .....	17
Figura 10. Electroválvula 3/2 vías.....	18
Figura 11. Electroválvula 5/2 vías.....	19
Figura 12. Tornillo sin Fin .....	20
Figura 13. Brazo hidráulico RB600 XD .....	21
Figura 14. Gripper, mecanismo de 4 barras .....	22
Figura 15. Arduino Uno.....	23
Figura 16. Estructura Relé .....	24
Figura 17. Motor Eléctrico .....	25
Figura 18. Motor reductor acoplamiento caja de engranes.....	25
Figura 19. Motor DC .....	26
Figura 20. Funcionamiento de movimiento en un servomotor .....	27
Figura 21. Composición de un motor a pasos .....	28
Figura 22. Instalación de componentes en un PLC S7-300.....	28
Figura 23. Sensor magnético y su simbología .....	29
Figura 24. Sensor Fotoeléctrico .....	30
Figura 25. Sensor Capacitivo.....	31
Figura 26. Final de Carrera .....	31
Figura 27. Sensor Infrarrojo .....	32
Figura 28. Sensor de Color .....	32
Figura 29. Botella Plástica a Utilizar .....	35
Figura 30. Elementos de la estructura de soporte módulo 1.....	37
Figura 31. Dimensiones (en mm) de la estructura de soporte módulo 1.....	38

Figura 32. Diagrama de cuerpo libre de la estructura .....	38
Figura 33. Propiedades físicas del perfil de soporte .....	39
Figura 34. Área soporte B .....	40
Figura 35. Vista Isométrica de la Estructura Principal del Módulo 2 .....	42
Figura 36. Propiedades físicas de los elementos de la Estructura .....	43
Figura 37. Distribución de Fuerzas en el plano Y- Z .....	44
Figura 38. Distribución de Fuerzas en el perfil B .....	44
Figura 39. Sección transversal del Perfil B .....	46
Figura 40. Distribución de Fuerzas en el plano X-Y .....	47
Figura 41. Distribución de Fuerzas en el plano X-Y .....	48
Figura 42. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 1 .....	53
Figura 43. Medidas Longitudinales de la Cinta en el Módulo 1 .....	53
Figura 44. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 1 .....	54
Figura 45. Diagrama de Fuerzas en la Cinta .....	54
Figura 46. Ángulos de contacto en la banda transportadora .....	59
Figura 47. Motor Eléctrico a Utilizar .....	61
Figura 48. Dimensiones Longitudinales del Rodillo .....	62
Figura 49. Distribución de Fuerzas a través del Rodillo .....	62
Figura 50. Diagrama de Tensiones en el Rodillo en el plano X-Y .....	63
Figura 51. Distribución de Fuerzas en el plano Y-Z .....	63
Figura 52. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z .....	64
Figura 53. Distribución de Fuerzas en el plano X-Z .....	64
Figura 54. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z .....	65
Figura 55. Dimensiones Longitudinales del Rodillo .....	65
Figura 56. Distancia del apoyo hacia el centro del cilindro .....	66
Figura 57. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 2 .....	70
Figura 58. Medidas Longitudinales de la Cinta en el Módulo 2 .....	70
Figura 59. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 2 .....	71
Figura 60. Diagrama de Fuerzas en la Cinta .....	71
Figura 61. Motor Eléctrico a Utilizar .....	76
Figura 62. Dimensiones Longitudinales del Rodillo .....	77
Figura 63. Distribución de Fuerzas a través del Rodillo .....	77

Figura 64. Diagrama de Tensiones en el Rodillo en el plano X-Y.....	78
Figura 65. Distribución de Fuerzas en el plano Y-Z.....	78
Figura 66. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z.....	79
Figura 67. Distribución de Fuerzas en el plano X-Z.....	79
Figura 68. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z.....	80
Figura 69. Dimensiones Longitudinales del Rodillo.....	80
Figura 70. Distancia del apoyo hacia el centro del cilindro.....	81
Figura 71. Deformación soporte tolva.....	87
Figura 72. Deformación barra tolva.....	87
Figura 73. Ángulo trayectoria de dosificación.....	88
Figura 74. Diámetro del disco rotatorio.....	89
Figura 75. Dimensiones Principales de la tapa.....	91
Figura 76. Dimensiones del Contenedor incorporado.....	91
Figura 77. Diagrama de Fuerzas en el Contenedor.....	92
Figura 78. Sección transversal del Contenedor.....	93
Figura 79. Ángulo para el deslizamiento de la tapa.....	95
Figura 80. Contenedor de Tapas.....	95
Figura 81. Distribuidor de Tapas.....	96
Figura 82. Dimensionamiento de los apoyos.....	96
Figura 83. Diseño CAD de los Apoyos.....	97
Figura 84. Sección transversal del Apoyo.....	99
Figura 85. Agarre Tipo L para la sujeción.....	101
Figura 86. Propiedades físicas del Agarre tipo L.....	101
Figura 87. Pruebas experimentales para el ajuste de las tapas.....	105
Figura 88. Servomotor HITEC HS-805 BB.....	106
Figura 89. Propiedades físicas del Acople de sujeción.....	106
Figura 90. Dimensiones de la mesa de apoyo.....	110
Figura 91. Pieza tapado de tolva.....	113
Figura 92. Agarre Tipo C para el empuje.....	116
Figura 93. Propiedades físicas del Agarre tipo C.....	117
Figura 94. Estructura Módulo 1.....	122
Figura 95. Estructura Módulo 2.....	122

Figura 96. Dimensiones estructura módulo 1 .....	123
Figura 97. Diagrama de fuerzas y reacciones módulo 1 .....	123
Figura 98. Cuadrícula de estructura 1 .....	127
Figura 99. Estructura 1 con perfil .....	128
Figura 100. Carga Muerta .....	128
Figura 101. Carga Viva .....	128
Figura 102. Deformación de la estructura 1 .....	129
Figura 103. Traslación y rotación en ejes (X, Y, Z) en metros .....	129
Figura 104. Capacidad de elementos estructurales .....	129
Figura 105. Detalles elemento crítico demanda de capacidad .....	130
Figura 106. Dimensiones estructura módulo 2 .....	130
Figura 107. Diagrama de fuerzas y reacciones módulo 1 .....	131
Figura 108. Cuadrícula de estructura 2 .....	134
Figura 109. Estructura 2 con perfil .....	135
Figura 110. Carga Muerta .....	135
Figura 111. Carga Viva .....	135
Figura 112. Deformación de la estructura 2 .....	136
Figura 113. Traslación y rotación en ejes (X, Y, Z) en metros .....	136
Figura 114. Capacidad de elementos estructurales .....	136
Figura 115. Detalles elemento crítico demanda de capacidad .....	137
Figura 116. Vista Frontal de los Módulos Acoplados .....	138
Figura 117. Vista Superior de los Módulos Acoplados .....	138
Figura 118. Bosquejo general del Brazo Electromecánico .....	139
Figura 119. Dimensiones principales en el sistema de transporte .....	140
Figura 120. Gripper Industrial .....	141
Figura 121. Paralelogramo Articulado de Doble Manivela .....	142
Figura 122. Centro de Gravedad del Gripper .....	143
Figura 123. Centro de Gravedad del Gripper .....	144
Figura 124. Arco de Giro del Eslabón lateral .....	145
Figura 125. Centros de Giros de los Eslabones .....	146
Figura 126. Análisis de Distancias en los Eslabones .....	146
Figura 127. Mecanismos de 4 barras a implementar .....	147

Figura 128. Mecanismo Paralelogramo articulado.....	148
Figura 129. Mecanismo Paralelogramo articulado.....	148
Figura 130. Desplazamientos en X / Y en función del Ángulo. ....	149
Figura 131. Diseño de Sujeción.....	149
Figura 132. Análisis de Fuerzas en la sujeción.....	150
Figura 133. Área de Contacto.....	151
Figura 134. Dimensionamiento longitudinal del Gripper.....	152
Figura 135. Distancias Principales en el Eje de Soporte.....	153
Figura 136. Diagrama de cuerpo libre del eje.....	153
Figura 137. Dimensiones principales en el sistema de transporte.....	156
Figura 138. Diagrama de Distancias en el Brazo Electromecánico.....	157
Figura 139. Vista Isométrica del Eslabón Principal.....	158
Figura 140. Diagrama de cuerpo libre del Eslabón.....	158
Figura 141. Sección transversal del brazo.....	159
Figura 142. MOTOR NEMA 23 BIPOLAR.....	162
Figura 143. Driver.....	165
Figura 144. Placa de Control del Motor Banda – Módulo 1.....	166
Figura 145. Transistor 2N3405 en Corte y Saturación.....	168
Figura 146. Acondicionamiento de las Señales S7X, S8X y S9X.....	169
Figura 147. Acondicionamiento de las Señales S7, S8 y S9.....	170
Figura 148. Acondicionamiento de las Señales S10X, S11X y S12X.....	171
Figura 149. Acondicionamiento de las Señales S10, S11 y S12.....	171
Figura 150. Acondicionamiento Señales 1M1X, 1M2X, 2M1X y 3M1X.....	173
Figura 151. Acondicionamiento de Señales 1M1, 1M2, 2M1 y 3M1.....	173
Figura 152. Circuito de Control del Motor M4.....	174
Figura 153. Transistor BD135 en Corte y Saturación.....	175
Figura 154. Circuito de Control del Motor M3.....	177
Figura 155. Acondicionamiento Señales 4M1, 5M1, 6M1 y 6M2.....	178
Figura 156. Acondicionamiento Señales 4M1X, 5M1X, 6M1X y 6M2X.....	178
Figura 157. Acondicionamiento de la señal M5X.....	179
Figura 158. Driver para Motor a Pasos 2M542.....	179
Figura 159. Circuito de Control del Brazo Electromecánico.....	180

Figura 160. Acondicionamiento de Señales H1X y H2X .....	181
Figura 161. Acondicionamiento de los Sensores Capacitivos .....	182
Figura 162. Acondicionamiento de Señales B2 y B4 .....	183
Figura 163. Divisor de Voltaje para el Sensor Fotoeléctrico .....	183
Figura 164. Acondicionamiento de la señal B1 .....	185
Figura 165. Acondicionamiento de la Señal B5 .....	185
Figura 166. Acondicionamiento de Señales de Pulsadores y Switchs.....	186
Figura 167. Conexiones de Salida para las Borneras – Módulo 2 .....	187
Figura 168. Conexiones de Salida para las Borneras – Módulo 1 .....	187
Figura 169. Elementos del Módulo Didáctico 1 .....	192
Figura 170. Elementos del Módulo Didáctico 2.....	194
Figura 171. Sectores del Módulo Didáctico 1 .....	196
Figura 172. Sectores del Módulo Didáctico 2 .....	198
Figura 173. Esquema neumático del Módulo Didáctico 1 .....	199
Figura 174. Esquema neumático del Módulo Didáctico 2 .....	199
Figura 175. Diagrama P&ID del Módulo Didáctico 1 .....	200
Figura 176. Diagrama P&ID del Módulo Didáctico 2.....	201
Figura 177. Brazo Electromecánico .....	203
Figura 178. Bosquejo general del Brazo Electromecánico .....	204
Figura 179. Cable plano de 20 pines .....	209
Figura 180. Diagrama de Conexión del modo DEMO – Módulo 1 .....	210
Figura 181. Diagrama de Conexión del modo DEMO – Módulo 2 .....	211
Figura 182. Paso A1 – Módulo Didáctico 1 .....	212
Figura 183. Paso A2 – Módulo Didáctico 1 .....	213
Figura 184. Paso A3 – Módulo Didáctico 1 .....	214
Figura 185. Paso A4 – Módulo Didáctico 1 .....	215
Figura 186. Paso A5 – Módulo Didáctico 1 .....	216
Figura 187. Paso A6 – Módulo Didáctico 1 .....	217
Figura 188. Paso A7.1 – Módulo Didáctico 1 .....	218
Figura 189. Paso A7.2 – Módulo Didáctico 1 .....	219
Figura 190. Paso B1 – Módulo Didáctico 2 .....	220
Figura 191. Paso B2 – Módulo Didáctico 2 .....	221

Figura 192. Paso B3 – Módulo Didáctico 2.....	222
Figura 193. Zona de Separado .....	222
Figura 194. Paso B4 – Módulo Didáctico 2.....	223
Figura 195. Paso B5 – Módulo Didáctico 2.....	224
Figura 196. Paso B6 – Módulo Didáctico 2.....	225
Figura 197. Final del proceso de tapado botellas .....	225
Figura 198. Posición inicial – Secuencia entre Módulos .....	226
Figura 199. Paso C1 – Brazo Electromecánico .....	227
Figura 200. Paso C2 – Brazo Electromecánico .....	228
Figura 201. Sujeción de la Botella .....	228
Figura 202. Paso C3 – Brazo Electromecánico .....	229
Figura 203. Posicionamiento del Envase en el módulo 2 .....	229
Figura 204. Conexión de las señales de comunicación .....	230
Figura 205. Alineación en el disco rotatorio .....	231

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el rediseño y automatización de dos módulos didácticos para la dosificación de sólidos y el tapado de botellas plásticas, basados cada uno en un trabajo previo realizado como tesis de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2013. El proyecto incluye el acople de un brazo electromecánico ubicado en el segundo módulo, el cual podrá interactuar con el primero de tal manera que se realice un proceso completo. La finalidad de rediseñar estas estaciones didácticas es la de incorporar al laboratorio de automatización equipos para el aprendizaje debido a que este tipo de estaciones didácticas tienen un elevado costo en el mercado. Además se logrará programar las secuencias de funcionamiento con cualquier tipo de controlador que trabaje con voltajes de 5 [Vdc] o 24 [Vdc]. Contará con un modo de funcionamiento automático programado en Arduino al que se denominará “DEMO”, el cual servirá de apoyo en las prácticas de laboratorio debido a que indica el funcionamiento total de cada uno de sus componentes realizando una operación en conjunto. Cada uno de los módulos contará con una estructura de soporte móvil en la cual se tendrán acoplados todos los circuitos de acondicionamiento y control. Estos módulos didácticos contienen varios componentes mecánicos, neumáticos y eléctricos los cuales permiten la simulación de procesos relacionados al sector industrial unificándolos y automatizándolos de tal manera que los estudiantes puedan aplicar la mayoría de los conocimientos tanto prácticos como teóricos adquiridos a lo largo de la carrera.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **MÓDULOS DIDÁCTICOS**
- **REDISEÑO**
- **DOSIFICACIÓN**
- **TAPADO**
- **AUTOMATIZACIÓN**

## **ABSTRACT**

This project involves the redesign and automation of two didactic modules for the dosage of solids and covered of plastic bottles, each one based on a previous work as a thesis at the “Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE” in 2013. The project includes an electromechanical arm located in the second module, which can interact with the first giving a complete process. The principal purpose of the redesign of these educational stations is to incorporate the automation laboratory, equipment for learning because this kind of educational stations are expensive on the market. The didactic modules can be programmed with any type of driver to work with 5 [Vdc] or 24 [Vdc]. Also each station will have an automatic operating mode programmed Arduino that will be called "DEMO", which will provide support in the labs because it indicates the overall performance of each component and how it work together. Each of the modules will have a movable support structure where all control circuits and the signal conditioning are installed. These didactic modules contain various mechanical, pneumatic and electric components which allow the simulation of processes related to industry unifying and automating them so that students can apply most of practical and theoretical knowledge acquired during their studies.

### **KEY WORDS:**

- **DIDACTIC MODULES**
- **RE – DESIGN**
- **DOSAGE**
- **COVERED**
- **AUTOMATION**

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado consiste en rediseñar y automatizar dos módulos didácticos, uno de dosificación de sólidos y otro para el tapado de botellas plásticas, para lo cual se tomarán dos plantas que en la actualidad no se encuentran en funcionamiento y que están elaboradas para envases de diferentes tamaños. En el módulo de dosificación de sólidos se tendrá que reacoplar el sensor fotoeléctrico, el pistón de cerrado de la tolva y la tolva para que de esta manera el proceso funcione con el mismo tipo de envase en los dos módulos.

Se fabricará una estructura móvil para cada uno de los módulos que servirá de soporte y que contendrá todos los elementos que influyen en el funcionamiento de cada módulo entre ellos están el compresor, la fuente de poder y todos los circuitos involucrados con cada uno de los elementos electrónicos. Cada estructura contará con un tablero de mando en el cual se encontrarán los botones de control, las luces de aviso y las pantallas LCD correspondientes a cada módulo.

Se fabricará también un brazo electromecánico para la secuencialidad entre los dos módulos, con el cual se manipulará el envase previamente llenado hacia el proceso de tapado. Este brazo será completamente diseñado e implementado debido a que se determinó que es la manera más óptima de adaptar la secuencialidad entre los dos módulos. Estará instalado en la estructura del segundo módulo.

Dentro de los circuitos electrónicos que conforman cada módulo, se tendrá un sistema de control centralizado en cada uno de ellos con el fin de poder controlar a los diferentes actuadores y sensores pertenecientes a cada

estación de trabajo ya sea mediante señales de 24 [Vdc] provenientes de un PLC, o mediante señales de 5 [Vdc] provenientes de un microcontrolador.

Se tendrá de igual manera un manual de usuario en el cual se detallará el funcionamiento y la programación de cada módulo por individual y la manera de enlazar ambos procesos mediante el uso del brazo electromecánico.

## **1.2. ANTECEDENTES**

Los procesos industriales tienen como finalidad transformar distintas materias primas en un producto final con determinadas especificaciones aprovechando de manera eficaz cada uno de los recursos naturales y materiales que intervienen en su fabricación. En la actualidad, la industria se ha visto beneficiada por el incremento tecnológico que se ha venido dando en esta área. La automatización de procesos ha sido posible gracias a la cantidad y calidad de instrumentos, controladores, motores y software nuevos fabricados específicamente para su implementación en esta área.

Los procesos industriales también poseen una gran importancia dentro de la economía actual de nuestro país debido a que dan un valor agregado a la producción local, generan empleo y mayor estabilidad a miles de familias ecuatorianas e inciden en otros factores benéficos dentro de la sociedad. Es por esta razón, por la cual nuestro país se encuentra cambiando la matriz productiva con el fin de mejorar todos los procesos intervinientes en la fabricación de distintos productos y repotenciar varias áreas donde el Ecuador puede sacar provecho de sus recursos naturales.

Para que todo este conocimiento lo pueda adquirir el estudiante de ingeniería mecatrónica, la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE está interesada en adquirir certificaciones internacionales como la SMSCP (Siemens Mechatronic Systems Certification Program) de Siemens que consiste en construir módulos de trabajo especializados en el área de control y automatización de procesos, los cuales deben estar compuestos por ciertos elementos mecánicos, eléctricos, neumáticos, y de control (PLC's o

microcontroladores) y que posean una fácil adaptación de secuencias entre varios módulos, dando al estudiante una facilidad de aprendizaje en esta área.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Dentro de los procesos industriales, la automatización se ha convertido en una necesidad fundamental debido a que aporta con grandes beneficios a dicho sector, entre los que se puede mencionar el incremento en la producción, eficiencia en el uso de los recursos, reducción de costos y tiempos de procesos, seguridad y confiabilidad en la fabricación de un producto y la generación de distintas plazas de empleo para expertos y personal capacitado.

Por todas estas razones, nuestro país tiene la necesidad de formar profesionales aptos para desenvolverse en las distintas áreas relacionadas con la automatización de procesos. Se requiere modificar la matriz productiva del país partiendo desde la educación que reciben todos los futuros profesionales que se desenvolverán en el sector industrial. Para esto, es necesario proveer a los alumnos de las carreras tales como ingeniería mecánica, industrial y mecatrónica, de un mayor conocimiento sobre todos los aspectos para la automatización de los procesos tradicionales.

Se requiere de docentes especializados, de espacios apropiados y de laboratorios equipados con materiales y equipos modernos que permitan involucrar al estudiante con el aprendizaje de procesos de aplicación industrial reales. La realización de prácticas en los laboratorios de automatización tiene una gran relevancia en el aprendizaje del estudiante debido a que le permite desarrollar habilidades y destrezas al momento de automatizar procesos en base ideas creativas con sustento mecánico y de control electrónico. La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, con la finalidad de mantenerse como gestora del conocimiento y tecnología y de formar profesionales aptos para su desenvolvimiento en el área industrial busca obtener certificaciones internacionales en el área del aprendizaje de automatización y control de procesos.

Dentro de estos requerimientos institucionales, se pretende obtener la certificación SMSCP (Siemens Mechatronic Systems Certification Program) de Siemens enfocada a la rama de ingeniería mecatrónica. Para esto, se deberán rediseñar y automatizar dos módulos existentes en los laboratorios de Automatización Industrial Mecatrónica a fin de que ambos puedan trabajar individualmente controlados por un PLC (Controlador Lógico Programable) e interactuar entre si fácilmente mediante el uso de un brazo electromecánico encargado de transportar el producto de salida de un módulo a la entrada del siguiente módulo.

Se deberá adecuar dichos módulos del laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica para poder cumplir con ciertos parámetros mecánicos, eléctricos, neumáticos y de control establecidos por los requerimientos de la certificación SMSCP de Siemens.

#### **1.4. ÁREA DE INFLUENCIA**

El presente proyecto tendrá una influencia directa en el aprendizaje sobre la automatización y control de procesos dentro de los laboratorios de Automatización Industrial Mecatrónica. Su área de influencia se encontrará representada por los estudiantes de ingeniería mecatrónica de 8vo Nivel de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Incidirá en el aprendizaje del estudiante debido a que serán dos módulos funcionales los cuales podrán trabajarse tanto de manera individual como de manera conjunta.

#### **1.5. ALCANCE DEL PROYECTO**

##### **1.5.1. Alcance Mecánico**

El alcance mecánico de los módulos presentan los siguientes aspectos:

Se elaborará una estructura metálica capaz de soportar cada uno de los módulos por individual en donde se encontrarán todos los elementos que

influyen en su funcionamiento, pudiendo ser estos componentes mecánicos, electrónicos, eléctricos y de control.

Se construirá un brazo electromecánico, el mismo que contará con un gripper (pinza) para la sujeción del envase. Se realizará una base acoplada al brazo electromecánico para que este pueda estar fijo en la estructura del segundo módulo.

Se rediseñarán y redimensionarán algunos componentes que forman parte de las estructuras principales de aluminio ya fabricadas, cambiando así, algunos elementos que presentan fallas en los apoyos, en las bandas transportadoras, en el sistema de dosificación y del tapado.

#### 1.5.2. Alcance Electrónico

En cuanto al alcance electrónico se podrán apreciar los siguientes aspectos. Se incorporarán diversos sensores en el módulo de dosificación de sólidos con el fin de clasificar a las botellas en función del nivel de llenado.

El sistema contará con elementos de protección eléctrica con el fin de proteger los elementos que influyen en el funcionamiento de cada módulo tales como: el compresor, las fuentes de poder, el PLC, el microcontrolador y todos los circuitos involucrados con cada uno de los elementos electrónicos. Se recablearán cada uno de los módulos, así como también se sustituirán los elementos que se encuentren en mal estado tales como sensores capacitivos, sensores infrarrojos y microswitchs.

Cada estructura contará con un tablero de mando en el cual se encontrarán los botones de control, luces de aviso y pantallas LCD correspondientes a cada módulo. Para realizar los movimientos de brazo electromecánico se utilizarán un motor a pasos y dos servomotores, todos ellos dimensionados acorde a su función respectiva.

#### 1.5.3. Alcance del Sistema de Control

En cuanto al alcance del sistema de control, las estaciones de trabajo presentarán los siguientes aspectos. Los módulos estarán acoplados para poder trabajar a dos tipos de voltajes; a 5 [Vdc] ó 24 [Vdc] pudiendo ser

controlados de igual manera por controladores de diferente índole que manejen estos niveles de voltaje.

Además se utilizará una plataforma Arduino para facilitar el control de posición de los motores del brazo electromecánico, debido a que este mecanismo dispondrá de dos posiciones fijas y no se necesita tener un mayor control sobre las velocidades de cada motor. Se pretende programar a la plataforma Arduino de tal manera que el brazo pueda funcionar independientemente y cumpla una secuencia predefinida en función a una sola entrada en su controlador.

Se utilizarán además, plataformas Arduino para realizar un control automático el cual se denominará “modo demo”. Este control tendrá la secuencia completa de cada módulo por separado para realizar las demostraciones del funcionamiento de cada sensor y actuador que se encuentre en las estaciones de trabajo.

## **1.6. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.6.1. Objetivo General**

Rediseñar y Automatizar dos módulos didácticos para la dosificación de sólidos y tapado de botellas en el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar una estructura metálica tipo industrial que sirva de soporte para cada uno de los módulos didácticos con su respectivo panel de control.
- Rediseñar varios elementos mecánicos que producen fallas en los distintos sistemas que componen los módulos.
- Acoplar un brazo electromecánico capaz de transportar a las botellas plásticas desde el punto final del proceso del módulo didáctico 1 hacia el punto inicial del proceso en el módulo didáctico 2.

- Elaborar un sistema de control centralizado en cada uno de los módulos de tal manera que; sus actuadores y sensores estén acondicionados para trabajar con señales de 24 [Vdc] provenientes de cualquier tipo de PLC, así como también con señales de 5 [Vdc] provenientes de cualquier tipo de microcontrolador, permitiendo además tener un control de secuencia en el brazo electromecánico mediante la programación de una plataforma Arduino.
- Incorporar y programar dentro del sistema de control, una plataforma Arduino en cada módulo capaz de permitir su funcionamiento automático (Modo Demo).

## **CAPÍTULO 2**

### **2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se puntualizarán varios aspectos teóricos necesarios para comprender las actividades que se realizarán en este proyecto de investigación. Partimos de una necesidad en el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica la cual es la implementación de dos módulos interactivos entre sí que posean un conjunto de elementos mecánicos, electrónicos y neumáticos capaces de generar un proceso industrial a pequeña escala.

El proceso que se recreará con estos módulos será el de dosificación de sólidos y tapado de botellas plásticas. Para lo cual se necesitaran un conjunto de actuadores eléctricos encargados de transportar los envases a lo largo del proceso. Entre estos tipos de actuadores eléctricos están los motores DC como por ejemplo servomotores, motoredutores y motores a pasos.

También se requerirá de un conjunto de actuadores para la clasificación y ajuste del envase en las diferentes etapas del proceso. Los elementos que se utilizarán para esta actividad serán varios tipos de cilindros neumáticos, dispositivos capaces de proveer de una fuerza axial lo suficientemente alta para el empuje y ajuste de los envases.

Completando el ciclo del proceso, se necesitarán un conjunto de sensores capaces de detectar posición, nivel, color y presencia de varios elementos que influirán directamente en la línea del proceso, como por ejemplo el sólido a dosificar, el tipo de envase o el color de las tapas.

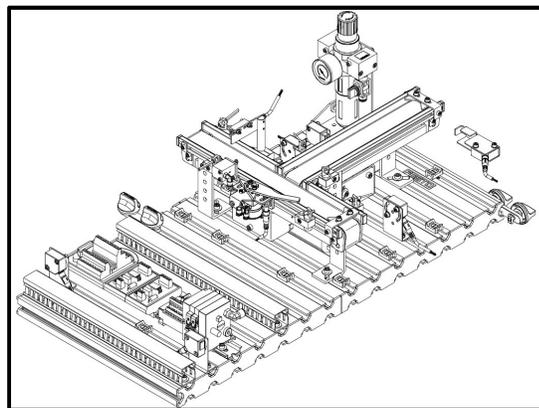
Para dar paso al desarrollo del diseño de todos estos parámetros que influirán en el proceso, es necesario conceptualizar y dar a entender los modos de funcionamiento de los componentes electrónicos y mecánicos. Se tendrá como referencia varios textos sobre neumática, electrónica y diseño de elementos mecánicos tales como: Motores de corriente DC de Vitoria, J. R.,

Diseño de Elementos de Máquinas de Mott, R., Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Tecnología y circuitos de aplicación de neumática, hidráulica y electricidad de Roldán, J., y Automática e Instrumentación de Mercader, F.

### 2.1.1. Estaciones Didácticas

Dentro de la ingeniería mecatrónica, la práctica que se desarrolla en los laboratorios por parte de los estudiantes resulta de gran importancia para su aprendizaje debido a que en la rama de la ingeniería como tal, se requiere tener amplios conocimientos técnicos y aptitudes elementales para el adecuado manejo de los diferentes dispositivos electrónicos de control, sensores, actuadores mecánicos, neumáticos y eléctricos. De esta necesidad nacen las estaciones didácticas que servirán de soporte en el aprendizaje de los diversos conceptos técnicos que deberá de poseer el estudiante.

Una estación didáctica, conocida también como Workstation (estación de trabajo), es un conjunto de dispositivos electrónicos, mecánicos y neumáticos (entre los cuales podemos encontrar varios tipos de actuadores, sensores, microcontroladores, elementos de medición, mecanismos transformadores de movimiento, mecanismos de soporte e interfaces de usuario), todos ellos capaces de interactuar entre sí y generar un determinado proceso industrial a pequeña escala, con el fin de proporcionar al estudiante, el conocimiento necesario de cada una de sus partes así como del respectivo funcionamiento.



**Figura 1. Estación didáctica de Separado y Clasificación de Sólidos**

**Fuente: (FESTO Didactic GmbH & Co KG, 2006)**

### 2.1.2. Sistemas Modulares

En la industria, llevar a cabo la transformación de distintas materias primas hacia un producto final conlleva realizar una serie de procesos los cuales deben trabajar de manera conjunta y eficaz. La producción en línea de un determinado producto por lo general se basa en procesos específicos que interactúan entre sí en un orden lógico debiéndose optimizar todos los tiempos de duración entre cada uno de ellos. En el aprendizaje técnico de los procesos industriales es de gran importancia comprender la manera en la que estos procesos se relacionan entre sí permitiendo de esta manera, la transformación de la materia prima en un producto deseado.

Cada uno de estos procesos posee una entrada de materia prima, la cual se traslada a través de la línea de producción experimentando diversas modificaciones para que, al llegar al final, se logre conseguir un producto con las especificaciones esperadas. Para que dos o más procesos se puedan relacionar, se deben poseer mecanismos de traslado de material desde punto final de un proceso hacia el punto inicial del proceso subsiguiente, dando lugar a que el producto final del primero, pase a ser la materia prima del segundo.

Un sistema modular es una estación de trabajo, flexible y capaz de realizar un determinado proceso industrial de manera independiente, y que además, posee la capacidad de realizar un proceso compuesto (conjunto de procesos), interactuando con otras estaciones como se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 2. Sistema de Producción Modular**

**Fuente: (Dolang, 2015)**

En la figura 2, se puede visualizar un sistema de producción modular compuesto por 5 estaciones; estación de distribución, estación de pruebas, estación de procesamiento, estación de manipulación y estación de almacenamiento. *“Cada módulo se encuentra instalado en una mesa industrial, capaz de acoplarse con distintas mesas de trabajo. Poseen además un circuito electrónico de control independiente, así como distintos actuadores, sensores industriales, y elementos de medición”* (Dolang, 2015)

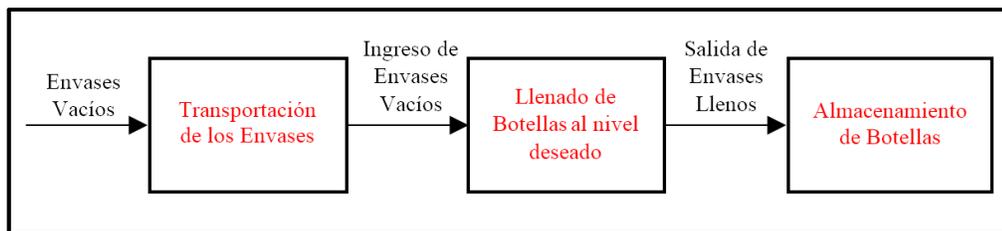
### 2.1.3. Sistemas de Dosificación

Dentro de los diversos procesos industriales, uno muy común tiene que ver con el llenado de botellas. Este es un proceso en el que se controla por lo general, el nivel de llenado de un determinado envase. El nivel de llenado depende del tipo de producto a dosificar y del volumen y forma del envase. Existen varios métodos para la dosificación de sólidos, por lo general la mayoría de dosificadores hacen uso de una tolva, en la cual se encuentra almacenado el producto a dosificar, y que por medio de la gravedad este atraviesa el embudo hacia la parte inferior por donde sale a través de un orificio, en cantidades determinadas durante un período de tiempo.

Este período de tiempo depende de la cantidad total de sólido que se requiera para llenar la botella y mediante un sensor (comúnmente capacitivo, infrarrojo o ultrasónico), se procura detectar el nivel deseado del producto en cada envase.

Una vez que el nivel de llenado es el deseado, un accionamiento mecánico tapa la superficie inferior de la tolva impidiendo la salida de más producto. La diferencia entre un método de dosificación de sólidos y otro depende del tipo de sólido que se vaya a dosificar. De aquí se deberá elegir el tipo de tolva y el accionamiento mecánico a utilizar.

Sin embargo, un sistema de dosificación va más allá del llenado de botellas, se requieren pasos previos y posteriores al llenado de botellas para cumplir con el ciclo completo del proceso, en la figura 3 se puede apreciar cómo se compone un sistema de control de dosificación.



**Figura 3. Sistema de Dosificación**

Un sistema de dosificación debe estar compuesto de un mecanismo encargado de la transportación de los envases vacíos hacia el punto en donde se dará paso al llenado de botellas hasta el nivel deseado. Una vez que las botellas estén llenas hasta dicho nivel, se procede a transportarlas a una zona de almacenamiento, en donde tendrá lugar la partida de los envases hacia un próximo proceso.

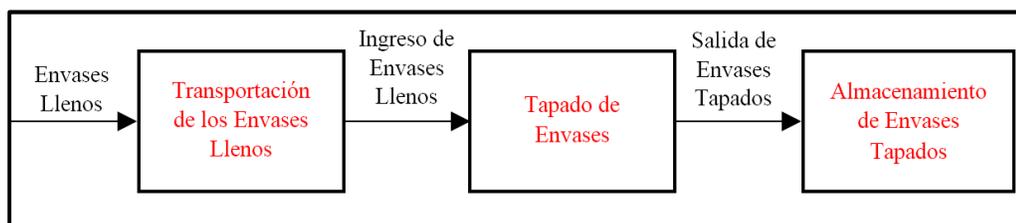
#### 2.1.4. Sistemas de Tapado de Botellas

El tapado de botellas es uno de los procesos subsiguientes al de dosificación de sólidos. Por lo general, existen previamente al tapado de botellas, otros tipos de procesos tales como el de control de calidad y el de sellado, sin embargo esto depende del método de fabricación que se esté llevando a cabo en la línea de producción.

Existen diferentes métodos para llevar a cabo el tapado de envases y esto depende del tipo de tapa que se desee unir al envase, ya sea un ajuste por presión, o de tipo rosca. De aquí se analizan que clase de actuadores podrían funcionar y que mecanismos y sistemas neumáticos, hidráulicos y eléctricos efectuarían la presión necesaria en cada uno de los movimientos lineales y rotacionales que se necesiten realizar para conseguir el tapado adecuado de las botellas.

El proceso de tapado al igual que el de dosificación de sólidos, requiere de pasos previos y posteriores al mismo, se necesitan mecanismos de traslado de los envases, hacia el mecanismo encargado de tapar cada uno de los envases. Posteriormente se necesita despachar cada uno de los envases hacia un nuevo proceso. Estos dos procesos (Dosificación de Sólidos y

Tapado de Botellas) son necesarios en la elaboración de cualquier producto que contenga un envase. A continuación se muestran las fases por las que atraviesa un envase en un proceso de tapado:



**Figura 4. Sistema de Tapado de Botellas**

#### 2.1.5. Transportación entre módulos

El transporte de material entre los diversos procesos que conforman una línea de producción resulta de gran importancia dentro de la industria, permite la continuidad del mismo. Para el transporte de material entre las distintas estaciones de trabajo, se utilizan por lo general dos tipos de mecanismos.

##### 2.1.5.1. *Bandas transportadoras*

Una banda transportadora (conocidas también como transportadora de cinta) es un sistema de transporte continuo de material a través de una línea de producción, formado por una cinta continua que se traslada generalmente entre dos tambores en sus extremos.

Generalmente, la banda es transportada mediante la fricción de sus tambores los cuales a su vez son accionados mediante un motor eléctrico (Figura 5). Dicha fricción es el resultado de la aplicación de tensión en la banda transportadora que por lo general, posee un mecanismo tensor por husillo o tornillo tensado en uno de sus extremos sujeto a la estructura base que soportará el peso de todo el mecanismo.

La banda se traslada a través de dos o más rodillos que la soportan ubicados entre los dos tambores de giro denominados rodillos de soporte. Gracias a este movimiento, el material colocado en la banda es transportado hacia uno de los tambores de accionamiento en donde la banda gira y da

vuelta en sentido contrario. Al llegar a este punto, el material finalmente es enviado hacia fuera de la banda pasando al siguiente proceso.



**Figura 5. Cinta transportadora**

**Fuente: (COMATRANS, 2015)**

#### 2.1.5.2. Brazos robóticos

Un brazo robótico (manipulador) es una clase de brazo mecánico programable, con varias funciones y características físicas de construcción parecidas a las de un brazo humano; esto puede tener su similitud en la suma total del mecanismo como también puede ser parte de un robot mucho más complejo. Los componentes de un brazo robótico están interconectados a través de articulaciones que permiten, tanto un movimiento rotacional como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal. A continuación se visualiza un brazo industrial utilizado para el transporte de materia prima que en este caso, serian cajas, en una línea de producción.



**Figura 6. Brazo Mecánico Industrial para el Traslado de Cajas**

**Fuente: (ALVEY ROBOTIC, 2013)**

## 2.2. COMPONENTES MECÁNICOS

Los componentes mecánicos dentro de un sistema modular son parte esencial en la construcción y conformación de las estructuras físicas de cada uno de ellos. Permiten que cada estación de trabajo cobre vida, tomen una forma deseada en función de cada uno de sus componentes y la materia prima logre ser transportada desde el punto inicial del módulo, a través de cada una de las etapas que conforman el proceso, hasta llegar al punto final, donde posteriormente es despachada hacia la próxima estación. Cada componente mecánico cumple una función dentro del sistema, ya sea en mantener fija a la estructura o el generar movimientos lineales y rotacionales dependiendo del actuador.

### 2.2.1. Cilindros Neumáticos

Los cilindros neumáticos son actuadores lineales que nos permiten transformar energía neumática en trabajo mecánico generando un movimiento rectilíneo de avance o de retroceso, trabajan con aire comprimido el cual se les es suministrado mediante un compresor.

Generalmente son piezas metálicas en su totalidad, conformadas de un tubo circular sellado en sus extremos en el cual se desplaza un émbolo que separa dos cámaras por donde circulan aire comprimido. El émbolo está unido a un vástago el cual se desplaza de adentro hacia fuera del pistón, generando una fuerza lineal debido a la presión del fluido en la cara del embolo.



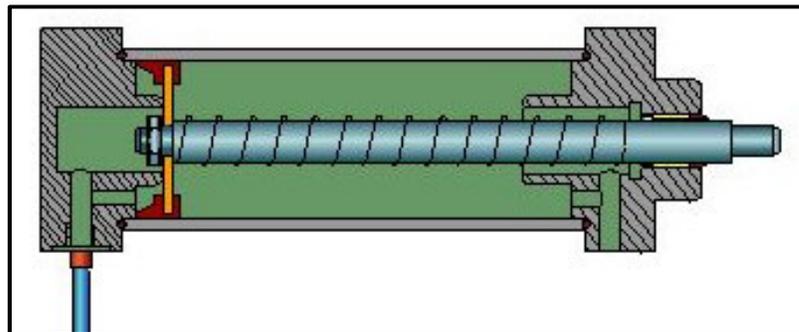
**Figura 7. Cilindro Neumático**

**Fuente: (SATUROS, 2010)**

Son dispositivos utilizados ampliamente en el campo de la automatización de procesos industriales para el desplazamiento, alimentación y elevación de materiales o elementos que conforman las mismas máquinas.

#### 2.2.1.1. Cilindros Neumáticos de Simple Efecto

Los cilindros de simple efecto o de acción simple utilizan la fuerza adquirida por la presión del aire comprimido hacia el émbolo para moverse en una sola dirección (por lo general hacia afuera) y un resorte o muelle que le permite regresar a su posición inicial una vez que deje de haber presión en el émbolo. Sus usos son limitados debido a que solamente pueden realizar un trabajo mecánico en el desplazamiento producido por la acción del aire comprimido en su émbolo, el regreso hacia su posición inicial se lo hace mediante una fuerza externa o un resorte. En la figura 8 se puede apreciar la composición interna de un cilindro de simple efecto con retorno muelle:



**Figura 8. Cilindro Neumático de Simple Efecto**

**Fuente: (Educarex Neumática, 2012)**

#### 2.2.1.2. Cilindros Neumáticos de Doble Efecto

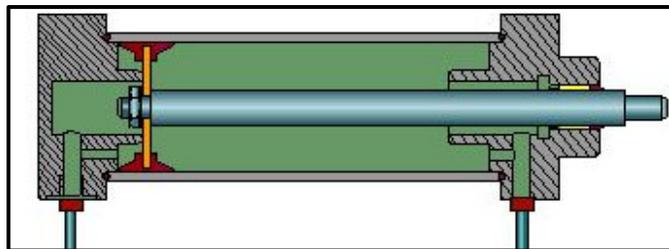
Los cilindros de doble efecto se diferencian de los simples debido a que estos pueden realizar el trabajo mecánico en las dos direcciones, tanto en el avance como en el retroceso del vástago debido a que se le aplica presión en las dos caras del émbolo.

Posee dos vías de alimentación y dos tomas de aire para cada cámara dentro del pistón. Funcionan con o sin amortiguación y la elección de cualquier tipo de estos depende del tipo de desplazamiento de carga que se necesite

realizar. Poseen varias ventajas en relación a los cilindros de simple efecto, entre los cuales tenemos los siguientes:

- Es capaz de aprovechar toda la longitud del vástago al momento de avanzar o retroceder.
- No existe ningún tipo de disminución de fuerza en la compresión del retorno muelle.
- Trabaja eficientemente en ambos sentidos, no presenta dificultad en su avance o retroceso.

En la figura 9 se aprecia la composición interna de un cilindro de doble efecto, la manera en la el aire llenaría sus cavidades en base a la entrada que tome:



**Figura 9. Cilindro Neumático de Doble Efecto**

**Fuente: (Educarex Neumática, 2012)**

### 2.2.2. Electroválvulas

Las electroválvulas son dispositivos que permiten controlar mediante señales eléctricas hacia una bobina solenoide, el paso de aire comprimido hacia las cámaras internas de los cilindros neumáticos. Generalmente cada una de sus solenoides posee dos posiciones, abierta o cerrada.

Existen varios tipos de electroválvulas basadas en su comportamiento eléctrico:

- En donde la bobina solenoide actúa de una manera directa sobre la válvula permitiendo distribuir la energía necesaria para el movimiento, ya sea de avance o de retroceso.

- En donde hace conmutar únicamente la entrada entre dos salidas utilizando una bomba de circulación.
- En donde la bobina solenoide no controla a la válvula directamente, sino que tiene el control sobre una válvula piloto la cual se encarga de accionar la válvula principal que permite el control del actuador.

#### 2.2.2.1. *Electroválvulas de 3/2 vías*

Una electroválvula 3/2 nos indica que posee 3 posiciones y 2 vías por las cuales conduce el aire comprimido hacia el actuador. Son monoestables, esto quiere decir que no tienen memoria, por lo cual, al momento que reciben un impulso eléctrico en la única bobina solenoide que poseen (como se muestra en la figura 10), esta cambia de posición hasta el momento en el cual finaliza el pulso y dentro de la electroválvula permite un retorno automático por medio de un resorte hacia su posición inicial. El impulso eléctrico que requiere varía dependiendo del tipo de bobina solenoide que posea cada electroválvula, por lo general los valores comerciales suelen ser de 110 [v] ó 24 [v].



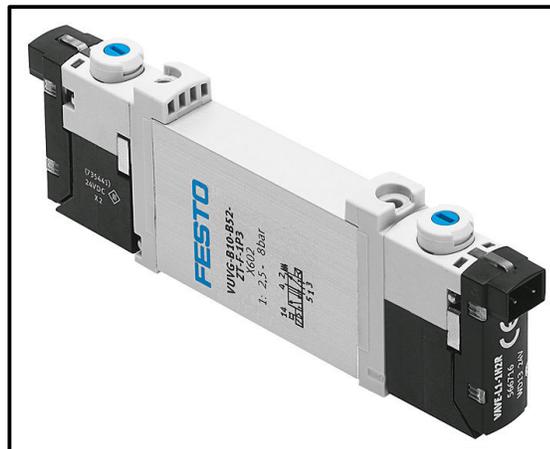
**Figura 10. Electroválvula 3/2 vías**

**Fuente: (FESTO, 2015)**

#### 2.2.2.2. *Electroválvulas de 5/2 vías*

Una electroválvula 5/2 nos indica que posee 5 posiciones y 2 vías por las cuales conduce el aire. Son biestables, esto quiere decir que la electroválvula tiene memoria y cuando recibe un impulso eléctrico en una de sus solenoides,

esta mantiene esa posición hasta recibir un impulso en la otra bobina solenoide. El impulso eléctrico que requiere varía dependiendo del tipo de bobina solenoide que posea cada electroválvula, por lo general los valores comerciales suelen ser de 110 [v] ó 24 [v]. Los solenoides se ubican por lo general, en los extremos de cada lado de la electroválvula, tal cual como se aprecia en la siguiente figura:



**Figura 11. Electroválvula 5/2 vías**

**Fuente: (FESTO, 2015)**

### 2.2.3. Tornillo sin Fin

Dentro de la ingeniería mecánica y mecatrónica, un tornillo sin fin es un elemento indispensable en la transmisión de velocidades y torques debido a que este nos permite transmitir movimientos entre ejes que se encuentran perpendiculares entre sí. Por lo general se encarga de transformar los movimientos rotacionales de un motor a movimientos prismáticos. Cuenta con un carrete que se desplaza a través de las hélices del tornillo sin fin el cual gira rotacionalmente debido a la conexión directa con un engrane ubicado en el eje de un motor que se encuentra perpendicular al tornillo. De esta manera se transmite el movimiento entre ejes perpendiculares y se tiene la transformación de movimiento rotacional a movimiento lineal.

La velocidad de giro del eje dependerá del número de entradas con las que cuente el tornillo sin fin y del número de dientes con el que se conecta el

engrane a las hélices del tornillo. La expresión por la que se rige este mecanismo es la siguiente:

$$n_1 \times e_1 = n_2 \times z_2 \quad (\text{Ecu. 2.1})$$

Donde:

$n_1$ : es la velocidad en número de vueltas del tornillo sin fin

$e_1$ : es el número de entradas del tornillo sin fin (por lo general 1)

$n_2$ : es la velocidad en número de vueltas del engrane.

$z_2$ : es el módulo de transmisión del engrane.



**Figura 12. Tornillo sin Fin**

**Fuente: (GRABCAD, 2015)**

#### 2.2.4. Brazo Mecánico

Un brazo mecánico es un tipo de mecanismo capaz de funcionar de forma similar al de un brazo humano, ya sea para el transporte de materiales, como para la realización de múltiples actividades y operaciones humanas como por ejemplo el taladrado de estructuras, soldadura de piezas, ensamblaje de partes, excavación de zonas, entre otros.

Cuenta con una o más articulaciones y con dos o más grados de libertad que le permiten desplazarse en múltiples direcciones y distancias, las cuales

determinar su radio de trabajo. El tipo de movimiento en cada uno de sus grados de libertad dependerá de la aplicación a la cual se vea obligado a trabajar el mecanismo, ya sea que necesiten movimientos rotacionales o prismáticos. Comúnmente, los brazos mecánicos cuentan con un elemento terminal en el extremo de su mecanismo conocido como herramienta y es la que se encarga de efectuar el trabajo en cuestión. Entre estas herramientas contamos con varios tipos de grippers (pinzas), sistemas de taladrado, sistemas de soldadura, entre otros varios mecanismos.

Sus movimientos se generan a través de motores eléctricos, motores neumáticos, pistones neumáticos o hidráulicos (figura 13), y pueden ser controlados eléctricamente, electrónicamente o mecánicamente a través de secuencias, de aquí nacen múltiples tipos de brazos mecánicos.



**Figura 13. Brazo hidráulico RB600 XD**

**Fuente: (ATLAS COPCO, 2014)**

#### *2.2.4.1. Mecanismo*

Se conoce como mecanismo a un conjunto de elementos mecánicos, sólidos y lo suficientemente resistentes a través de los cuales se transforma o transmite diferentes tipos de movimientos y energía, realizando un trabajo en conjunto. Uno de los elementos principales en cualquier mecanismo es el engrane, que se encarga de transmitir energía y movimiento de distintas maneras. Se los considera también como un conjunto de sólidos rígidos enlazados en los cuales es de vital importancia comprender su relación,

momentos de inercia, centros de gravedad, velocidades angulares y esfuerzos a los que se verán sometidos.

#### 2.2.4.2. Grados de Libertad

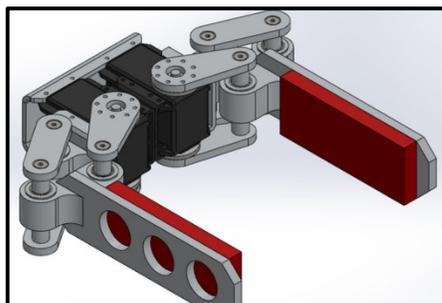
*“Los grados de libertad son la cantidad de parámetros independientes que determinan la posición del elemento terminal del brazo robótico, el número de grados de libertad por lo general coincide con el número de eslabones de la cadena cinemática”.* (Ollero, 2001).

El número de grados de libertad en un sistema físico dependerá del mínimo número de variables que sean necesarias especificar para determinar por completo el estado del sistema.

#### 2.2.5. Efecto final de un Brazo Mecánico

En la robótica industrial, un efecto final es el componente ubicado al extremo del brazo mecánico, encargado de interactuar directamente con el proceso. Se encarga de manipular los objetos y herramientas que efectuaran el trabajo. Por lo general, suelen ser mecanismos similares a los dos principales dedos y de mayor interacción en la mano del ser humano (pulgar e índice), tal cual como una pinza (gripper) accionados neumáticamente, hidráulicamente, electro - neumáticamente o electrónicamente.

Uno de los efectores finales más utilizados para agarrar y transportar objetos se los suele denominar pinzas (grippers). Se destaca su utilidad y eficacia en agarres mecánicos de mayor soporte con respecto a otro tipo de efecto (ventosas, ganchos, pinzas magnéticas, adhesivas, entre otros).



**Figura 14. Gripper, mecanismo de 4 barras**

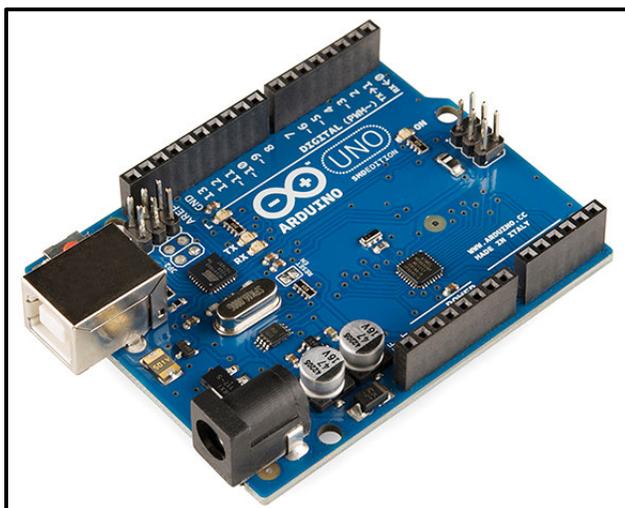
**Fuente: (GRABCAD, 2014)**

## 2.3. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

### 2.3.1. Placa Arduino

Arduino es una comunidad abierta de hardware y software, basada en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Es un dispositivo que puede detectar y controlar el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital.

Estos sistemas proporcionan un conjunto de E / S analógicas y digitales, pines que se puede conectar a varias tarjetas de expansión y otros circuitos. Las placas cuentan con interfaces de comunicación serial, incluyendo USB en algunos modelos. Para la programación de los micro controladores, la plataforma Arduino UNO (figura 15) proporciona un entorno de desarrollo integrado basado en el procesamiento del proyecto básicos, que incluye soporte para C, C ++ y Java como lenguajes de programación.



**Figura 15. Arduino Uno**

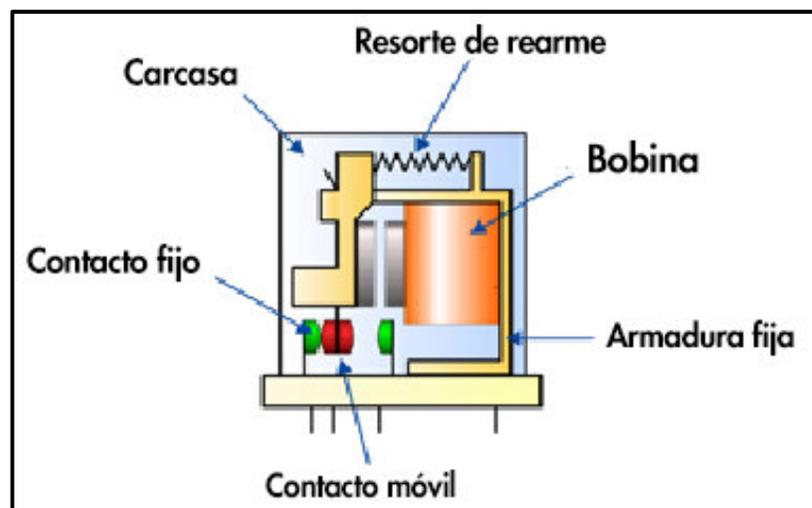
**Fuente: (Arduino, 2015)**

### 2.3.2. Relé

Un relé es un dispositivo electromagnético capaz de controlar una señal de salida de mayor potencia que la de entrada, su función a la misma vez es actuar como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por

medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Además el dispositivo posee la siguiente disposición de elementos como se muestra en la figura 16, que le permite controlar las cargas eléctricas más allá de su capacidad de transmisión directa. Hay muchas consideraciones que intervienen en la selección correcta de un relé de control para una aplicación particular. Estas consideraciones incluyen factores tales como la velocidad de operación, la sensibilidad, montaje, tensión nominal, tensión de la bobina, la histéresis entre otros.

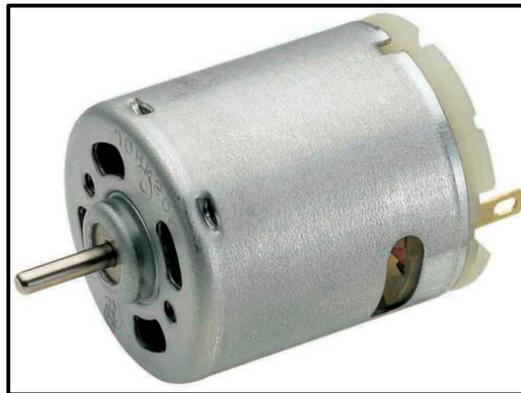


**Figura 16. Estructura Relé**

**Fuente: (DS Relay, 2014)**

### 2.3.3. Motor eléctrico

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma en energía mecánica la energía eléctrica (figura 17), por medio de campos magnéticos generados en sus bobinas. Son utilizados comúnmente en diversos sectores tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. Los motores eléctricos pueden ser impulsados por fuentes de corriente continua (DC), y por fuentes de corriente alterna (AC).



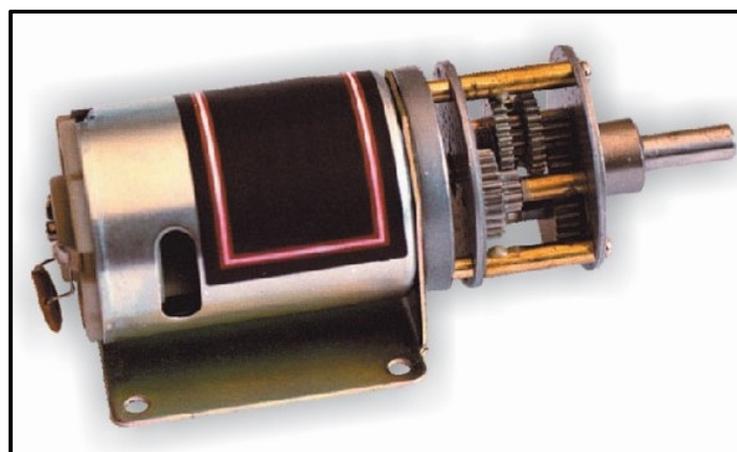
**Figura 17. Motor Eléctrico**

**Fuente: (ELEKTRON ,2014)**

#### 2.3.4. Motor reductor

Son utilizados cuando se necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica, térmica, rendimientos mecánicos entre otros.

Esta adaptación se realiza con uno o varios pares de engranajes como se muestra en la figura 18, que adaptan la velocidad y la potencia mecánica montados en un cuerpo denominado reductor de velocidad.



**Figura 18. Motor reductor acoplamiento caja de engranes**

**Fuente: (Electan, 2015)**

### 2.3.5. Motor DC

El motor de corriente continua es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en mecánica, mediante un movimiento rotatorio. Se compone principalmente de dos partes. El estator da soporte mecánico, pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro y el rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa. Además tienen un par de arranque elevado y se puede regular continuamente la velocidad del eje el motor que utilizaremos se muestra en la figura 19.



**Figura 19. Motor DC**

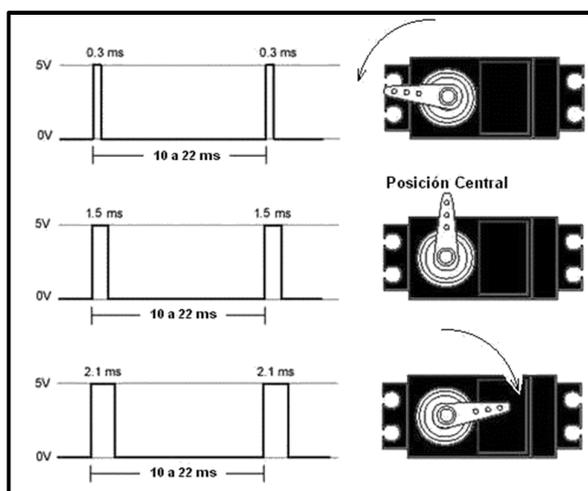
**Fuente: (Electan, 2015)**

### 2.3.6. Servomotor

Un servomotor o servo es un actuador de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Los servomotores están constituidos por el motor, una caja reductora y una tarjeta de control.

La cantidad de voltaje aplicado al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. A esto se le llama control proporcional.

El servomotor hace uso de la modulación por ancho de pulsos (PWM) para controlar la dirección o posición como se muestra en la figura 20. La mayoría trabaja en la frecuencia de los cincuenta Hertz, así las señales PWM tendrán un periodo de veinte milisegundos. La electrónica dentro del servomotor responderá al ancho de la señal modulada. Si los circuitos dentro del servomotor reciben una señal de entre 0,5 a 1,4 milisegundos, éste se moverá en sentido horario; entre 1,6 a 2 milisegundos moverá el servomotor en sentido anti horario; 1,5 milisegundos representa un estado neutro para los servomotores estándares. (Viloria, 2014)



**Figura 20. Funcionamiento de movimiento en un servomotor**

**Fuente: (Pololu, 2015)**

### 2.3.7. Motor a pasos

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que posee una gran precisión, convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores a pasos tienen una aplicación muy amplia en el desarrollo de mecanismos de alta precisión por el hecho de poderlos mover desde un paso hasta una secuencia interminable de pasos, este caso puede ir desde pequeños movimientos de  $1.8^\circ$  hasta de  $90^\circ$ . Además este tipo de motores

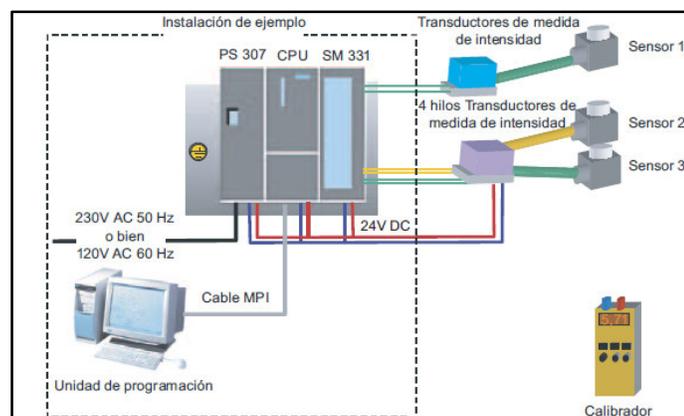
tienen la posibilidad de quedar enclavados en una oposición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y quedara completamente libres si no existe corriente alguna circulando por ninguna de sus bobinas.



**Figura 21. Composición de un motor a pasos**  
**Fuente: (TWENGA, 2014)**

### 2.3.8. Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable, como su nombre lo indica es un controlador electrónico para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje. El PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura, inmunidad al ruido y resistencia al impacto, en la figura 22 podemos observar un tipo de instalación de un PLC S7-300 con sus respectivos sensores y unidad de programación. Alberga un programa el cual se ejecuta de forma secuencial utilizando diversos lenguajes de programación



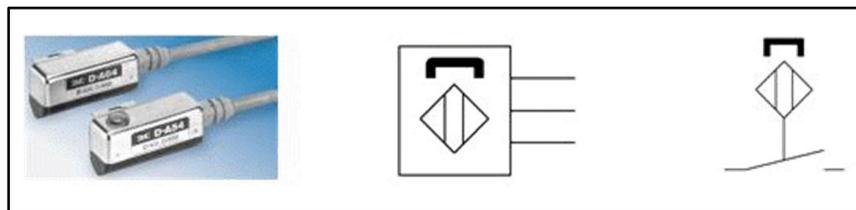
**Figura 22. Instalación de componentes en un PLC S7-300**  
**Fuente: (Siemens, 2015)**

## 2.4. SENSORES

### 2.4.1. Sensor Magnético

Son sensores de proximidad con la posibilidad de detectar los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. Consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito accionando el proceso de conmutación.

Puede sustituir a los finales de carrera para detectar la posición de un elemento móvil, con la ventaja de que no necesita ser empujado físicamente por dicho elemento sino que puede detectar la proximidad sin contacto directo ya que pueden atravesar con facilidad muchos materiales no magnéticos. Esto es muy útil cuando interesa evitar el contacto físico.



**Figura 23. Sensor magnético y su simbología**

**Fuente: (MESCORZA, 2015)**

### 2.4.2. Sensor Fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos son dispositivos electrónicos que responden al cambio en intensidad de luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera luz, y un componente receptor que percibe la luz generada del emisor, en aplicaciones industriales se utiliza el sensor de la figura 24.

Los sensores se usan para detectar el cambio de la cantidad de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida.



**Figura 24. Sensor Fotoeléctrico**

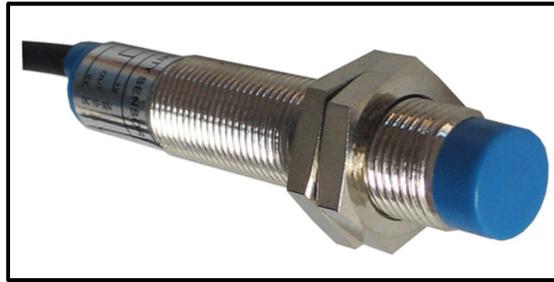
**Fuente: (SICK Electronic, 2015)**

#### 2.4.3. Sensor Capacitivo

Los sensores capacitivos utilizan un campo eléctrico, para polarizar el material que les acerca el cual provoca que las cargas se muevan dentro del material dieléctrico.

La ventaja de estos sensores es la reacción que presentan ante metales y no metales por proximidad a la superficie. Sus usos pueden variar entre identificar, contar, controlar niveles de carga ya sea solido o líquido. Existen gran variedad de sensores capacitivos de varios diámetros, unos de los cuales se puede apreciar en la figura 25 y entre los más utilizados tenemos los siguientes:

- Los sensores capacitivos de nivel los cuales varía el valor de la capacitancia cuando un objeto ingresa al campo eléctrico que existe entre las placas del sensor.
- Los sensores capacitivos de posición los cuales utilizan un condensador variable, y una de las placas es móvil de esta manera se puede manipular la superficie logrando variar el valor de la capacitancia.



**Figura 25. Sensor Capacitivo**

**Fuente: (Festo, 2015)**

#### 2.4.4. Sensor de Contacto o Final de Carrera

El final de carrera o sensor de contacto son dispositivos electromecánicos que constan de un accionador unido a una serie de contactos, cuando un objeto entra en contacto con el accionador, el dispositivo activa los contactos para establecer o interrumpir una conexión eléctrica.

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, aunque existe una gran variedad de sensores de contacto lo más comunes son lo que se muestra en la figura 26.



**Figura 26. Final de Carrera**

**Fuente: (CETRONIC, 2013)**

#### 2.4.5. Sensor Infrarrojo

El sensor infrarrojo (figura 27) es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos que se encuentren dentro de su campo visual, este tipo de sensores son de corto alcance y

necesitan estar dentro de un ambiente controlado para su óptimo funcionamiento ya que existen factores como la luz directa del sol, lluvia, polvo que pueden afectar la transmisión. Los sensores infrarrojos están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos.



**Figura 27. Sensor Infrarrojo**

**Fuente: (OLIMEX, 2014)**

#### 2.4.6. Sensor de Color

Son sensores con la capacidad de distinguir colores a partir de la extracción de información de las ondas con longitudes de onda entre 380nm a 780nm, rango que viene determinado el espectro visual humano de tal forma que la medida objetiva de los colores recae en la distribución espectral del color que expresa la energía de la luz que tiene cada longitud de onda, mediante la colocación de varios leds como se muestra en la figura 28.

A diferencia de otros sensores este cuenta con salida de pulsos por lo que está adaptado un módulo que convierte la salida en diferentes niveles de voltajes (análogo) lo que hace más simple el acondicionamiento de la señal al controlador.



**Figura 28. Sensor de Color**

**Fuente: (TAOS, 2015)**

## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

#### 3.1. DIRECTRICES PREVIAS PARA EL DISEÑO

El proceso industrial que se desarrollará en el presente proyecto constará de dos módulos didácticos independientes, los cuales podrán interactuar entre sí o trabajar individualmente.

Algunas pautas previas a tener en cuenta para el desarrollo del diseño este proyecto serán las siguientes:

- Cada módulo contará con una estructura metálica, sólida y resistente en la cual se asentarán las estructuras de aluminio con sus respectivos actuadores y sensores.
- Contarán con un sistema de control independiente, acondicionado para que el sistema pueda trabajar con microcontroladores a 5[v] (Arduino, PICs, AVRs, entre otros) como también con PLCs de tipo industrial a 24[v] (Siemens S7-200, S7-1500 S7-300, Xinje, logo, entre otros).
- Contarán con un controlador propio en un modo de funcionamiento del sistema denominado Demo (Modo de demostración), en el cual se podrá mostrar todas las capacidades de funcionamiento del sistema, individualmente o en conjunto.
- Cada estación contará con los sensores necesarios para la detección y medición de los parámetros pertinentes (conteo de pulsos, medición de nivel, de presencia, de posición, de color, entre otros).
- El sistema entrelazado de los dos módulos funcionará mediante un brazo electromecánico el cual se encargará de transportar la materia final de la estación 1 hacia la estación 2.
- Finalmente cada estación contará con un panel interactivo donde se encontrará una pantalla LCD encargada de indicar ciertos parámetros

de control dentro del sistema. Contará también con 4 botones y una luz indicadora con el fin de controlar principalmente el inicio del proceso (Start) y el paro de emergencia (Stop).

### **3.2. DISEÑO MECÁNICO**

Dentro del diseño mecánico de los módulos didácticos, es fundamental realizar un análisis estático de las estructuras principales ya instaladas con el fin de poder rediseñar varios elementos que están provocando fallas en el proceso, así como también es necesario realizar un análisis de esfuerzos en las estructuras de soporte con el objetivo de verificar si el peso total que llevarán está dentro del rango admisible.

En cuanto al brazo, es importante realizar una síntesis dinámica y un análisis estático del conjunto de piezas que lo compondrán con el fin de proporcionar las medidas adecuadas para los eslabones que lo compondrán, el tipo de materiales que se ocuparán y los motores que serán los encargados de generar los movimientos.

#### **SELECCIÓN DEL ENVASE**

Uno de los aspectos importantes a considerar para el rediseño de las estructuras principales y del brazo electromecánico es el tipo de envase que se va a utilizar como elemento de prueba dentro de cada uno de los procesos, debido a que se debe tomar en cuenta varias características físicas de los mismos con el objetivo de dimensionar adecuadamente la estructuras y los mecanismos que compondrán los sistemas de cada módulo.

El envase a utilizar dentro del proceso estará fabricado en polímero PET (tereftalato de polietileno) mientras que su tapa estará fabricada en plástico común PE (polietileno). Cabe recalcar que la botella que formará parte de cada etapa del proceso es de uso común.

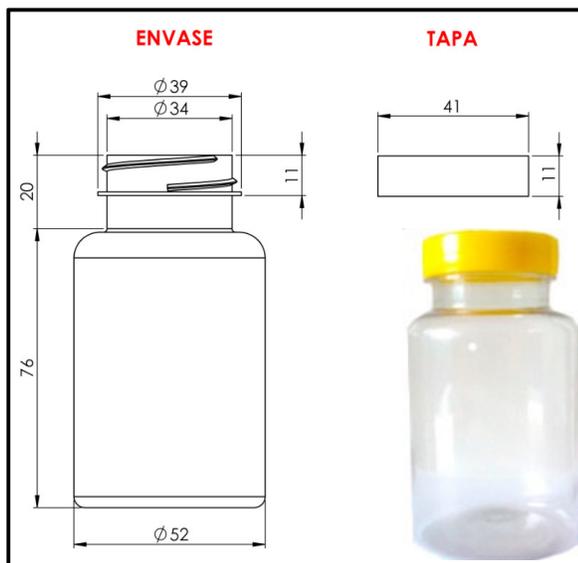
El sólido a dosificar en cada botella será “Azúcar”, aunque también se podrá trabajar con otros tipos de sólidos de similares tamaños como por ejemplo la gelatina, la cebada, la chía, entre otros. Para este tamaño de sólido,

se seleccionó una botella que posea las dimensiones adecuadas para trabajar en las dos estaciones. Las características principales de los envases serán las siguientes:

**Tabla 1.**

**Características Físicas del Envase**

Especificaciones Generales	
Envase	
<b>Altura total:</b>	96.0 mm
<b>Diámetro máximo:</b>	52.0 mm
<b>Masa:</b>	22 gr
Tapa	
<b>Altura total:</b>	11.5 mm
<b>Diámetro máximo:</b>	41.0 mm
<b>Masa:</b>	3.5 gr



**Figura 29. Botella Plástica a Utilizar**

**3.2.1. Diseño de las Estructuras Principales.**

El material seleccionado para la construcción de las estructuras fue el aluminio 6061 debido a que este es un material muy utilizado en el área industrial alimenticia y en múltiples estaciones didácticas fabricadas por FESTO.

Entre sus características más importantes están su gran resistencia mecánica, su baja densidad y por ende, su bajo peso en las mismas dimensiones al compararlo con un acero, y sobre todo por su gran resistencia a la corrosión. A continuación se muestran algunas de sus propiedades físicas y mecánicas más significativas:

**Tabla 2.**

**Propiedades Mecánicas del Aluminio 6061**

Propiedades Mecánicas	
<b>Densidad:</b>	2700 $Kg/m^3$
<b>Módulo elástico:</b>	69.00 $GPa$
<b>Límite de Fluencia:</b>	55.15 $MPa$
<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.33

Fuente: (Sumiteccr, 2015)

Dentro del análisis de esfuerzos que se realizarán a los diferentes sistemas y estructuras que componen los módulos, es necesario fijarse un factor de seguridad común entre cada uno de los elementos que se dimensionarán. Para esto se usará la siguiente tabla en donde encontraremos algunos criterios sobre que factor de seguridad es el más adecuado para ocupar dependiendo el caso.

**Tabla 3.**

**Factor de seguridad en función de las Condiciones de Trabajo.**

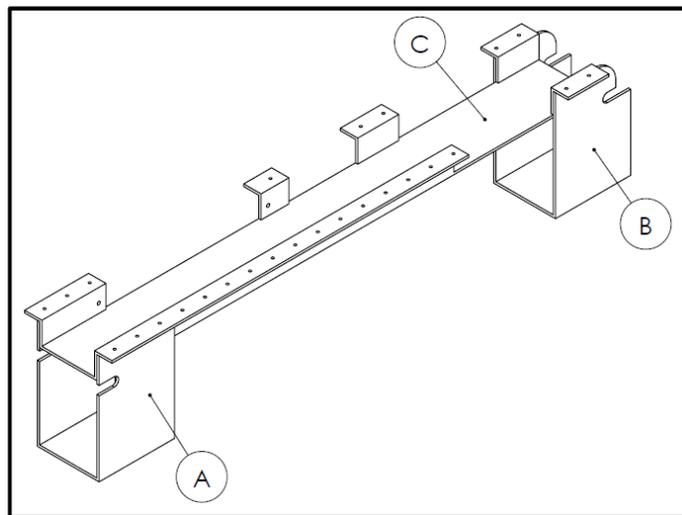
Factor de seguridad	Condiciones de Trabajo
<b>1.3 a 2.0</b>	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, con algún grado de confianza en todos los datos del diseño.
<b>2.0 a 2.5</b>	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con una confianza promedio en los datos del diseño.
<b>2.5 a 4.0</b>	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas.
<b>+4.0</b>	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre a combinación de cargas.

Fuente: (Diseño de elementos de Máquinas, Mott, 4ta ed., 2006, p. 185)

Se tomará como factor de seguridad 2, debido a que las estructuras estarán bajo cargas estáticas con un grado considerable de confianza en los datos que se irán obteniendo a lo largo del diseño.

### 3.2.1.1. Estructura Principal para el Módulo Didáctico 1

La estructura principal está formada por un conjunto de tres elementos que servirán de soporte para todos los sistemas y mecanismos que conformaran el módulo, así como también a los envases plásticos llenos que se transportarán a lo largo del proceso, por lo tanto es de gran importancia el análisis estático que se haga de estos soportes. Se calcularán esfuerzos admisibles en los elementos más críticos de manera que se pueda estimar un peso máximo el cual podrá soportar la estructura. A continuación se especifican los tres elementos que componen a la estructura principal:



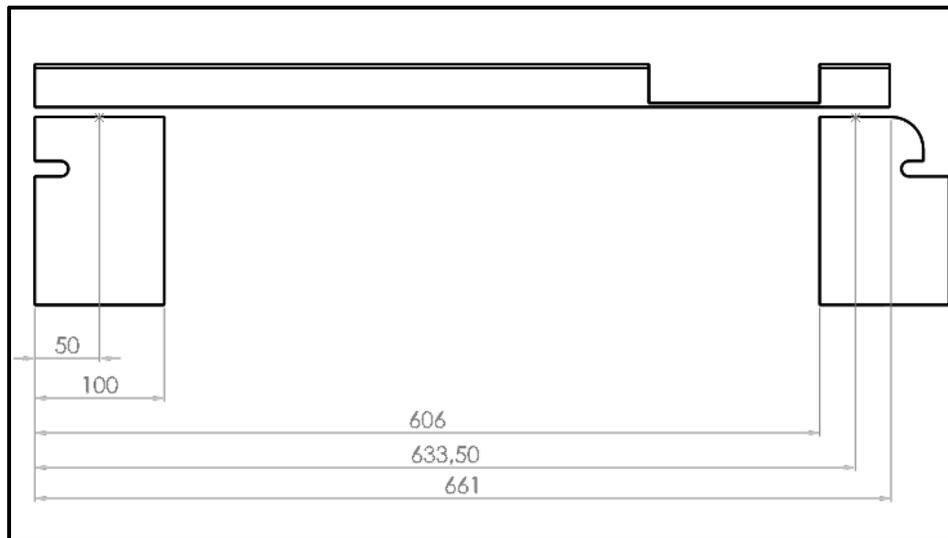
**Figura 30. Elementos de la estructura de soporte módulo 1**

En donde:

*A: Soporte A; elemento de apoyo encargado de soportar el peso de la carga en el extremo izquierdo del módulo.*

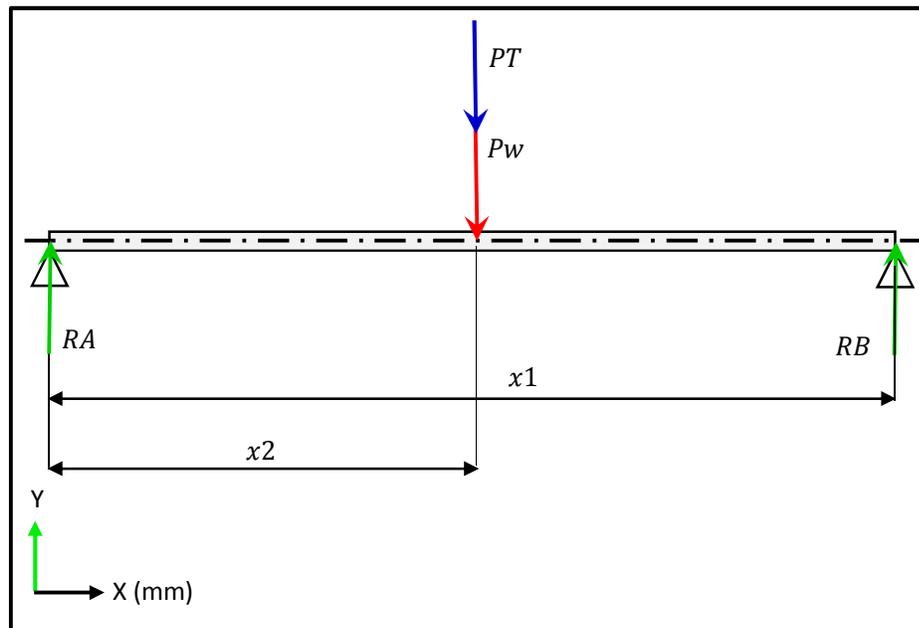
*B: Soporte B; elemento de apoyo encargado de soportar el peso de la carga en el extremo derecho del módulo.*

*C: Perfil de soporte; componente en el cual se encontrará la banda y varios de los sensores acoplados en el módulo.*



**Figura 31. Dimensiones (en mm) de la estructura de soporte módulo 1**

Para el análisis estático de la estructura, se realiza el siguiente diagrama de cuerpo libre:



**Figura 32. Diagrama de cuerpo libre de la estructura**

En donde:

$$x1 = 584 \text{ mm}$$

$$x2 = 292 \text{ mm}$$

$PT =$  Peso total que soportará la estructura

$Pw =$  Peso de la estructura de soporte

Para determinar el  $Pw$  necesitamos hallar la masa del perfil de soporte, para lo cual utilizamos software CAD, en el que definimos el material a utilizar en este caso aluminio 6061 y nos indica el siguiente valor:

Masa = 711.83 gramos
Volumen = 263639.74 milímetros cúbicos
Área de superficie = 182786.36 milímetros cuadrados

**Figura 33. Propiedades físicas del perfil de soporte**

$$m = 0.712 \text{ Kg}$$

Se calcula el peso en [N]:

$$Pw = 0.712 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Pw = 6.98 \text{ N}$$

Con la fuerza que ejerce la estructura se realiza el cálculo de las reacciones en los apoyos que en este caso son  $RA$  y  $RB$ .

$$\sum Fy = 0$$

$$PT + Pw - RA - RB = 0 \quad (\text{Ecu. 3.1})$$

$$PT + 6.98 \text{ N} - RA - RB = 0$$

$$\sum Ma = 0 \quad (+)$$

$$-Pw \times X2 - PT \times X2 + RB \times X1 = 0 \quad (\text{Ecu. 3.2})$$

$$-6.98 \text{ N} \times 292 \text{ mm} - PT \times 292 \text{ mm} + RB \times 584 \text{ mm} = 0$$

$$RB = \frac{6.98 \text{ N} \times 292 \text{ mm} + PT \times 292 \text{ mm}}{584 \text{ mm}}$$

$$RB = \frac{6.98 \text{ N} + PT}{2}$$

Reemplazamos  $RB$  en la ecuación 3.1:

$$PT + 6.98N - RA - \frac{6.98 N + PT}{2} = 0$$

$$RA = PT + 6.98N - \frac{6.98 N + PT}{2}$$

$$RA = \frac{2 * PT + 2 * 6.98N - 6.98 N - PT}{2}$$

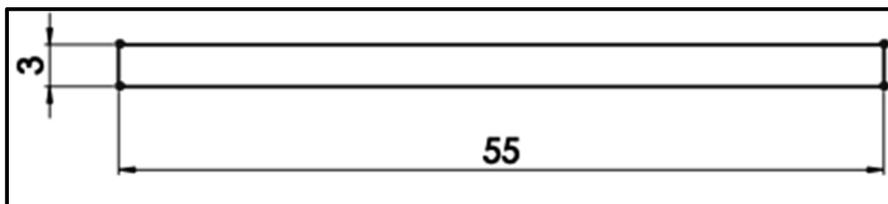
$$RA = \frac{6.98 N + PT}{2}$$

Una vez analizadas las reacciones procedemos a usar las ecuaciones de esfuerzo normal máximo y de esfuerzo admisible.

$$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecu. 3.4})$$

En donde la fuerza en el esfuerzo normal máximo es igual a las reacciones generadas en los apoyos. Los soportes tendrán un área específica en las cuales se aplicara las fuerzas, por lo tanto, el soporte de menor área será el que falle primero al aplicar una carga elevada. Las medidas del área en contacto serán como se muestra en la figura 34:



**Figura 34. Área soporte B**

$$A = b \times h \quad (\text{Ecu. 3.5})$$

En Donde:

$b = 3 \text{ mm}$ ; es el espesor del soporte

$h = 55 \text{ mm}$ ; es el largo del soporte

Calculamos de esta manera el área en los dos contactos que posee el soporte B; que vendría siendo el de menor área de apoyo:

$$A = 2 \times (3 \text{ mm} \times 55 \text{ mm})$$

$$A = 330 \text{ mm}^2$$

Si determinamos que  $\sigma_{m\acute{a}x} \leq \sigma_{adm}$  y el área de aplicación está definida, procedemos a igualar las ecuaciones 3.3 y 3.4 teniendo en cuenta que el material utilizado es Aluminio 6061 y el factor de seguridad es igual a 2.

$$S_y = 55.15 \text{ MPa} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right); \text{ límite de fluencia del aluminio.}$$

Se igualan el esfuerzo admisible con el esfuerzo máximo:

$$\frac{F}{A} = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{6.98 \text{ N} + PT}{2} = \frac{55.15 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 330 \text{ mm}^2}{2}$$

$$PT = 18150 \text{ N} - 6.98 \text{ N}$$

$$PT = 18143 \text{ N}$$

Con este peso podemos encontrar cual sería la carga distribuida máxima que soportaría la estructura. Teniendo en cuenta que su longitud total es de 661 mm:

$$Capacidad_{m\acute{a}x.} = \frac{18143 \text{ N}}{66.1 \text{ cm}}$$

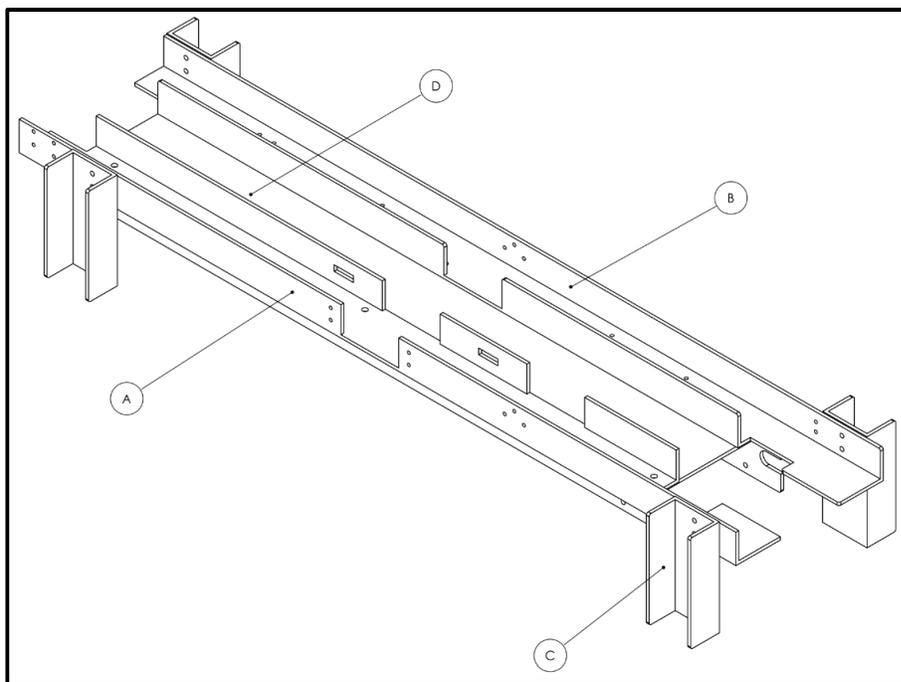
$$Capacidad_{m\acute{a}x.} = \frac{1851 \text{ Kgf}}{66.1 \text{ cm}}$$

$$Capacidad_{m\acute{a}x.} = 28 \text{ Kgf/cm}$$

Los resultados nos indican que la estructura principal del módulo 1 puede soportar una carga distribuida máxima de 28 Kgf/cm, por lo cual no va a estar exigida en ningún punto debido a que los elementos que estarán acoplados a la misma tienen pesos muy bajos en relación a la capacidad de carga.

### 3.2.1.2. Estructura Principal para el Módulo Didáctico 2

La estructura principal del módulo 2 se encuentra formada por un conjunto de cuatro elementos que servirán de soporte para cada uno de los sistemas y mecanismos que conformaran el módulo, así como también a los envases plásticos llenos que se transportarán a lo largo del proceso, por lo tanto es de gran importancia el análisis estático que se haga de estos soportes. Se calcularán esfuerzos admisibles en los elementos más críticos de manera que se pueda estimar un peso máximo el cual podrá soportar la estructura. En la siguiente figura se observa el diseño de la estructura principal:



**Figura 35. Vista Isométrica de la Estructura Principal del Módulo 2**

En donde:

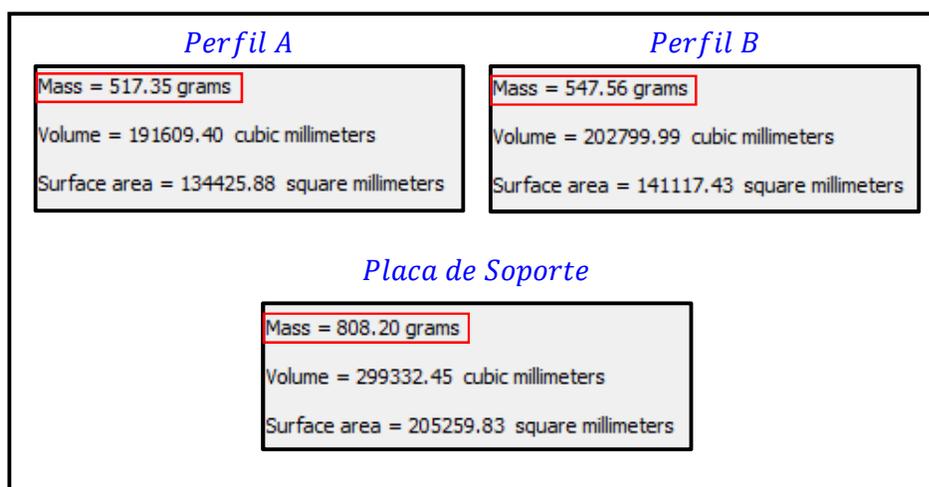
*A: Perfil A; elemento de apoyo encargado de soportar la mitad del peso de la carga a lo largo de la estructura.*

*B: Perfil B; elemento de apoyo encargado de soportar la mitad del peso de la carga a lo largo de la estructura.*

*C: Apoyos (o soportes); son cuatro apoyos en los cuales se sujeta cada uno de los perfiles, sirven de base para los mismo y se agarran mediante tornillos.*

*D: Placa de soporte; es la bandeja en la cual se apoyará la banda y por lo tanto, la superficie en donde se desplazarán las botellas.*

Para realizar el análisis estático de la estructura, es necesario tener en cuenta los pesos de cada elemento que influye en las cargas aplicadas en los apoyos, por lo que, mediante la ayuda del software CAD se halla la masa de los elementos A, B y D.



**Figura 36. Propiedades físicas de los elementos de la Estructura**

Se calculan los pesos de cada elemento en [N]:

$$P_{PERFIL\_A} = 0.51735 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \quad P_{PERFIL\_B} = 0.54756 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

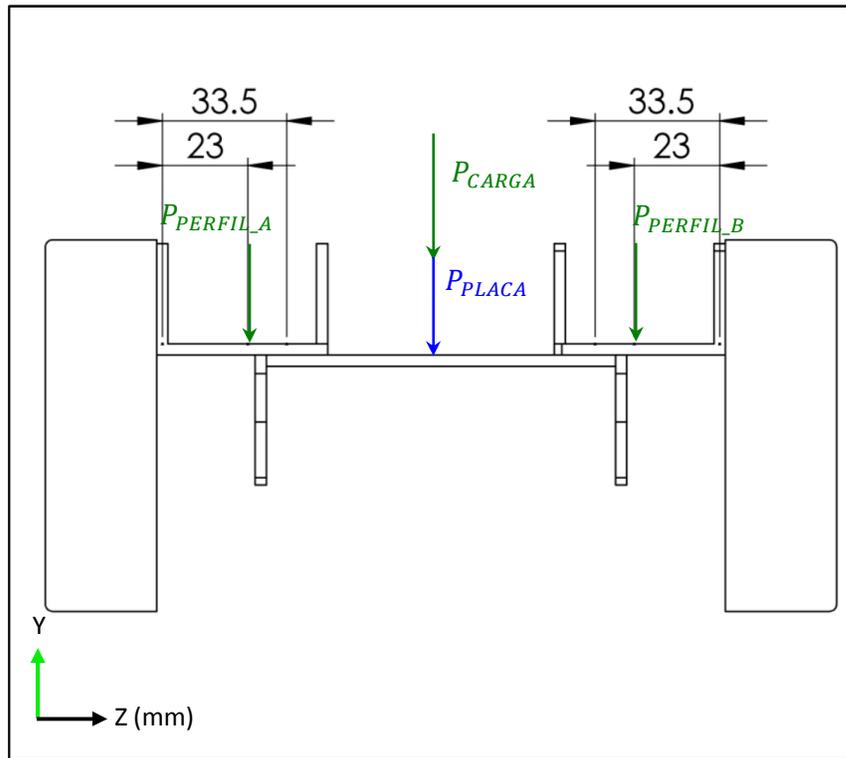
$$P_{PERFIL\_A} = 5.0752 \text{ N} \quad P_{PERFIL\_B} = 5.3716 \text{ N}$$

$$P_{PLACA} = 0.80820 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{PLACA} = 7.9284 \text{ N}$$

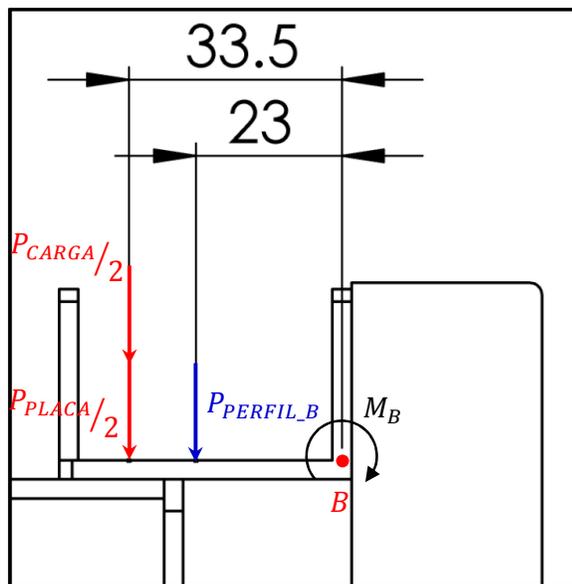
El análisis estático de esta estructura se lo desarrolla de la misma manera que en el módulo 1, se analizarán los esfuerzos admisibles soportados por los elementos de la estructura y se calculará la carga máxima que logrará sostener la estructura como tal.

Para esto es importante analizar las cargas en el plano YZ mediante el siguiente diagrama de cuerpo libre:



**Figura 37. Distribución de Fuerzas en el plano Y-Z**

Debido a que el peso del Perfil B es ligeramente mayor al peso de A, se analizarán los esfuerzos generados en el Perfil B considerando que se encuentra en voladizo:



**Figura 38. Distribución de Fuerzas en el perfil B**

En donde tenemos:

$$\sum MB = 0 \quad (+)$$

$$M_B - P_{PERFIL\_B}(23 \text{ mm}) - \left( \frac{P_{PLACA}}{2} + \frac{P_{CARGA}}{2} \right) (33.5 \text{ mm}) = 0 \quad (\text{Ecu. 3.6})$$

$$M_B = 5.3716 \text{ N}(23 \text{ mm}) + \left( 7.9284 \text{ N}/2 + \frac{P_{CARGA}}{2} \right) (33.5 \text{ mm})$$

$$M_B = 123.547 \text{ Nmm} + 132.81 \text{ Nmm} + 16.75 P_{CARGA}$$

$$M_B = 256.357 \text{ Nmm} + (16.75 \text{ mm}) P_{CARGA}$$

Hallamos el esfuerzo admisible para el material utilizado. El factor de seguridad que usaremos será de 2, el material del perfil es aluminio 6061 por lo que su límite a la fluencia igual a:

$$S_y = 55.15 \text{ MPa} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

El esfuerzo admisible se lo calcula utilizando la ecuación 3.3:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{55.15 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 27.575 \text{ MPa}$$

Ahora hallamos el esfuerzo normal máximo aplicado en el perfil B por el momento flector:

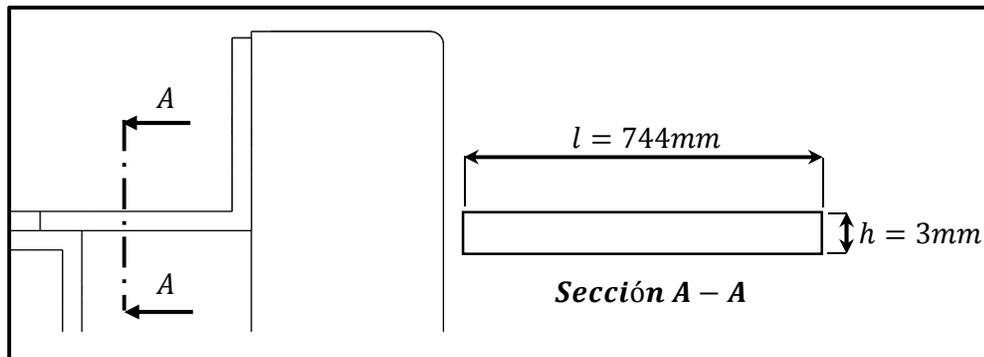
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_B \times c_B}{I_B} \quad (\text{Ecu. 3.7})$$

En donde:

$M_B =$  Momento en B

$c_B =$  distancia a la mitad de la placa base del perfil

$I_B =$  Inercia de la sección transversal



**Figura 39. Sección transversal del Perfil B**

La distancia a la mitad de la placa base del perfil la cual posee un espesor de 3mm es:

$$c_B = \frac{h}{2} = \frac{3 \text{ mm}}{2} = 1.5 \text{ mm}$$

La Inercia de la sección transversal rectangular es:

$$I_B = \frac{1}{12} \times l \times h^3 = \frac{1}{12} \times 744 \times 3^3 = 1674 \text{ mm}^4$$

Se encuentra el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{(256.357 \text{ Nmm} + (16.75 \text{ mm}) P_{\text{CARGA}}) \times 1.5 \text{ mm}}{1674 \text{ mm}^4}$$

Para hallar la carga máxima que soportaría el perfil, se igualan el esfuerzo máximo con el esfuerzo admisible del perfil en función de su material:

$$\sigma_{\text{adm}} = \sigma_{\text{máx}} \quad (\text{Ecu. 3.8})$$

$$27.575 \text{ MPa} = \frac{(256.357 \text{ Nmm} + (16.75 \text{ mm}) P_{\text{CARGA}}) \times 1.5 \text{ mm}}{1674 \text{ mm}^4}$$

$$27.575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \frac{256.357 \text{ Nmm} \times 1.5 \text{ mm}}{1674 \text{ mm}^4} + \frac{(16.75 \text{ mm}) P_{\text{CARGA}} \times 1.5 \text{ mm}}{1674 \text{ mm}^4}$$

$$27.575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0.22971 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 0.01501 \frac{P_{\text{CARGA}}}{\text{mm}^2}$$

$$27.575 \text{ N} - 0.22971 \text{ N} = 0.01501 P_{\text{CARGA}}$$

$$P_{CARGA} = \frac{27.575 \text{ N} - 0.22971 \text{ N}}{0.01501}$$

$$P_{CARGA} = 1821.93 \text{ N}$$

La carga máxima que soportaría la estructura sería de 1821.93 N, la longitud total de la estructura de soporte es de 744mm por lo que se podría concluir en que:

$$P_{CARGA \text{ MÁX.}} = \frac{1821.93 \text{ N}}{74.4 \text{ cm}}$$

$$P_{CARGA \text{ MÁX.}} = \frac{185.72 \text{ Kgf}}{74.4 \text{ cm}}$$

$$P_{CARGA \text{ MÁX.}} = 2.5 \text{ Kgf/cm}$$

El sistema sería capaz de abarcar hasta 2.5 Kg por cada centímetro de longitud. Ahora el siguiente análisis de esfuerzos se lo realiza en sus apoyos, los cuales están sujetos a cada perfil mediante tornillos.

#### PERFILES A y B

Se analizan las cargas existentes en el perfil A para encontrar de esta manera, sus reacciones en los apoyos:

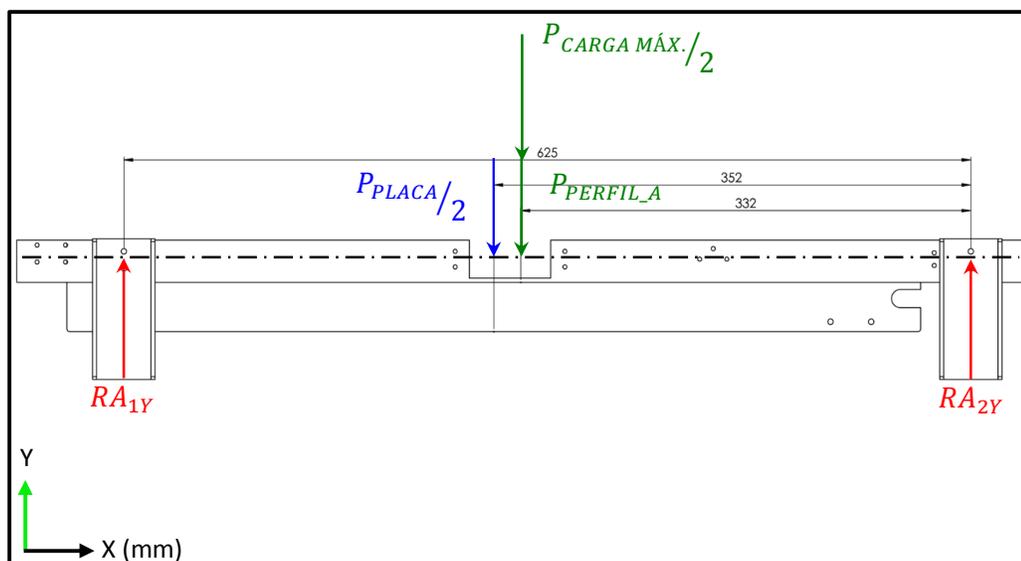


Figura 40. Distribución de Fuerzas en el plano X-Y

$$\sum MA_2 = 0$$

$$R_{A1Y}(625 \text{ mm}) - \frac{P_{PLACA}}{2}(352 \text{ mm}) - \frac{P_{CARGA M\acute{A}X.}}{2}(332 \text{ mm}) - P_{PERFIL\_A}(332 \text{ mm}) = 0$$

$$R_{A1Y}(625 \text{ mm}) = \frac{7.9284 \text{ N}}{2}(352 \text{ mm}) + \frac{1821.93 \text{ N}}{2}(332 \text{ mm}) + 5.0752 \text{ N}(332 \text{ mm})$$

$$R_{A1Y} = \frac{1395.41 \text{ Nmm} + 1684.97 \text{ Nmm} + 302440.54 \text{ Nmm}}{625 \text{ mm}}$$

$$R_{A1Y} = \frac{305520.92 \text{ Nmm}}{625 \text{ mm}}$$

$$R_{A1Y} = 488.83 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_{A1Y} + R_{A2Y} - \frac{P_{PLACA}}{2} - \frac{P_{CARGA M\acute{A}X.}}{2} - P_{PERFIL\_A} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.9})$$

$$R_{A2Y} = 3.9642 \text{ N} + 910.97 \text{ N} + 5.0752 \text{ N} - 488.83 \text{ N}$$

$$R_{A2Y} = 431.17 \text{ N}$$

Se realiza el mismo análisis de cargas en el perfil B:

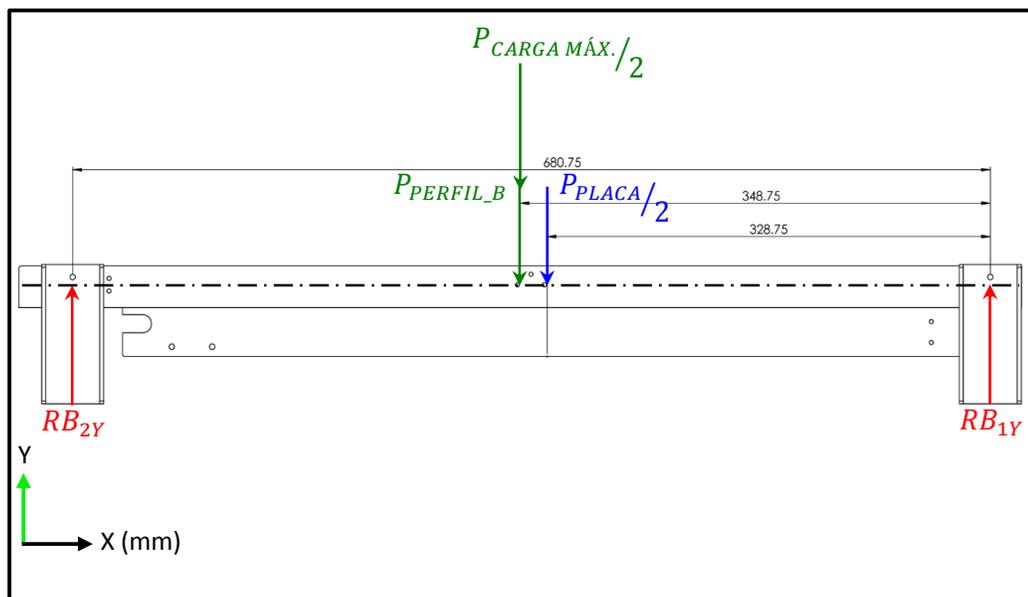


Figura 41. Distribución de Fuerzas en el plano X-Y

$$\sum M_{B1} = 0 \quad \left( \begin{array}{c} \curvearrowright \\ + \end{array} \right)$$

$$R_{B2Y}(680.75 \text{ mm}) - \frac{P_{CARGA M\acute{A}X}}{2}(348.75 \text{ mm}) - P_{PERFIL\_B}(348.75 \text{ mm}) - \frac{P_{PLACA}}{2}(328.75 \text{ mm}) = 0 \quad (\text{Ecu. 3.10})$$

$$R_{B2Y}(680.75) = \frac{1821.93}{2}(348.75) + 5.3716(348.75) + \frac{7.9284}{2}(328.75)$$

$$R_{B2Y} = \frac{1873.35 \text{ Nmm} + 1303.23 \text{ Nmm} + 317699.04 \text{ Nmm}}{680.75 \text{ mm}}$$

$$R_{B2Y} = 471.36 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{B1Y} + R_{B2Y} - \frac{P_{PLACA}}{2} - \frac{P_{CARGA M\acute{A}X.}}{2} - P_{PERFIL\_B} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.11})$$

$$R_{B1Y} = 3.9642 \text{ N} + 910.97 \text{ N} + 5.3716 \text{ N} - 471.36 \text{ N}$$

$$R_{B1Y} = 448.94 \text{ N}$$

Como se pueden observar, en el cálculo de las reacciones con carga máxima, se tiene que el apoyo donde se experimentará una reacción mayor es el A1 con  $R_{A1Y} = 488.83 \text{ N}$ , por lo que este será nuestro punto crítico para el siguiente análisis que es calcular el esfuerzo cortante en los tornillos. Cada uno de los cuatro apoyos está sujeto al resto de la estructura mediante dos tornillos M4 (Diámetro: 4mm) por que se determinará si los mismos cumplen con la función de resistir el peso del sistema mediante el análisis de esfuerzos cortantes.

#### APOYO C EN EL PUNTO A1

Se calcula el esfuerzo admisible del perno  $\sigma_{adm}$ , el cual está fabricado en acero AISI 1015 CD con el siguiente límite de Fluencia, (SAE Handbook, 1986, p. 215):

$$S_y = 320 \text{ MPa}$$

Basándonos en la teoría de Energías de Distorsión, la resistencia a la fluencia cortante en el tornillo sería la siguiente:

$$S_{sy} = 0.577 \times S_y \quad (\text{Ecu. 3.12})$$

$$S_{sy} = 0.577 \times 320 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 184.64 \text{ MPa}$$

Se considera un factor de seguridad de 2 al igual que el anterior caso, y se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (\text{Ecu. 3.13})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{184.64 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = \mathbf{92.32 \text{ MPa}}$$

El esfuerzo cortante máximo en el perno depende de la fuerza cortante aplicada en el apoyo que es  $R_{A1Y} = 488.83 \text{ N}$ ; con lo que se obtiene la siguiente igualdad:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \tau_{xy} \quad (\text{Ecu. 3.14})$$

$$\tau_{xy} = \frac{4V}{3A} = \frac{4F}{3\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (\text{Ecu. 3.15})$$

En donde:

$F$  = fuerza aplicada en el apoyo, al tener dos tornillos la fuerza será:

$$R_{A1Y}/2 = 488.83/2 = \mathbf{244.42 \text{ N}} \text{ en cada tornillo.}$$

$D$  = diámetro del tornillo, en este caso de 4mm.

Se calcula el esfuerzo máximo en cada tornillo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{4 \times 244.42 \text{ N}}{3\left(\frac{\pi \times (4 \text{ mm})^2}{4}\right)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \mathbf{25.93 \text{ MPa}}$$

Como se puede apreciar, el esfuerzo máximo es inferior al esfuerzo admisible en cada tornillo:

$$92.32 \text{ MPa} > 25.93 \text{ MPa} \rightarrow \sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$$

Por lo que los apoyos sostendrán a la estructura con una máxima carga de 185.72 *Kgf* satisfactoriamente.

### 3.2.2. Diseño de las Bandas Transportadoras.

El sistema que compone a las bandas transportadoras en cada uno de los módulos, será el conjunto de elementos encargados de trasladar a los envases por todas las etapas adyacentes a los procesos de dosificación de sólidos y de tapado de botellas.

En el módulo didáctico 1, el sistema tendrá inicio en el extremo izquierdo de la estructura principal. La banda transportadora llevará los envases hacia el disco rotatorio encargado de trasladarlos hacia la zona de dosificación. Una vez realizado este proceso, el disco traerá de vuelta a las botellas hacia la banda en donde se transportarán a lo largo de la estructura hasta llegar a la zona de almacenaje.

En el módulo didáctico 2, el sistema tendrá inicio en el extremo izquierdo de la estructura principal. La banda transportadora se encargará de mover a cada una de las botellas hacia el sistema dispensador de tapas. Posteriormente los envases se trasladarán a lo largo de la estructura hasta llegar a la zona de tapado.

Es necesario considerar para el diseño de la banda transportadora el recorrido total que deberá realizar, así como también el ancho del camino que deberá recorrer y principalmente, el peso que deberá transportar. Los elementos que compondrán el sistema serán los siguientes:

- Cinta transportadora
- Motor Eléctrico
- Rodillos

La cinta transportadora será la superficie base en la cual se trasladarán cada uno de los envases a través del proceso. El tipo de cinta seleccionado es el fabricado en polivinilo PVC debido a que este tipo de cinta es muy utilizada en el área industrial alimenticia para el traslado de envases que contengan granos de azúcar, gelatina, arroz, entre otros.

Las Características Principales del tipo de cinta seleccionado son las siguientes:

**Tabla 4.**  
**Catálogo del producto NAB-8EEWV 11**

DATOS TÉCNICOS	
<b>Espesor:</b>	2 mm
<b>Diámetro mínimo de la polea:</b>	25 mm
<b>Diámetro mínimo de la polea contra flexión:</b>	40 mm
<b>Peso de la cinta por metro cuadrado:</b>	2,3 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Fuerza de tracción admisible por ancho:</b>	12 N/mm
<b>Temperatura de Funcionamiento:</b>	-10 °C a 70 °C

Fuente: (Habasit, 2012)

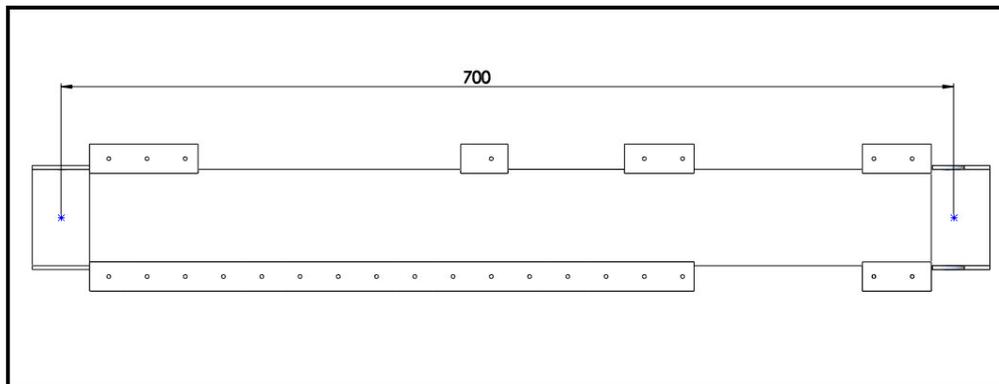
Una vez seleccionado el tipo de cinta que se va a ocupar, se tomarán en cuenta algunos aspectos para su posterior análisis. El dimensionamiento y selección de elementos que componen a la banda transportadora de cada módulo se realizará en base a las propiedades geométricas ya predefinidas en sus estructuras.

El diámetro del rodillo adecuado en función de los datos técnicos de la cinta debe tener un valor mayor a 25mm, por lo que; para el Módulo didáctico 1 se selecciona un diámetro de:

$$D_{rodillo} = 1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

### 3.2.2.1. Análisis para el Módulo Didáctico 1

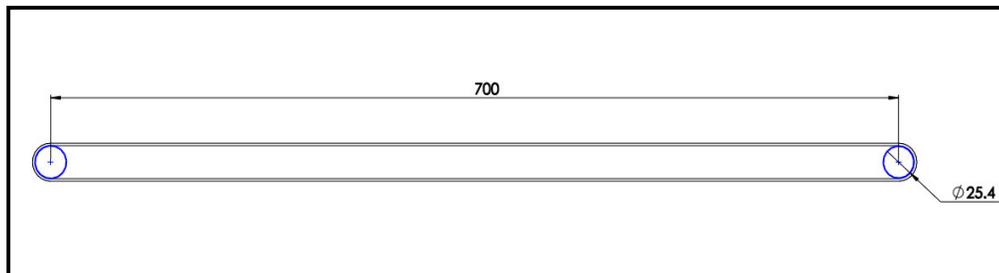
Basándonos en el diseño de la estructura principal, la longitud entre los centros de los rodillos será:



**Figura 42. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 1**

$$L_{centros} = 700 \text{ mm}$$

Basándonos en los datos técnicos y en el dimensionamiento longitudinal de la banda tendremos lo siguiente:



**Figura 43. Medidas Longitudinales de la Cinta en el Módulo 1**

Se calcula la longitud total de la banda:

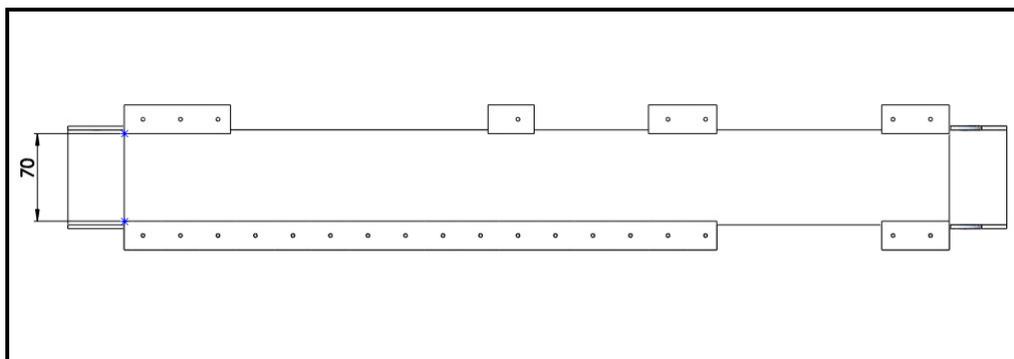
$$L_{total} = 2L_{centros} + \pi D_{rodillo} \quad (\text{Ecu. 3.16})$$

$$L_{total} = 2 \times (700 \text{ mm}) + \pi \times (25.4 \text{ mm})$$

$$L_{total} = \mathbf{1479.8 \text{ mm}}$$

El ancho de la cinta dependerá también del diseño de la estructura principal del sistema, en el cual se tomó en cuenta el diámetro de la botella plástica a utilizar que es de 52mm.

Por cuestiones de diseño se impuso una distancia entre los bordes internos del perfil principal que constituye el camino por donde irá la banda de 70mm:



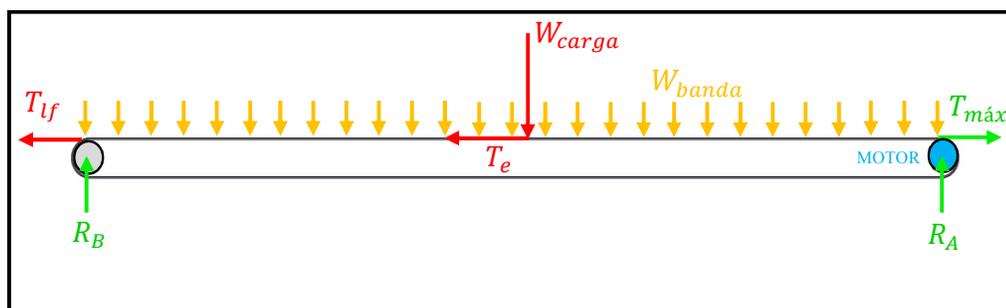
**Figura 44. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 1**

$$\text{Ancho}_c = 70 \text{ mm}$$

### Dimensionamiento del Motor Eléctrico

La selección del Motor eléctrico a utilizar en el sistema de la banda transportadora se determinará en función de la potencia y torque necesario para realizar el movimiento continuo de la cinta con dos botellas en su superficie.

El diagrama de Fuerzas que intervienen dentro del sistema de la banda transportadora es el siguiente:



**Figura 45. Diagrama de Fuerzas en la Cinta**

En donde:

$W_{carga}$  = Peso de la carga, en este caso el peso de una botella llena.

$W_{banda}$  = Peso de la banda, como una carga distribuida.

$T_{lf}$  = Tensión del lado flojo, encargada de evitar los patinajes de la banda en los rodillos.

$T_e = \text{Tensión efectiva.}$

$T_{m\acute{a}x} = \text{Tensi3n m\acute{a}xima aplicada al rodillo que se conecta con el motor.}$

La tensi3n efectiva en base al Conveyor Handbook (Fenner & Dunlop, 2009, p. 29) es la fuerza total necesaria para el movimiento de la banda con carga, est\`a conformada de la siguiente manera: (Ecu. 3.17)

$$T_e = T_x + T_y \pm T_z$$

En donde:

$T_x = \text{Tensi3n necesaria para desplazar a la banda vac\`ia.}$

$T_y = \text{Tensi3n necesaria para desplazar la carga en sentido horizontal.}$

$T_z = \text{Tensi3n necesaria para subir o bajar la carga.}$

Para nuestro dise\`no, la tensi3n  $T_z$  no se la considerar\`a debido a que no necesitaremos subir ni bajar nuestra carga a lo largo de la banda. La tensi3n necesaria para desplazar a la banda vac\`ia sin carga ( $T_x$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$T_x = \mu_x \times W_{banda} \quad (\text{Ecu. 3.18})$$

$\mu_x$  es el coeficiente de fricci3n en el enrollamiento, por lo tanto es el coeficiente entre la banda y los rodillos deslizantes. Los materiales de cada elemento son de Polivinilo PVC y de acero ASTM A36 respectivamente, para lo cual tomaremos en cuenta la siguiente tabla:

**Tabla 5.**

**Coeficiente de fricci3n del acero con algunos materiales**

Caracter\`sticas mec\`nicas	PTFE	PE	PE	PVC
	Algoflon	APM	UHMW	Polivinilo
<b>Coeficiente de fricci3n con el acero</b>	0,1	0,32	0,3	<b>0,42</b>

Fuente: (EuroFlon S.A, 2015)

$$\mu_x = 0.42$$

Lo siguiente es hallar la carga distribu\`ida generada por la banda, tenemos que la masa de la cinta por metro cuadrado es:

$$masa_{cinta/m^2} = 2.3 \text{ Kg}/m^2$$

En base al ancho de la banda que es de 70 mm, podemos hallar la masa de la cinta por metro:

$$masa_{cinta/m} = 2.3 \text{ Kg}/m^2 \times 0.07m$$

$$masa_{cinta/m} = 0.161 \text{ Kg}/m$$

De esta manera, hallamos la carga distribuída generada por la banda:

$$W_{banda} = masa_{cinta/m} \times L_{total} \quad (\text{Ecu. 3.19})$$

$$W_{banda} = 0.161 \text{ Kg}/m \times 1.4798 m$$

$$W_{banda} = 0.23825 \text{ Kg}$$

Se calcula el peso en [N] :

$$W_{banda} = 0.23825 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m}/s^2$$

$$W_{banda} = 2.337 \text{ N}$$

La fuerza  $T_x$  sería:

$$T_x = \mu_x \times W_{banda}$$

$$T_x = 0.42 \times 2.337 \text{ N}$$

$$T_x = \mathbf{0.982 \text{ N}}$$

La tensión necesaria para desplazar la carga horizontalmente ( $T_y$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$T_y = \mu_y \times W_{carga} \quad (\text{Ecu. 3.20})$$

$\mu_y$  es el coeficiente de fricción existente entre la banda y la superficie por donde se desliza. Los materiales de cada elemento son de Polivinilo PVC y de Aluminio 6061 respectivamente, para lo cual tomaremos en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 6.

## Coeficiente de fricción del aluminio con algunos materiales

Características mecánicas	PTFE	PE	PE	PVC
	Algoflon	APM	UHMW	Polivinilo
Coeficiente de fricción con aluminio	0,084	0,27	0,24	<b>0,35</b>

Fuente: (EuroFlon S.A, 2015)

$$\mu_y = 0.35$$

Lo siguiente es hallar la fuerza generada por la carga en la banda, aquí consideraremos la masa de 2 botellas llenas, y la masa de la cinta en función del area de las botellas. Como se menciono anteriormente, las botellas tienen un diámetro de 52mm, por lo que tenemos:

$$Area_{botella} = \frac{\pi \times (D_{botella})^2}{4} \quad (\text{Ecu. 3.21})$$

$$Area_{botella} = \frac{\pi \times (0.052 \text{ m})^2}{4}$$

$$Area_{botella} = 2.1237 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

La masa de la cinta interviniente se la considera en las 2 botellas, por lo que sería:

$$masa_{cinta} = 2 \times (masa_{cinta/m^2} \times Area) \quad (\text{Ecu. 3.22})$$

$$masa_{cinta} = 2 \times (2.3 \text{ Kg}/\text{m}^2 \times 2.1237 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$masa_{cinta} = 9.769 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

La masa total de la carga sería:

$$W_{carga} = masa_{cinta} + 2 \times masa_{botella} \quad (\text{Ecu. 3.23})$$

La masa de cada botella llena es de 150 gr, con lo que se tiene lo siguiente:

$$W_{carga} = 9.769 \times 10^{-3} \text{ Kg} + 2 \times 0.150 \text{ Kg}$$

$$W_{carga} = 0.309769 \text{ Kg}$$

Se calcula el peso en [N]:

$$W_{carga} = 0.309769 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 3.0388 \text{ N}$$

La fuerza  $T_y$  sería entonces:

$$T_y = \mu_y \times W_{carga}$$

$$T_y = 0.35 \times 3.0388 \text{ N}$$

$$T_y = \mathbf{1.064 \text{ N}}$$

De esta manera podemos hallar la fuerza efectiva total en la banda, que sería:

$$T_e = T_x + T_y \quad (\text{Ecu. 3.17})$$

$$T_e = 0.982 \text{ N} + 1.064 \text{ N}$$

$$T_e = \mathbf{2.046 \text{ N}}$$

Otra tensión importante a tener en cuenta es la tensión de lado flojo  $T_{lf}$ . Esta nos permite obtener una tracción adecuada entre los rodillos y la banda operando con el mínimo patinaje posible, la formula para esta tensión es la siguiente (Fenner & Dunlop Conveyor Handbook, 2009, p. 32):

$$T_{lf} = K \times T_e \quad (\text{Ecu. 3.24})$$

La constante  $K$  se la obtiene de la siguiente manera en base al Conveyor Handbook (Fenner & Dunlop, 2009, p. 33) :

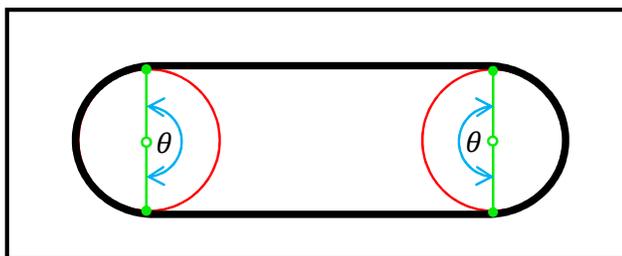
$$K = \frac{1}{e^{0.00758 \times \mu \times \theta} - 1} \quad (\text{Ecu. 3.25})$$

En donde:

$\mu =$  *Coficiente de Fricción entre los rodillos y la banda.*

$\theta =$  *Ángulo de contacto (Grados).*

El coeficiente de fricción será el mismo utilizado para hallar la tensión  $T_x$ ; es decir **0.42**. Al ser dos rodillos a cada extremo con el mismo diámetro, el ángulo de contacto será:



**Figura 46. Ángulos de contacto en la banda transportadora**

$$\theta = 180^\circ$$

La constante K sería entonces:

$$K = \frac{1}{e^{0.00758 \times 0.42 \times 180} - 1}$$

$$K = \frac{1}{1.7737 - 1}$$

$$K = 1.293$$

Una vez hallado el valor de la constante de transmisión 'K', se calcula la tensión de lado flojo con la ecuación 3.24:

$$T_{lf} = K \times T_e \quad (\text{Ecu. 3.24})$$

$$T_{lf} = 1.293 \times 2.046 \text{ N}$$

$$T_{lf} = \mathbf{2.65 \text{ N}}$$

Una vez halladas la tensión efectiva y la tensión de lado flojo, podemos hallar la máxima tensión aplicada en la banda que será la suma de las dos tensiones según el Conveyor Handbook (Fenner & Dunlop, 2009, p. 35):

$$T_{m\acute{a}x} = T_e + T_{lf} \quad (\text{Ecu. 3.26})$$

$$T_{m\acute{a}x} = 2.046 \text{ N} + 2.65 \text{ N}$$

$$T_{m\acute{a}x} = \mathbf{4.7 \text{ N}}$$

Se debe considerar un valor para la velocidad del proceso. El valor impuesto para la velocidad del proceso en función de las etapas por las cuales debe de pasar la botella es:

$$v_p = 12 \text{ cm/s}$$

La velocidad angular es por lo tanto:

$$\omega = 2 \times v_p / D_{\text{rodillo}} \quad (\text{Ecu. 3.27})$$

$$\omega = 2 \times \frac{12 \text{ cm/s}}{2.54 \text{ cm}}$$

$$\omega = \mathbf{9.4488 \frac{rad}{s}}$$

En revoluciones por minuto tenemos:

$$RPM = 9.4488 \left| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right| \left| \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \right| = 90.22$$

Acercándonos a un valor entero, nos impondremos que nuestra velocidad requerida para el motor será de  $90 \text{ RPM}$  con una tolerancia de  $\pm 10 \text{ RPM}$ , Es decir que su rango estará entre los **80 a 100 RPM**. La potencia del motor eléctrico que se requiere para el movimiento de la banda transportadora depende de la velocidad lineal a la que vaya a desplazarse la carga y de la tensión máxima entre la banda y los rodillos.

$$Pot = T_{\text{máx}} \times v_p \quad (\text{Ecu. 3.28})$$

$$Pot = 4.7 \text{ N} \times 0.12 \text{ m/s}$$

$$Pot = \mathbf{0.564 \text{ W}}$$

Calculamos de igual manera el torque que necesitaremos:

$$Tor = F \times r \quad (\text{Ecu. 3.29})$$

Reemplazando las variables en la fórmula con los datos hallados, quedaría:

$$Tor = \frac{T_{\text{máx}} \times D_{\text{rodillo}}}{2}$$

$$Tor = \frac{4.7 \text{ N} \times 25.4 \text{ mm}}{2}$$

$$Tor = \mathbf{59.69 \text{ Nmm}}$$

Con estos valores obtenidos mediante los cálculos, se selecciona un motor eléctrico DC con caja reductora de velocidad incorporada debido a que la mayoría de motores DC poseen altas velocidades pero bajos torques. El motor seleccionado para el módulo 1 proviene de la marca *Metal Gearmotor*, el cual incorpora una caja reductora y posee las siguientes características técnicas:

**Tabla 7.**

**Datos Técnicos del motor seleccionado**

Especificaciones generales	
<b>Velocidad de Salida:</b>	100 [RPM]
<b>Voltaje DC:</b>	12 [V]
<b>Corriente de Eje Libre:</b>	300 [mA]
<b>Corriente Nominal:</b>	1.36 [A]
<b>Potencia:</b>	16.32 [W]
<b>Torque:</b>	1554 [Nmm]
<b>Diámetro del eje:</b>	6 [mm]

Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)



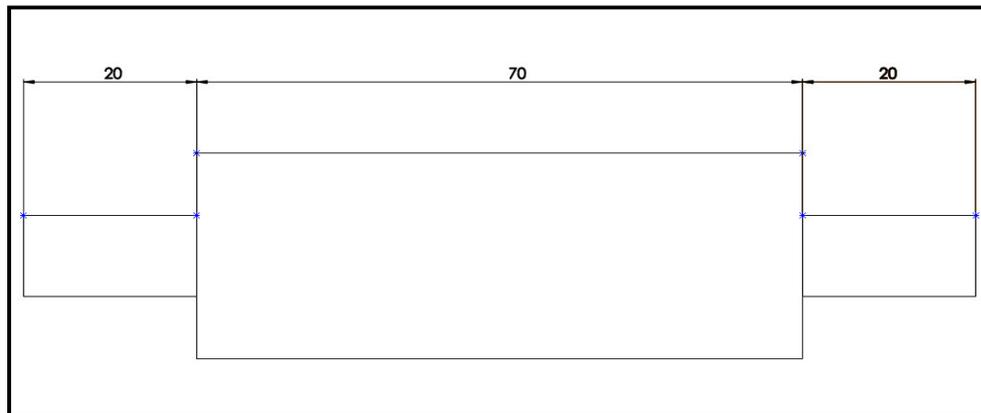
**Figura 47. Motor Eléctrico a Utilizar**

**Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)**

La selección del motor se basó fundamentalmente en la velocidad requerida debido a que se necesitan velocidades entre los 80 a 100 RPM. Los parámetros de potencia y torque también fueron tomados en cuenta para la selección verificando que el motor posea valores superiores a los mínimos calculados.

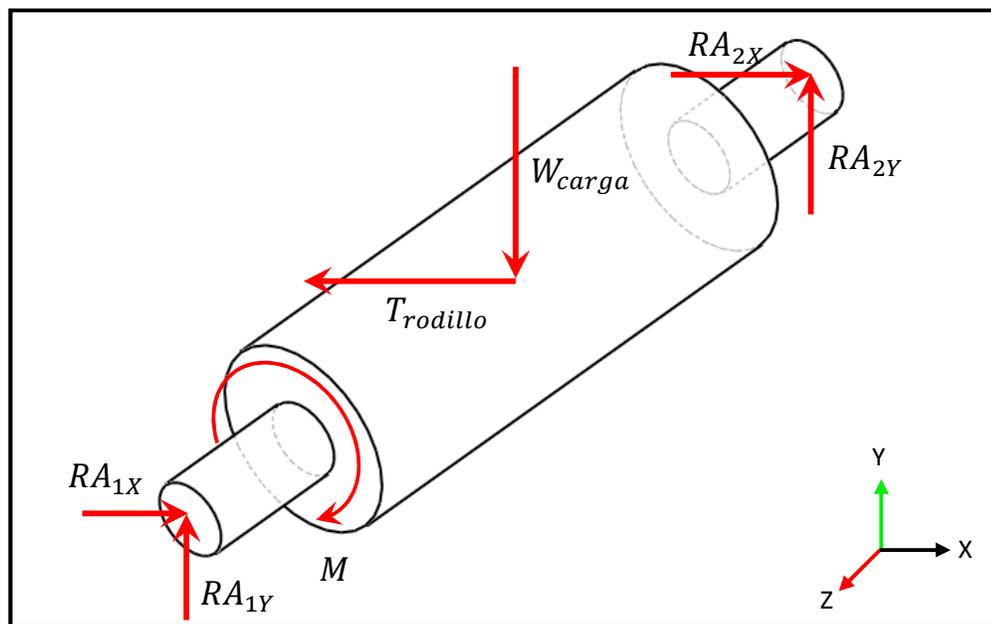
### Rodillos para la banda transportadora

Basándonos en el ancho de la cinta transportadora e imponiéndonos el largo en sus apoyos de 2cm por cuestiones de diseño, la longitud total del rodillo es:



**Figura 48. Dimensiones Longitudinales del Rodillo**

Para analizar las reacciones en los apoyos realizamos el siguiente diagrama de cuerpo libre, en el cual consideraremos las fuerzas máximas aplicadas sobre el rodillo tanto por la tensión de la banda en el eje X como por el peso generado por la carga en el eje Y.



**Figura 49. Distribución de Fuerzas a través del Rodillo**

La tensión  $T$  en el rodillo sería la siguiente:

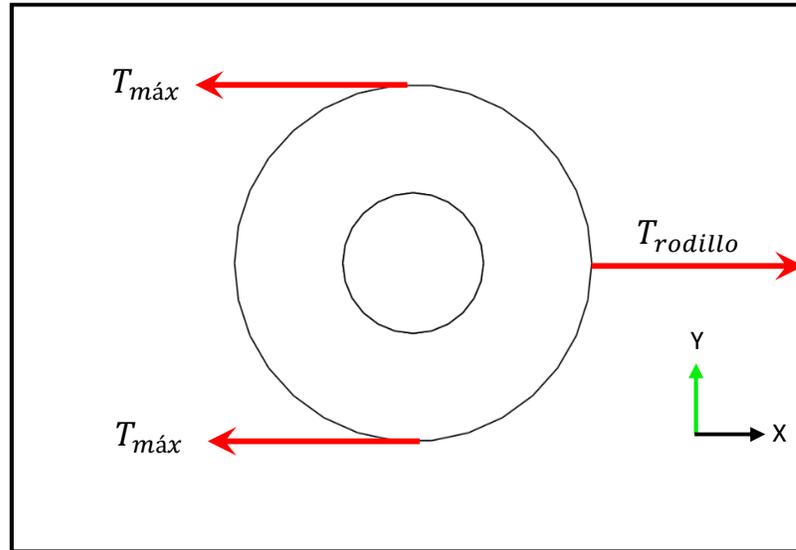


Figura 50. Diagrama de Tensiones en el Rodillo en el plano X-Y

$$\sum F_x = 0$$

$$T_{rodillo} - 2 \times T_{máx} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.30})$$

$$T_{rodillo} = 2 \times 4.7 \text{ N}$$

$$T_{rodillo} = 9.4 \text{ N}$$

El peso de la carga ya se calculó y es igual a  $W_{carga} = 3.0388 \text{ N}$ , Se procede a realizar el análisis de cargas del rodillo en el plano Y-Z, aquí se considerará la fuerza total ejercida del peso de la carga en el punto medio del rodillo.

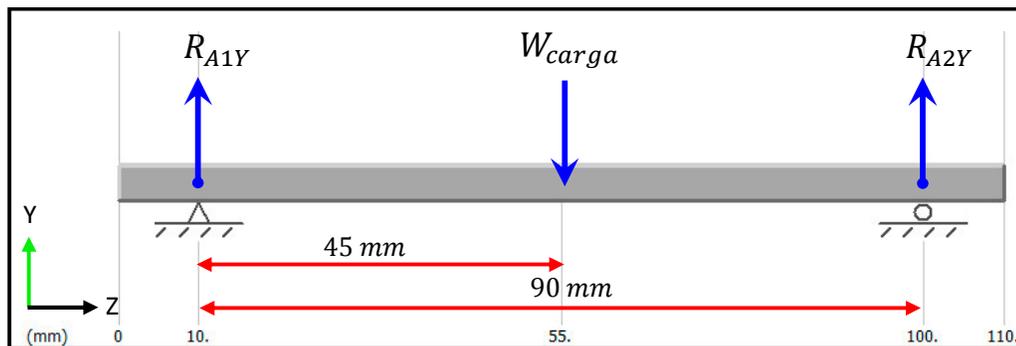


Figura 51. Distribución de Fuerzas en el plano Y-Z

$$\sum M_{A1} = 0 \quad (+)$$

$$W_{carga} \times 45 \text{ mm} - R_{A2Y} \times 90 \text{ mm} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.31})$$

$$R_{A2Y} = \frac{3.0388 \text{ N} \times 45 \text{ mm}}{90 \text{ mm}}$$

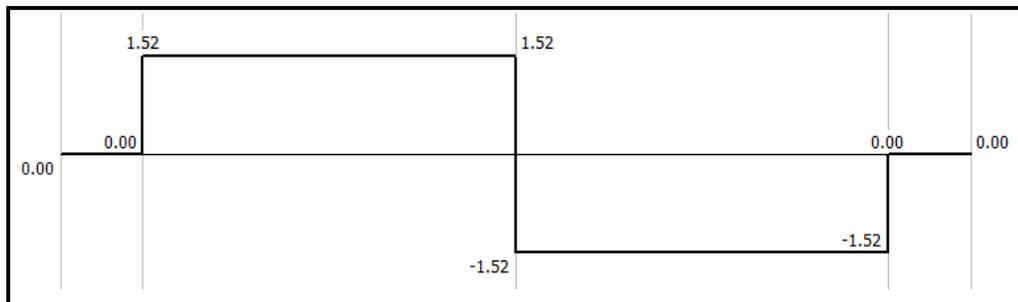
$$R_{A2Y} = 1.52 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{A1Y} + R_{A2Y} - W_{CARGA} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.32})$$

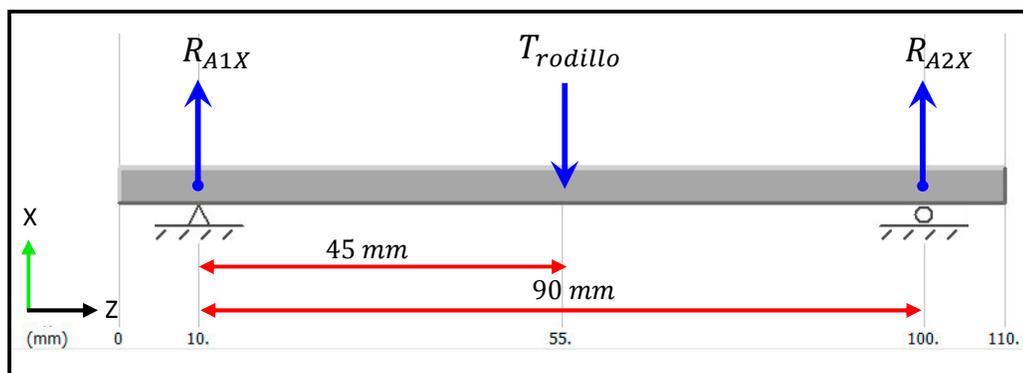
$$R_{A1Y} = 3.0388 \text{ N} - 1.52 \text{ N}$$

$$R_{A1Y} = 1.52 \text{ N}$$



**Figura 52. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z**

Se procede a realizar el análisis de cargas del rodillo en el plano X-Z, aquí se considerará la tensión en el rodillo producto de la tensión máxima que experimenta la banda.



**Figura 53. Distribución de Fuerzas en el plano X-Z**

$$\sum M_{A1} = 0 \quad (+)$$

$$T_{rodillo} \times 45 \text{ mm} - R_{A2X} \times 90 \text{ mm} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.33})$$

$$R_{A2X} = \frac{9.4 \text{ N} \times 45 \text{ mm}}{90 \text{ mm}}$$

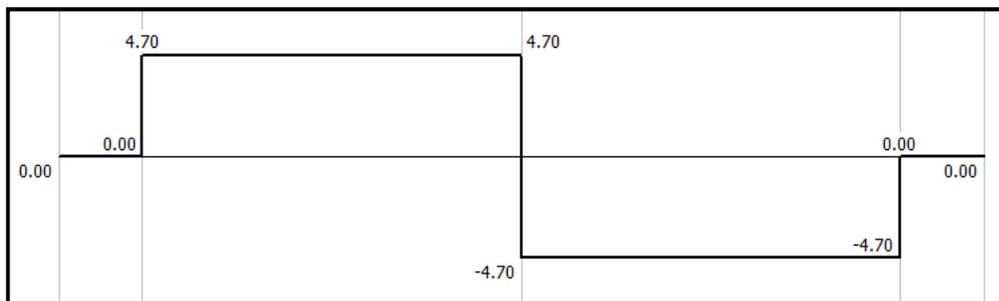
$$R_{A2X} = 4.7 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{A1X} + R_{A2X} - T_{rodillo} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.34})$$

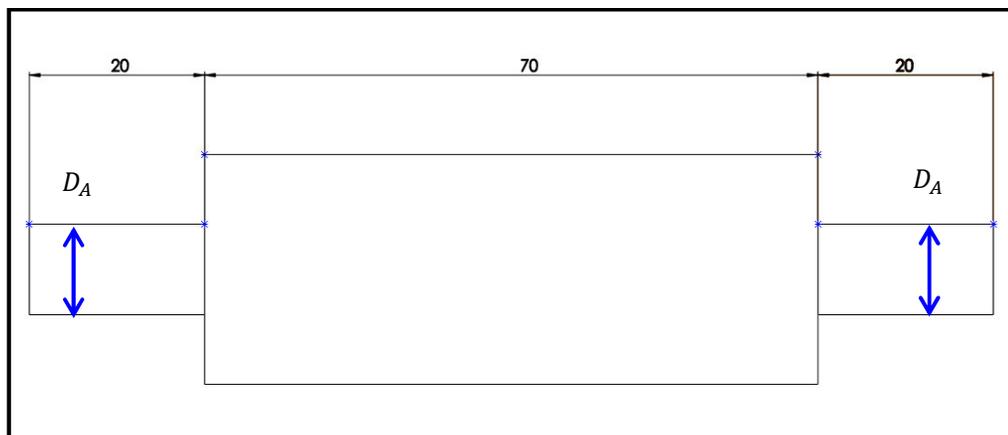
$$R_{A1X} = 9.4 \text{ N} - 4.7 \text{ N}$$

$$R_{A1X} = 4.7 \text{ N}$$



**Figura 54. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z**

Una vez calculada las fuerzas en sus apoyos, se calcula el diámetro mínimo de los apoyos del rodillo:



**Figura 55. Dimensiones Longitudinales del Rodillo**

$D_A =$  Diámetro de los apoyos del rodillo

Calculamos la reacción total aplicada en los apoyos:

$$R_{A1} = \sqrt{R_{A1X}^2 + R_{A1Y}^2} \quad (\text{Ecu. 3.35})$$

$$R_{A1} = \sqrt{4.7^2 + 1.52^2}$$

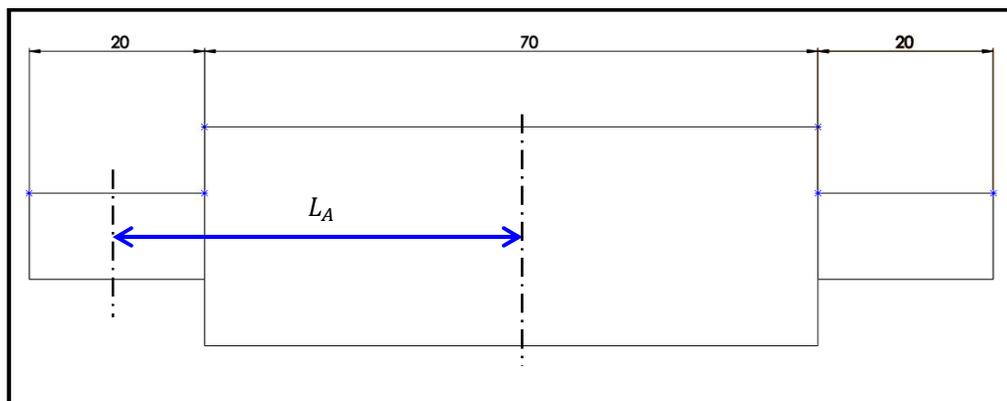
$$R_{A1} = 4.9397 \text{ N}$$

La Reacción en  $A_2$  es igual a la reacción en  $A_1$  debido a que se encuentran a la misma distancia de las fuerzas que intervienen en el rodillo.

Se halla el momento flexionante máximo en el eje:

$$M_f = R_{A1} \times L_A \quad (\text{Ecu. 3.36})$$

En donde  $L_A$  es la distancia del apoyo al punto donde se está ejerciendo la fuerza que produce el momento flexionante:



**Figura 56. Distancia del apoyo hacia el centro del cilindro**

$$L_A = \frac{20}{2} \text{ mm} + \frac{70}{2} \text{ mm}$$

$$L_A = 45 \text{ mm}$$

Con lo que tenemos:

$$M_f = 4.9397 \text{ N} \times 45 \text{ mm}$$

$$M_f = 222.287 \text{ Nmm}$$

El material del que está constituido el rodillo es de acero ASTM A36. Este es un acero dúctil altamente utilizado en aplicaciones estructurales debido a su excelente resistencia y bajo costo. Para el cálculo del diámetro, partiremos de la teoría del esfuerzo cortante máximo (*Budynas, 2012 p.211*) aplicando la siguiente fórmula:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2n} \quad (\text{Ecu. 3.37})$$

En donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$  = *Esfuerzo cortante Máximo*

$S_y$  = *Límite de Fluencia del material*

$n$  = *Factor de Seguridad*

El límite de fluencia para el Acero ASTM A36 es 36 KPSI, con lo que se tiene:

$$S_y = 36000 \text{ PSI}$$

$$S_y = 36000 \text{ PSI} \left| \frac{6894,75 \text{ Pa}}{1 \text{ PSI}} \right| \left| \frac{1 \text{ MPa}}{1 \times 10^6 \text{ Pa}} \right|$$

$$S_y = 248.211 \text{ Mpa}$$

El factor de seguridad impuesto es de 2; con lo que se tiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{248.211 \text{ MPa}}{2(2)}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \mathbf{62.0528 \text{ MPa}}$$

El esfuerzo cortante máximo también se lo calcula de esta manera:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ecu. 3.38})$$

En donde:

$\sigma_x$  = *Esfuerzo normal*

$\tau_{xy}$  = *Esfuerzo cortante*

El esfuerzo normal se lo calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (\text{Ecu. 3.39})$$

Para figuras cilíndricas, en donde:

$M = \text{Momento flexionante máximo}$

$D = \text{Diámetro del Apoyo}$

Por lo tanto se tiene:

$$\sigma_x = \frac{2M_f}{\pi D_A^3} \quad (\text{Ecu. 3.40})$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 222.287 \text{ Nmm}}{\pi D_A^3}$$

$$\sigma_x = \frac{2264.197 \text{ Nmm}}{D_A^3}$$

El esfuerzo cortante se lo calcula de la siguiente manera:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi D^3} \quad (\text{Ecu. 3.41})$$

Para figuras cilíndricas, en donde:

$T = \text{Torque ejercido por el motor}$

$D = \text{Diámetro del Apoyo}$

Por lo tanto se tiene:

$$\tau_{xy} = \frac{16Tor_{motor}}{\pi D_A^3} \quad (\text{Ecu. 3.42})$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times 1554 \text{ Nmm}}{\pi D_A^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3}$$

Lo siguiente que hacemos es reemplazar los esfuerzos normales y cortantes en la fórmula del esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ecu. 3.38})$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \left[ \left( \frac{2264.197 \text{ Nmm}}{2 * D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Finalmente, reemplazamos el valor del esfuerzo cortante máximo hallado en función de su límite de fluencia y factor de seguridad y encontramos el diámetro del apoyo:

$$62.0528 \text{ MPa} = \left[ \left( \frac{2264.197 \text{ Nmm}}{2 * D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$(62.0528 \text{ MPa})^2 = \left( \frac{1132.098 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2$$

$$(62.0528 \text{ MPa})^2 = \frac{(1132.098 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{D_A^6}$$

$$D_A^6 = \frac{(1132.098 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{(62.0528 \text{ MPa})^2}$$

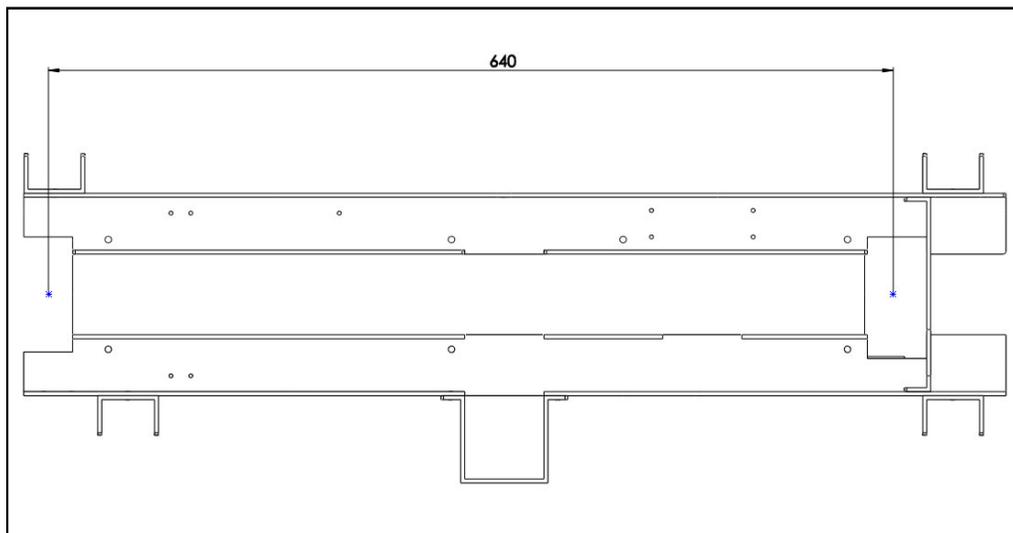
$$D_a = \left[ \frac{(1132.098 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{(62.0528 \text{ N/mm}^2)^2} \right]^{1/6}$$

$$\mathbf{D_a = 5.06 \text{ mm}}$$

El diámetro mínimo para los apoyos de los rodillos en el módulo didáctico 1 es de 5.06 mm.

### 3.2.2.2. Análisis para el Módulo Didáctico 2

El análisis de la banda transportadora para el módulo Didáctico 2 será el mismo realizado en la primera estación, variando sus parámetros geométricos. Basándonos en el diseño de la estructura principal, la longitud entre los centros de los rodillos será:

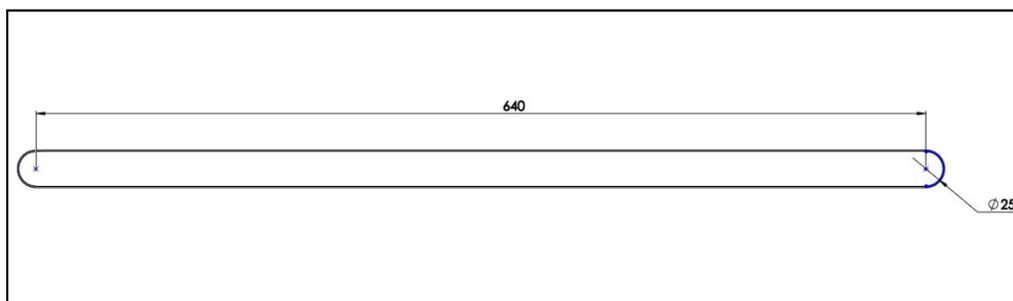


**Figura 57. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 2**

El diámetro del rodillo adecuado en función de los datos técnicos de la cinta debe tener un valor mayor a  $25\text{mm}$ , por lo que; para el Módulo didáctico 2 se selecciona un diámetro de:

$$D_{\text{rodillo}} = 1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

Basándonos en los datos técnicos y en el dimensionamiento longitudinal de la banda tendremos lo siguiente:



**Figura 58. Medidas Longitudinales de la Cinta en el Módulo 2**

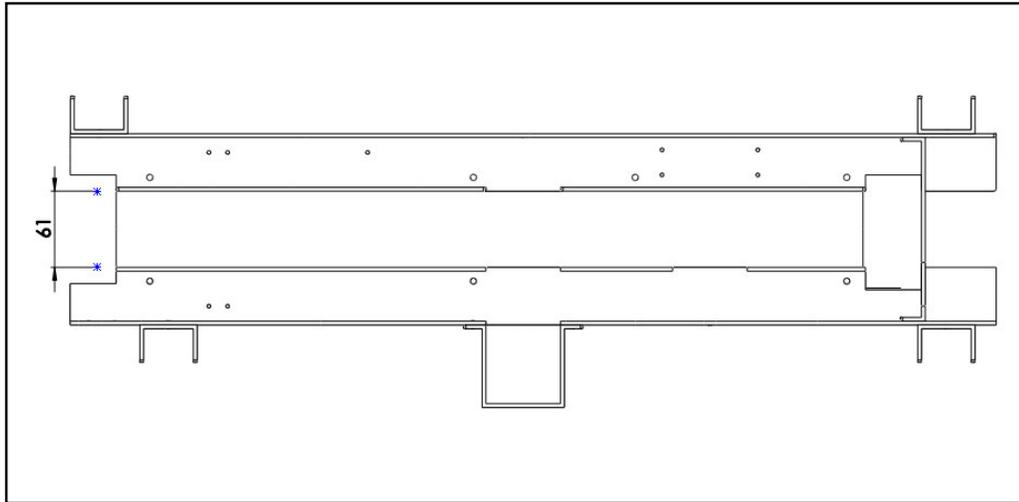
Se calcula la longitud total de la banda:

$$L_{\text{total}} = 2L_{\text{centros}} + \pi D_{\text{rodillo}} \quad (\text{Ecu. 3.16})$$

$$L_{\text{total}} = 2 \times (640 \text{ mm}) + \pi * (25.4 \text{ mm})$$

$$L_{\text{total}} = \mathbf{1359.8 \text{ mm}}$$

El ancho de la cinta dependerá también del diseño de la estructura principal del sistema, en el cual se tomó en cuenta el diámetro de la botella plástica a utilizar que es de  $52\text{mm}$ , por cuestiones de diseño se impuso una distancia entre los bordes internos de los perfiles de  $61\text{mm}$ :

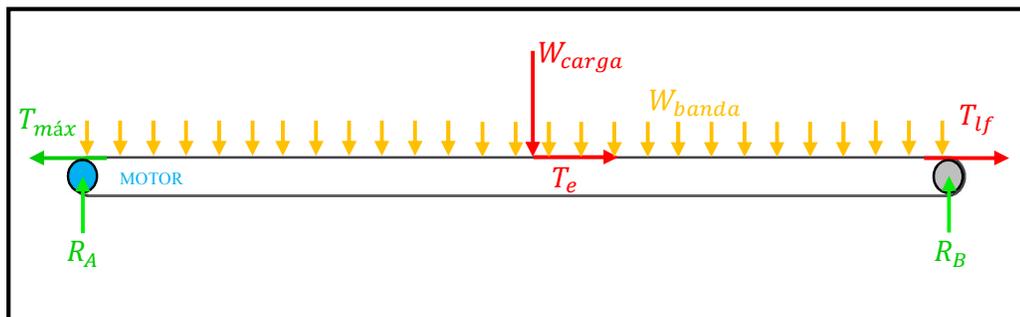


**Figura 59. Vista Superior de la Estructura Principal del Módulo 2**

$$\text{Ancho}_c = 61 \text{ mm}$$

#### Dimensionamiento del Motor Eléctrico

El diagrama de Fuerzas interviniendo dentro del sistema de la banda transportadora es el siguiente:



**Figura 60. Diagrama de Fuerzas en la Cinta**

Los materiales de la cinta transportadora y de los rodillos son de Polivinilo PVC y de acero ASTM A36 respectivamente, Para hallar el coeficiente de fricción  $\mu_x$ , tomaremos en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 8.

## Coeficiente de fricción del acero con algunos materiales

Características mecánicas	PTFE	PE	PE	PVC
	Algoflon	APM	UHMW	Polivinilo
Coeficiente de fricción con el acero	0,1	0,32	0,3	<b>0,42</b>

Fuente: (EuroFlon S.A, 2015)

$$\mu_x = 0.42$$

Se necesita el valor de la carga distribuída generada por la banda. En base al ancho de la banda que es de  $61\text{mm}$ , hallamos la masa de la cinta por metro:

$$masa_{cinta/m} = 2.3 \text{ Kg}/m^2 \times 0.061\text{m}$$

$$masa_{cinta/m} = 0.1403 \text{ Kg}/m$$

De esta manera, hallamos la carga distribuída generada por la banda:

$$W_{banda} = masa_{cinta/m} \times L_{total} \quad (\text{Ecu. 3.19})$$

$$W_{banda} = 0.1403 \text{ Kg}/m \times 1.3598 \text{ m}$$

$$W_{banda} = 0.1908 \text{ Kg}$$

Se calcula el peso en [N]:

$$W_{banda} = 0.1908 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m}/s^2$$

$$W_{banda} = 1.8716 \text{ N}$$

La fuerza  $T_x$  sería:

$$T_x = \mu_x \times W_{banda}$$

$$T_x = 0.42 \times 1.8716\text{N}$$

$$T_x = \mathbf{0.7861 \text{ N}}$$

Los materiales de la cinta transportadora y de la superficie donde se desliza son de Polivinilo PVC y de acero galvanizado respectivamente, Para hallar el coeficiente de fricción  $\mu_y$ , tomaremos en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 9.

## Coeficiente de fricción del acero con algunos materiales

Características mecánicas	PTFE	PE	PE	PVC
	Algoflon	APM	UHMW	Polivinilo
Coeficiente de fricción con el acero	0,1	0,32	0,3	<b>0,42</b>

Fuente: (EuroFlon S.A, 2015)

$$\mu_y = 0.42$$

Se halla la fuerza generada por la carga, aquí consideraremos al igual que en el módulo didáctico 2, la masa de 2 botellas llenas, y la masa de la cinta en función del area de las botellas. Como se menciono anteriormente, las botellas tienen un diámetro de 52mm, por lo que tenemos:

$$Area_{botella} = \frac{\pi \times (D_{botella})^2}{4} \quad (\text{Ecu. 3.21})$$

$$Area_{botella} = \frac{\pi * (0.052 \text{ m})^2}{4}$$

$$Area_{botella} = 2.1237 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

La masa de la cinta interviniente se la considera en las 2 botellas, por lo que sería:

$$masa_{cinta} = 2 \times (masa_{cinta/m^2} \times Area) \quad (\text{Ecu. 3.22})$$

$$masa_{cinta} = 2 \times (2.3 \text{ Kg}/\text{m}^2 \times 2.1237 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$masa_{cinta} = 9.769 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

La masa total de la carga sería:

$$W_{carga} = masa_{cinta} + 2 \times masa_{botella} \quad (\text{Ecu. 3.23})$$

La masa de cada botella llena es de 150 gr, con lo que se tiene lo siguiente:

$$W_{carga} = 9.769 \times 10^{-3} \text{ Kg} + 2 \times 0.150 \text{ Kg}$$

$$W_{carga} = 0.309769 \text{ Kg}$$

Se calcula el peso en [N]:

$$W_{carga} = 0.309769 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_{carga} = 3.0388 \text{ N}$$

La fuerza  $T_y$  sería entonces:

$$T_y = \mu_y \times W_{carga}$$

$$T_y = 0.42 \times 3.0388 \text{ N}$$

$$T_y = 1.2763 \text{ N}$$

De esta manera podemos hallar la fuerza efectiva total en la banda, que sería:

$$T_e = T_x + T_y \quad (\text{Ecu. 3.17})$$

$$T_e = 0.7861 \text{ N} + 1.2763 \text{ N}$$

$$T_e = 2.0624 \text{ N}$$

Para el calculo de la tensión de lado flojo, nuestra constante será la misma de la banda del módulo didáctico 1 debido a que poseen el mismo coeficiente de rozamiento entre la banda y los rodillos, y además los rodillos de cada lado poseen el mismo diámetro por lo que el ángulo de contacto será también de  $180^\circ$ . El valor de la constante de transmisión será:

$$K = 1.293$$

Una vez obtenido el valor de la constante de transmisión 'K', se calcula la tensión de lado flojo:

$$T_{lf} = K \times T_e \quad (\text{Ecu. 3.24})$$

$$T_{lf} = 1.293 \times 2.0624 \text{ N}$$

$$T_{lf} = 2.667 \text{ N}$$

Una vez halladas la tensión efectiva total y la tensión de lado flojo, podemos hallar la máxima tensión aplicada en la banda que será la suma de las dos tensiones.

$$T_{m\acute{a}x} = T_e + T_{lf} \quad (\text{Ecu. 3.26})$$

$$T_{m\acute{a}x} = 2.0624 \text{ N} + 2.667 \text{ N}$$

$$\mathbf{T_{m\acute{a}x} = 4.73 \text{ N}}$$

El valor impuesto para la velocidad del proceso será el mismo del módulo didáctico 2, el cual es el siguiente:

$$v_p = 12 \text{ cm/s}$$

La velocidad angular es por lo tanto:

$$\omega = 2 \times \frac{v_p}{D_{rodillo}} \quad (\text{Ecu. 3.00})$$

$$\omega = 2 \times \frac{12 \text{ cm/s}}{2.54 \text{ cm}}$$

$$\omega = \mathbf{9.4488 \frac{rad}{s}}$$

En revoluciones por minuto tenemos que es: 90.22 *RPM*, Acercándonos a un valor entero, nos impondremos que nuestra velocidad requerida para el motor del módulo 2 será de 90 *RPM* con una tolerancia de  $\pm 10$  *RPM*, Es decir que su rango estará entre los **80 a 100 *RPM***. La potencia del motor eléctrico que se requiere para el movimiento de la banda transportadora se la calcula de la siguiente manera.

$$Pot = T_{m\acute{a}x} \times v_p \quad (\text{Ecu. 3.28})$$

$$Pot = 4.73 \text{ N} \times 0.12 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{Pot = 0.568 \text{ W}}$$

Calculamos de igual manera el torque que necesitaremos:

$$Tor = \frac{T_{m\acute{a}x} \times D_{rodillo}}{2} \quad (\text{Ecu. 3.29})$$

$$Tor = \frac{4.73 \text{ N} \times 25.4 \text{ mm}}{2}$$

$$\mathbf{Tor = 60.06 \text{ Nmm}}$$

Con estos valores obtenidos mediante los cálculos, se selecciona un motor eléctrico DC con caja reductora de velocidad incorporada debido a que la mayoría de motores DC poseen altas velocidades pero bajos torques. El motor seleccionado para el módulo 2 proviene de la marca *Metal Gearmotor*, el cual incorpora una caja reductora y posee las siguientes características técnicas:

**Tabla 10.**

**Datos Técnicos del motor seleccionado**

Especificaciones generales	
<b>Velocidad de Salida:</b>	100 [RPM]
<b>Voltaje DC:</b>	12 [V]
<b>Corriente de Eje Libre:</b>	300 [mA]
<b>Corriente Nominal:</b>	1.36 [A]
<b>Potencia:</b>	16.32 [W]
<b>Torque:</b>	1554 [Nmm]
<b>Diámetro del eje:</b>	6 [mm]

Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)



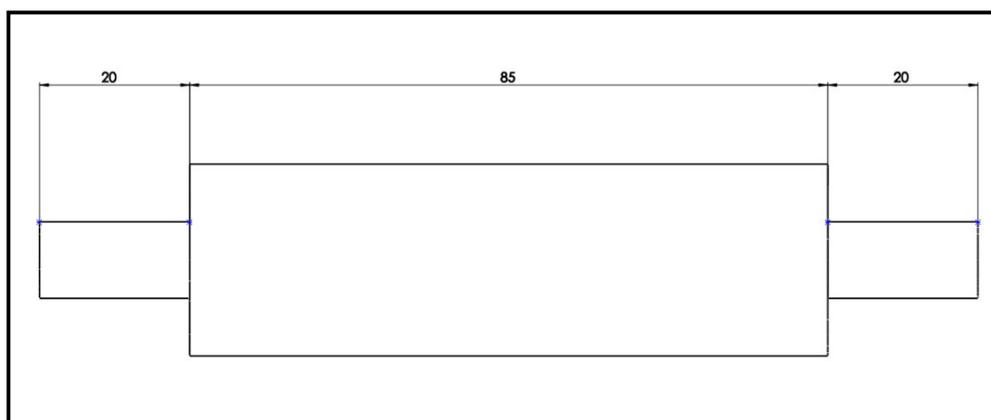
**Figura 61. Motor Eléctrico a Utilizar**

**Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)**

La selección del motor se basó fundamentalmente en la velocidad requerida debido a que se necesitan velocidades entre los 80 a 100 RPM. Los parámetros de potencia y torque también fueron tomados en cuenta para la selección verificando que el motor posea valores superiores a los mínimos calculados.

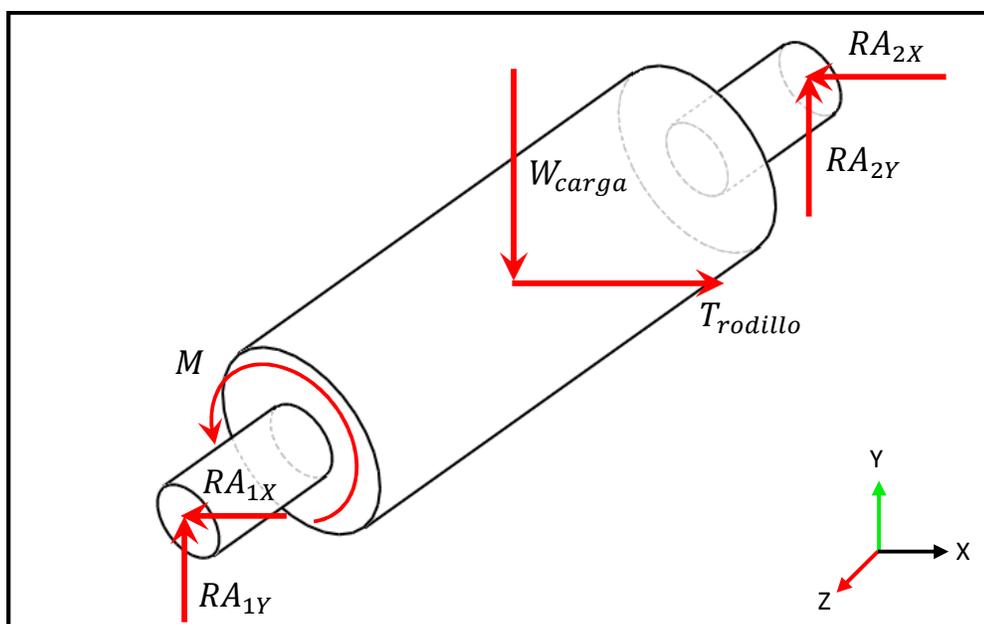
### Rodillos para la banda transportadora

Basándonos en el ancho de la cinta transportadora e imponiéndonos el largo en sus apoyos de 20 mm por cuestiones de diseño, la longitud total del rodillo es:



**Figura 62. Dimensiones Longitudinales del Rodillo**

Para analizar las reacciones en los apoyos realizamos el siguiente diagrama de cuerpo libre, en el cual consideraremos las fuerzas máximas aplicadas sobre el rodillo tanto por la tensión de la banda en el eje X como por el peso generado por la carga en el eje Y.



**Figura 63. Distribución de Fuerzas a través del Rodillo**

La tensión  $T$  en el rodillo sería la siguiente:

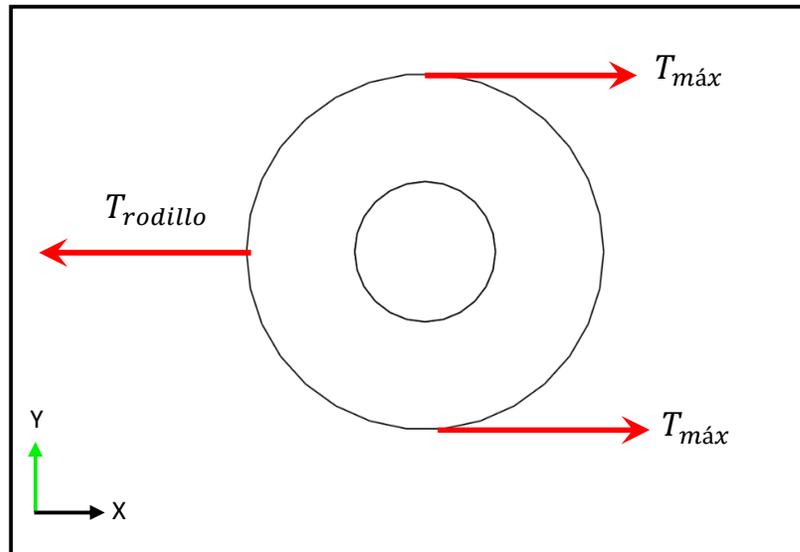


Figura 64. Diagrama de Tensiones en el Rodillo en el plano X-Y

$$\sum F_x = 0$$

$$T_{rodillo} - 2 \times T_{m\acute{a}x} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.30})$$

$$T_{rodillo} = 2 \times 4.73 \text{ N}$$

$$T_{rodillo} = 9.46 \text{ N}$$

El peso de la carga ya se calculó y es igual a  $W_{carga} = 3.0388 \text{ N}$ , Se analiza las cargas del rodillo en el plano Y-Z, aquí se considerará la fuerza total ejercida del peso de la carga en el punto medio del rodillo.

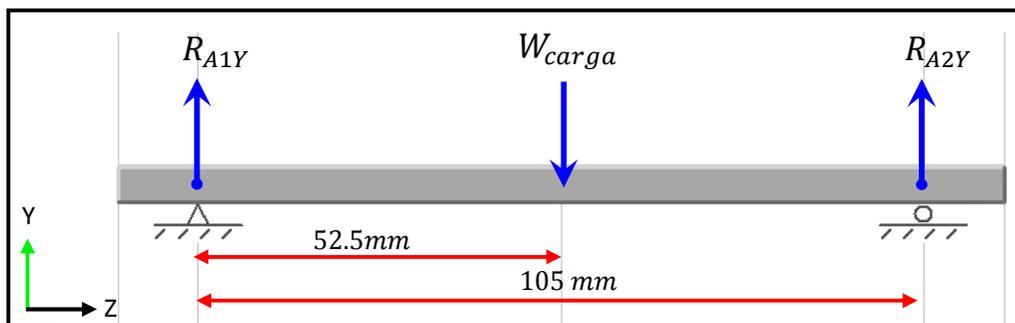


Figura 65. Distribución de Fuerzas en el plano Y-Z

$$\sum M_{A1} = 0 \quad (+)$$

$$W_{carga} \times 52.5 \text{ mm} - R_{A2Y} \times 105 \text{ mm} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.43})$$

$$R_{A2Y} = \frac{W_{carga} \times 52.5 \text{ mm}}{105 \text{ mm}}$$

$$R_{A2Y} = \frac{3.0388 \text{ N} \times 52.5 \text{ mm}}{105 \text{ mm}}$$

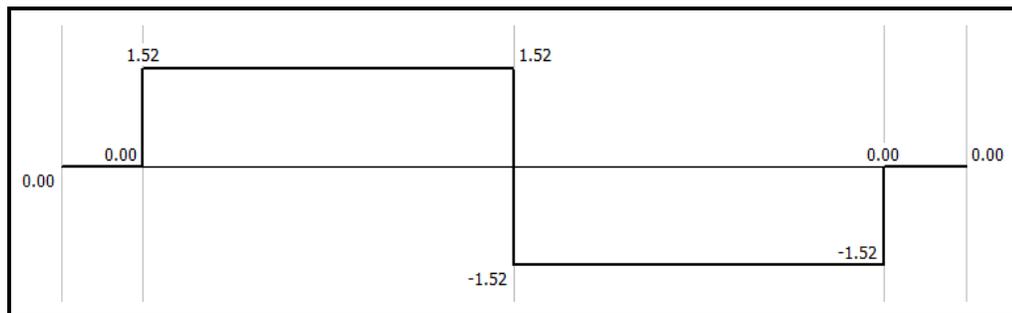
$$R_{A2Y} = 1.52 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{A1Y} + R_{A2Y} - W_{CARGA} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.44})$$

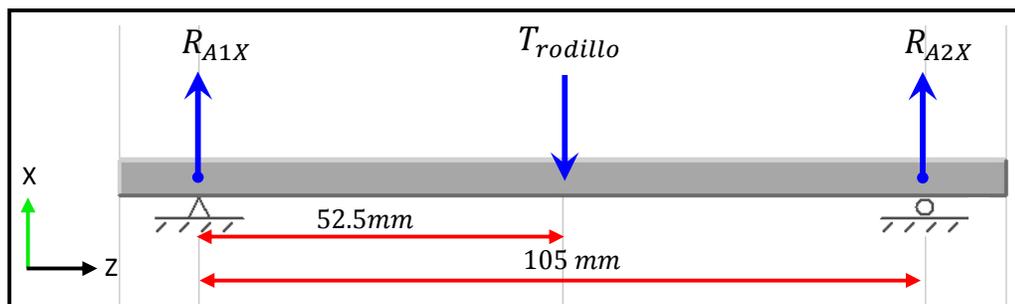
$$R_{A1Y} = 3.0388 \text{ N} - 1.52 \text{ N}$$

$$R_{A1Y} = 1.52 \text{ N}$$



**Figura 66. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z**

Se analiza las cargas del rodillo en el plano X-Z, aquí se considerará la tensión en el rodillo producto de la tensión máxima que experimenta la banda.



**Figura 67. Distribución de Fuerzas en el plano X-Z**

$$\sum M_{A1} = 0 \quad (+)$$

$$T_{rodillo} \times 52.5 \text{ mm} - R_{A2X} \times 105 \text{ mm} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.45})$$

$$R_{A2X} = \frac{9.46 \text{ N} * 52.5 \text{ mm}}{105 \text{ mm}}$$

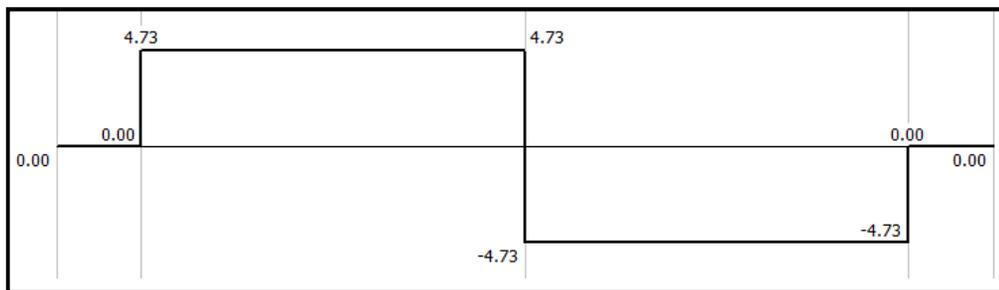
$$R_{A2X} = 4.73 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{A1X} + R_{A2X} - T_{rodillo} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.46})$$

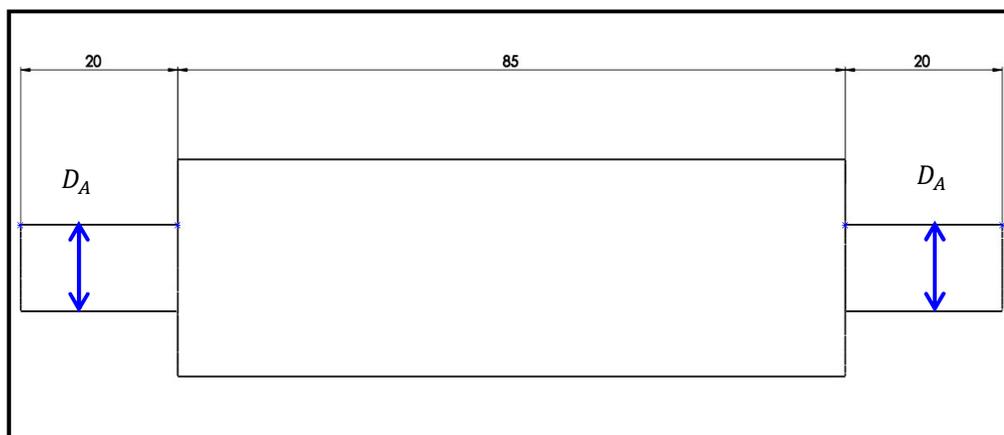
$$R_{A1X} = 9.46 \text{ N} - 4.73 \text{ N}$$

$$R_{A1X} = 4.73 \text{ N}$$



**Figura 68. Diagrama de Fuerzas en el plano Y-Z**

Una vez calculada las fuerzas en sus apoyos, se calcula el diámetro mínimo de los apoyos del rodillo:



**Figura 69. Dimensiones Longitudinales del Rodillo**

$D_A =$  Diámetro de los apoyos del rodillo

Calculamos la reacción total aplicada en los apoyos:

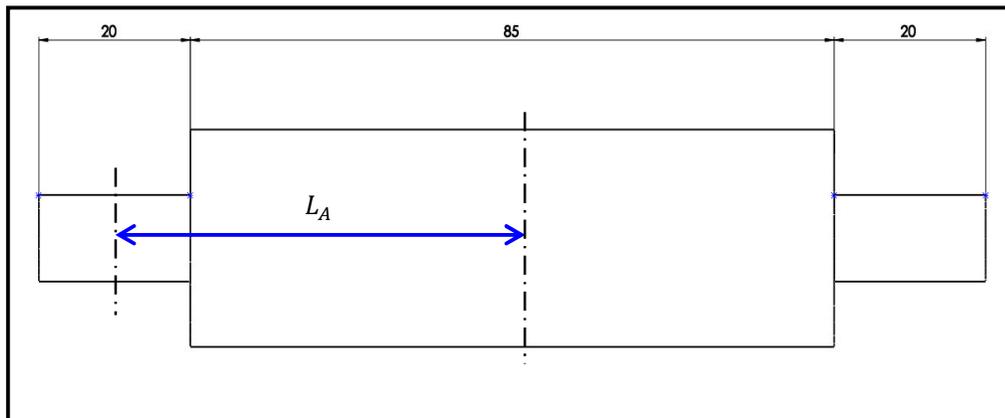
$$R_{A1} = \sqrt{R_{A1X}^2 + R_{A1Y}^2} \quad (\text{Ecu. 3.35})$$

$$R_{A1} = \sqrt{4.73^2 + 1.52^2}$$

$$R_{A1} = 4.97 \text{ N}$$

La Reacción en  $A_2$  es igual a la reacción en  $A_1$  debido a que se encuentran a la misma distancia de las fuerzas que intervienen en el rodillo.

Se halla el momento flexionante máximo:



**Figura 70. Distancia del apoyo hacia el centro del cilindro**

$$L_A = \frac{20}{2} \text{ mm} + \frac{85}{2} \text{ mm}$$

$$L_A = 52.5 \text{ mm}$$

Se tiene lo siguiente:

$$M_f = R_{A1} \times L_A$$

$$M_f = 4.97 \text{ N} \times 52.5 \text{ mm}$$

$$M_f = 260.93 \text{ Nmm}$$

El material del que está constituido el rodillo es de acero ASTM A36. Para el cálculo del diámetro, partiremos de la teoría del esfuerzo cortante máximo

(Budynas, 2012 p.211). El límite de fluencia para el Acero ASTM A36 es 36 KPSI, con lo que se tiene:

$$S_y = 248.211 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad impuesto es de 2; con lo que se tiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2n} \quad (\text{Ecu. 3.37})$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{248.211 \text{ MPa}}{2(2)}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \mathbf{62.0528 \text{ MPa}}$$

Se calcula el esfuerzo normal:

$$\sigma_x = \frac{32M_f}{\pi D_A^3} \quad (\text{Ecu. 3.40})$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 260.93 \text{ Nmm}}{\pi D_A^3}$$

$$\sigma_x = \frac{2657.81 \text{ Nmm}}{D_A^3}$$

Se calcula esfuerzo cortante:

$$\tau_{xy} = \frac{16T_{or_{motor}}}{\pi D_A^3} \quad (\text{Ecu. 3.42})$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times 1554 \text{ Nmm}}{\pi D_A^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3}$$

Se reemplaza los esfuerzos normales y cortantes en la fórmula del esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ecu. 3.38})$$

$$\tau_{\text{máx}} = \left[ \left( \frac{2740.82 \text{ Nmm}}{2 * D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$62.0528 \text{ MPa} = \left[ \left( \frac{2657.81 \text{ Nmm}}{2 * D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$(62.0528 \text{ MPa})^2 = \left( \frac{1328.91 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2 + \left( \frac{7914.46 \text{ Nmm}}{D_A^3} \right)^2$$

$$(62.0528 \text{ MPa})^2 = \frac{(1328.91 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{D_A^6}$$

$$D_A^6 = \frac{(1328.91 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{(62.0528 \text{ MPa})^2}$$

$$Da = \left[ \frac{(1328.91 \text{ Nmm})^2 + (7914.46 \text{ Nmm})^2}{(62.0528 \text{ N/mm}^2)^2} \right]^{1/6}$$

$$\mathbf{Da = 5.06 \text{ mm}}$$

El diámetro mínimo para los apoyos de los rodillos en el módulo didáctico 2 es de 5.06 mm.

### 3.2.3. Sistema Dosificador de Sólidos

Para el diseño de sistema empezaremos escogiendo el material a ser dosificado, en este caso el azúcar vendría a ser la opción óptima debido a sus características favorables para la aplicación en el proceso.

**Tabla 11.**

#### Productos Agrícolas

PRODUCTO	Kg/m <sup>3</sup>
Avena	450
Azúcar	850
Cebada	650
Harina y salvado	500
Sal	1000
Trigo, frijoles, arroz	750

Fuente: (Sen Nutrición, 2015)

El azúcar posee un grano fino además de no compactarse con tanta facilidad como otros productos, de manera que al ubicar el material en la tolva pueda conducirse a través del embudo de la tolva con facilidad y precisión al momento del llenado de las botellas plásticas.

### 3.2.3.1. Diseño de la tolva

Con los datos planteados procedemos a igualar volúmenes, el primer volumen es con respecto a la geometría del silo (cilíndrico) y el segundo volumen se calcula mediante el espacio que utilizará el contenido, de esta forma se puede hallar la altura que tendrá el silo que estamos diseñando según los requerimientos planteados.

$$V = A \times h = \frac{m}{\delta} \quad (\text{Ecu. 3.39})$$

En donde:

$$\delta = \text{Densidad del material (para el azúcar } 850 \text{ Kg}/\text{m}^3)$$

$$m = \text{Masa del material – Aproximadamente } 2\text{Kg}$$

$$V = \text{Volumen del Silo}$$

$$A = \text{Área del Silo } (\pi \times r^2); r \text{ para el silo igual a } 7\text{cm}$$

Con lo que se tiene lo siguiente:

$$\pi \times r^2 \times h = \frac{m}{\delta}$$

$$h = \frac{m}{\delta \times \pi \times r^2}$$

$$h = \frac{2 \text{ Kg}}{850 \text{ Kg}/\text{m}^3 \times \pi \times (0.07\text{m})^2}$$

$$h = 0.15 \text{ m} \rightarrow \mathbf{15\text{cm}}$$

Finalmente se obtienen mediante el diseño las dimensiones de nuestra tolva, las cuales serán 14 cm de diámetro y 15 cm de altura.

Una vez determinadas las dimensiones del silo, calcularemos el espesor de la lámina necesario para que pueda soportar las presiones requeridas, cabe recalcar que el silo será de acero inoxidable ya que se encontrará en contacto directo con alimentos, por lo cual tenemos que:

$$e = \frac{T}{10 \times \sigma_{adm}} \quad (\text{Ecu. 3.40})$$

En donde:

$e =$  espesor de la chapa del silo

$T =$  Tracción en Kgf/cm

$\sigma_{adm} =$  Esfuerzo de tracción admisible

Se halla la tracción en Kgf/cm:

$$T = \frac{P \times D}{2} \quad (\text{Ecu. 3.41})$$

En donde:

$P =$  Presión lateral  $(1200 \text{ Kgf/cm}^2)$

$D =$  Diámetro del silo

La presión lateral se determinó mediante los datos obtenidos en software CAD, donde se aplica la carga, en nuestro caso el peso del azúcar.

$$T = \frac{1200 \text{ Kgf/cm}^2 \times 14 \text{ cm}}{2}$$

$$T = 8400 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}} \rightarrow 8232 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Se halla también, el esfuerzo admisible para el silo con un factor de seguridad igual a 2, El silo está fabricado en acero inoxidable AISI 304 con el siguiente límite de fluencia  $S_y = 310\text{MPa}$  (SAE Handbook, 186, p215):

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{310}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 155 \text{ MPa} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$e = \frac{T}{100 \times \sigma_{adm}}$$

$$e = \frac{8232 \frac{N}{\text{mm}}}{100 \times 155 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$e = 0.53 \text{ mm}$$

El espesor mínimo que deberá tener la tolva es 0.53mm. Por cuestión de diseño utilizaremos un espesor de 1mm.

### Tabla 12.

Tabla de diseño de tolvas

Ángulo de talud natural y coeficiente de frotamiento en las paredes		
Material ensilada	Angulo de talud natural	Coeficiente de frotamiento
Azúcar	24° a 26°	0.394 a 0.601

Las tolvas se caracterizan por tener en su salida un diámetro menor por el cual saldrá el elemento a dosificar. Este diámetro depende del ángulo de caída que tenga la tolva. Para nuestro sistema de dosificación, el ángulo será de 25°.

#### 3.2.3.2. Diseño CAD de las deformaciones del Sistema.

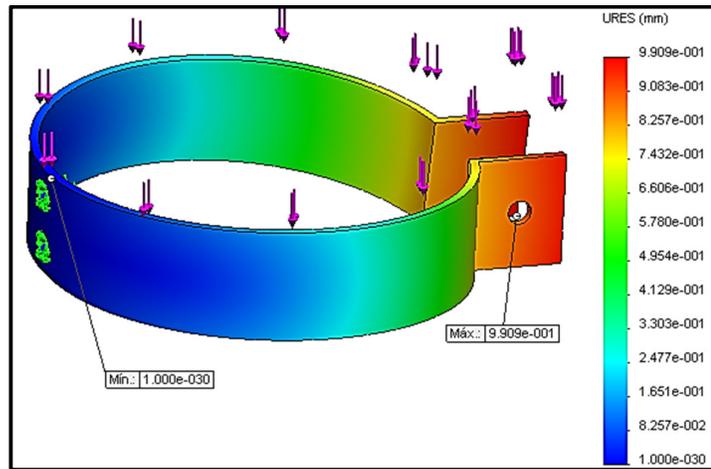
El análisis de las deformaciones estará dividido en dos secciones las cuales son el soporte de la tolva y la barra de la tolva.

Para determinar la deformación máxima que tendrá el soporte de la tolva se debe tener en cuenta las cargas que estarán en acción con dicho elemento entre ellas están:

$$\text{Peso de azúcar} = 2\text{Kgf} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 19.6 \text{ N}$$

$$\text{Peso de la tolva} = 1.2\text{Kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 11.76 \text{ N}$$

$$\text{Peso total} = 11.76 \text{ N} + 19.6 \text{ N} = 31.36 \text{ N}$$



**Figura 71. Deformación soporte tolva**

La simulación nos indica que el soporte de la tolva con las especificaciones calculadas tendrá una deformación máxima de 0.99 mm.

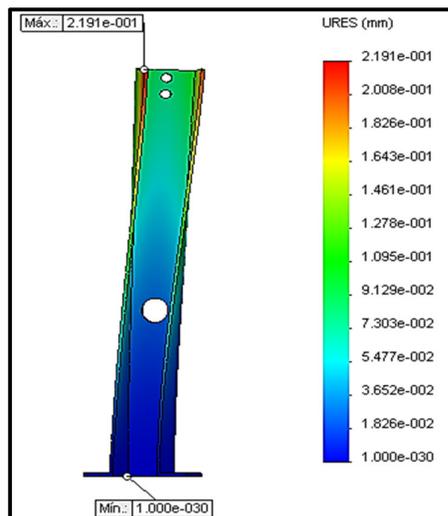
Para determinar la deformación máxima que tendrá la barra de la tolva se debe tener en cuenta las siguientes cargas:

$$\text{Peso de la tolva} = 11.76 \text{ N}$$

$$\text{Peso de azúcar} = 19.6 \text{ N}$$

$$\text{Peso del soporte de la tolva} = 0.4 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 3.92 \text{ N}$$

$$\text{Peso total} = 11.76 \text{ N} + 19.6 \text{ N} + 3.92 \text{ N} = 35.28 \text{ N}$$

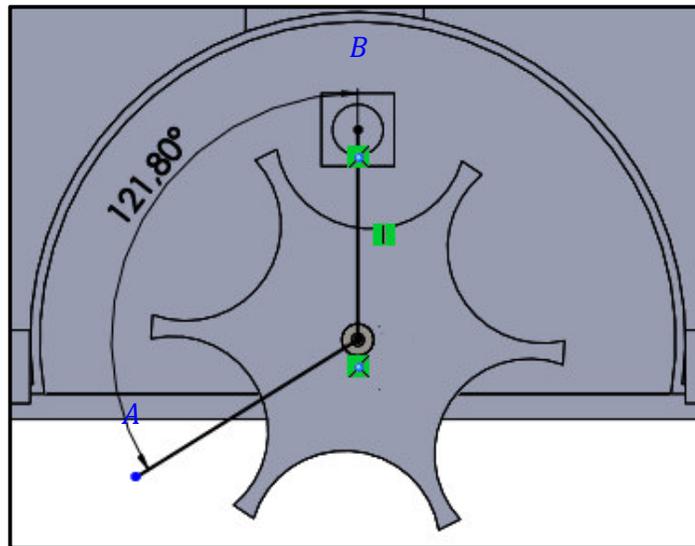


**Figura 72. Deformación barra tolva**

La simulación nos indica que la barra de la tolva con las especificaciones calculadas tendrá una deformación máxima de 0.22 mm

### 3.2.3.3. Diseño motor disco

Para el diseño del motor disco necesitamos saber la trayectoria en la que se moverá el envase desde el punto inicial hacia el punto de dosificado como se indica en la figura 73. El movimiento angular que realizará el envase deberá ser en aproximadamente 1 segundo.



**Figura 73. Ángulo trayectoria de dosificación**

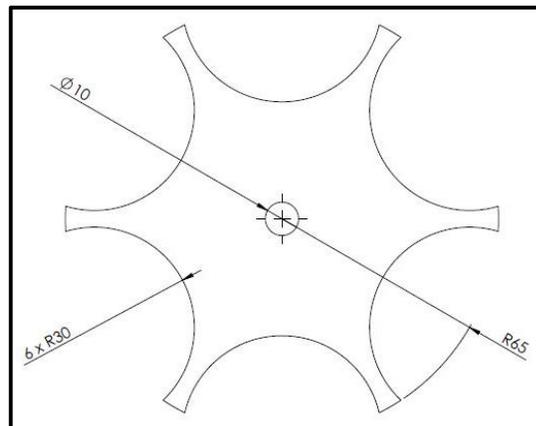
En base al ángulo de desplazamiento, calculamos la velocidad angular. Se espera que la botella se transporte en un segundo desde el punto A al punto B, con lo que se tiene lo siguiente:

$$\alpha = 121.8^\circ$$

$$\omega = 121.8^\circ \times \left| \frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ} \right| \times \left| \frac{1}{1 \text{ seg}} \right|$$

$$\omega = 2.13 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \rightarrow \omega = \mathbf{20.3 \text{ RPM}}$$

Una vez que determinamos el ángulo geoméricamente, procedemos a calcular la velocidad lineal que tendrá nuestro motor en base a la velocidad angular hallada y el diámetro del disco.



**Figura 74. Diámetro del disco rotatorio**

Se calcula entonces, la velocidad lineal:

$$V = \omega \times rd \quad (\text{Ecu. 3.42})$$

En donde:

$rd = \text{Radio del disco}$

$$V = 2.13 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0.065 \text{ m}$$

$$V = 0.14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A continuación hallamos la fuerza de fricción que debería vencer el disco para llevar un envase lleno de azúcar.

**Tabla 13.**

**Coefficiente de fricción del aluminio con algunos materiales**

Materiales en contacto	PTFE	PE	PE	PE
	Algoflon	APM	UHMW	Polietileno
<b>Coefficiente de fricción con el aluminio</b>	0,15	0,35	0,35	<b>0,40</b>

Fuente: (EuroFlon S.A, 2015)

$$\mu_s = 0.40$$

Con lo que se tiene lo siguiente:

$$Fr_{MÁXIMA} = W_{BOTELLA} \times \mu_s \quad (\text{Ecu. 3.43})$$

$$Fr_{MÁXIMA} = 1.47 N \times 0.40$$

$$Fr_{MÁXIMA} = \mathbf{0.588 N}$$

Se calcula la potencia y torque necesario para el motor.

Potencia:

$$P = Fr_{MÁXIMA} \times V \quad (\text{Ecu. 3.44})$$

$$P = 0.588 N \times 0.14 \frac{m}{s}$$

$$Pm = \mathbf{0.081 W}$$

Torque:

$$\text{Torque} = \frac{Pm}{\omega} \quad (\text{Ecu. 3.45})$$

$$\text{Torque} = \frac{0.081 W}{2.13 \frac{rad}{s}}$$

$$\text{Torque} = 0.04 Nm \rightarrow \mathbf{40 Nmm}$$

Seleccionamos el siguiente motor para el sistema de dosificación:

**Tabla 14.**

**Datos Técnicos del motor seleccionado**

Especificaciones generales	
<b>Velocidad de Salida:</b>	30 [RPM]
<b>Voltaje DC:</b>	12 [V]
<b>Corriente Nominal:</b>	0.45 [A]
<b>Potencia:</b>	5.5 [W]
<b>Torque:</b>	588 [Nmm]

Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)

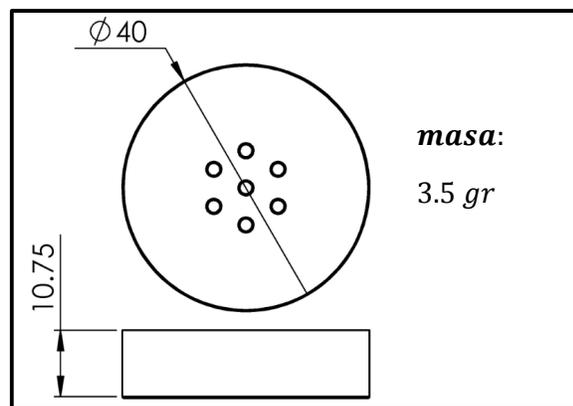
La selección del motor se basó fundamentalmente en la velocidad requerida, la cual es aproximadamente 20 RPM. Los parámetros de potencia y torque también fueron tomados en cuenta para la selección verificando que el motor posea valores superiores a los mínimos calculados.

### 3.2.4. Sistema de Tapado de Botellas

El sistema de tapado de botellas implementado en el proyecto está conformado por dos etapas. La primera será la zona en donde se recogerá la tapa, mientras que la segunda será la zona en donde un mecanismo compuesto por dos actuadores se encargará de enroscar la tapa en la botella.

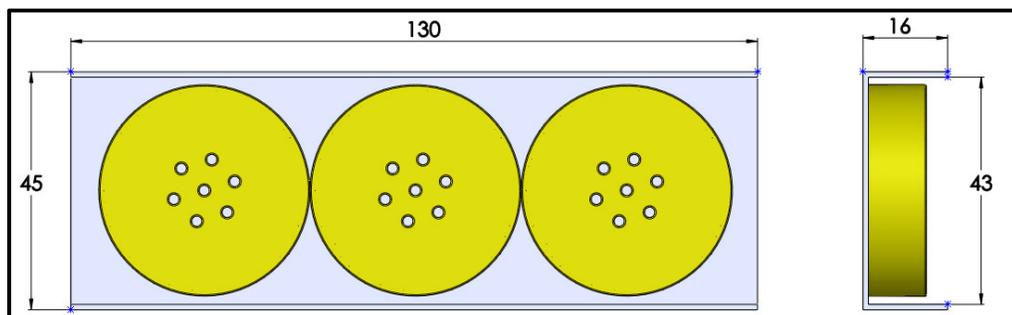
#### 3.2.4.1. Etapa 1. Mecanismo distribuidor de tapas.

El sistema encargado en la distribución de tapas fue diseñado basándose en las características físicas de una tapa. Las cuales son las siguientes:



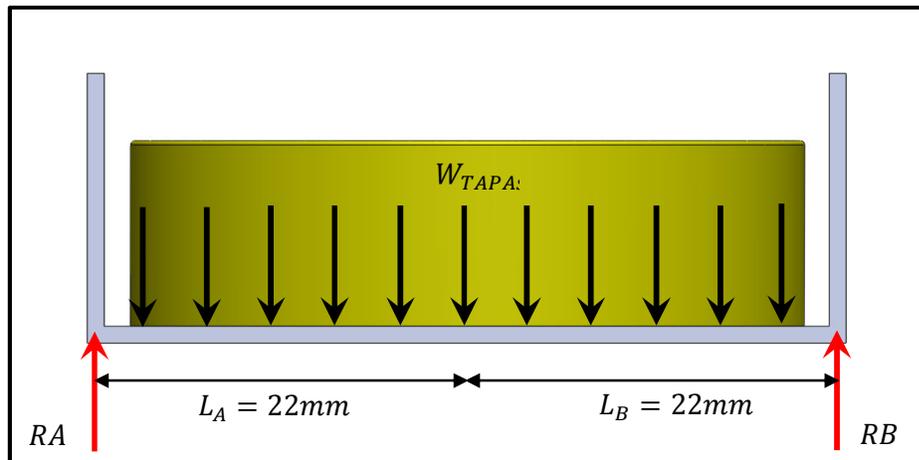
**Figura 75. Dimensiones Principales de la tapa**

Se requieren tener 3 tapas en el contenedor encargado de distribuir las, por lo que se lo diseño inicialmente de la siguiente manera; Se consideró una holgura de 3mm a 5mm en por cada dimensión:



**Figura 76. Dimensiones del Contenedor incorporado**

Se eligió un espesor para el contenedor de 1mm, ahora se analizará si este espesor ser el adecuado para soportar el peso de las tapas:



**Figura 77. Diagrama de Fuerzas en el Contenedor**

$$\sum M_A = 0 \quad (+)$$

$$3 \times (W_{TAPA}) \times 22 \text{ mm} - RB \times 44 \text{ mm} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.46})$$

$$RB = \frac{3 \times (0.0035 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2) \times 22 \text{ mm}}{44 \text{ mm}}$$

$$RB = 0.0515 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$RA + 0.0515 \text{ N} - 3 \times (0.0035 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2) = 0 \quad (\text{Ecu. 3.47})$$

$$RA = 0.1030 \text{ N} - 0.0515 \text{ N}$$

$$RA = 0.0515 \text{ N}$$

Hallamos el máximo momento flector en el contenedor, que va a ser igual a la reacción en sus apoyos multiplicada por su distancia al centro de elemento:

$$M_f = R_A \times L_A \quad (\text{Ecu. 3.36})$$

$$M_f = 0.0515 \text{ N} \times 22 \text{ mm}$$

$$M_f = 1.133 \text{ Nmm}$$

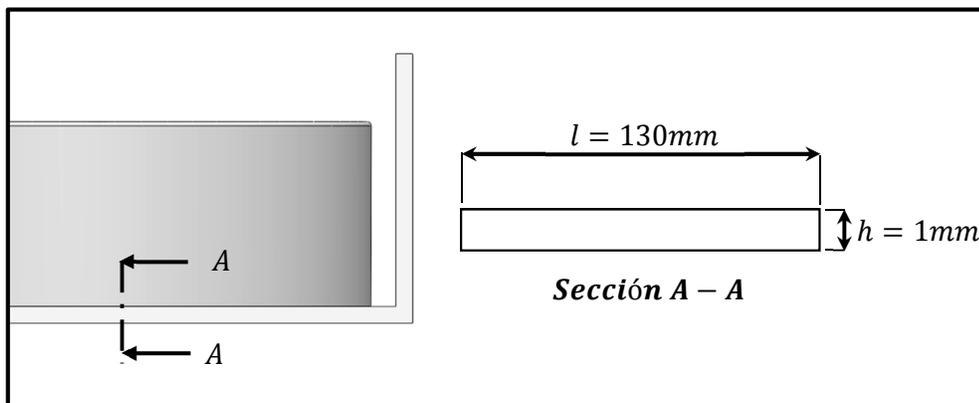
Una vez hallado el máximo momento flector aplicado, se procede a hallar el esfuerzo normal máximo en el contenedor:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_f \times c}{I} \quad (\text{Ecu. 3.7})$$

En donde:

$c$  = distancia a la mitad de la placa base del perfil

$I$  = Inercia de la sección transversal



**Figura 78. Sección transversal del Contenedor**

La distancia a la mitad de la placa base del contenedor es:

$$c = \frac{h}{2} = \frac{1 \text{ mm}}{2} = 0.5 \text{ mm}$$

La Inercia de la sección transversal rectangular es:

$$I = \frac{1}{12} \times l \times h^3 = \frac{1}{12} \times 130 \times 1^3 = 10.833 \text{ mm}^4$$

Se encuentra el esfuerzo máximo en base a la ecuación 3.7:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{(1.133 \text{ Nmm}) \times 0.5 \text{ mm}}{10.833 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.0523 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \mathbf{0.0523 \text{ MPa}}$$

Hallamos ahora, el esfuerzo admisible para el material utilizado. El factor de seguridad que usaremos será igual a 2 y además, se considerará como

material utilizado para la fabricación del contenedor el acero galvanizado debido a que este material es altamente resistente a la corrosión y su coeficiente de fricción es bajo en comparación a otros metales. El límite de fluencia del acero galvanizado es el siguiente:

$$S_y = 203.94 \text{ MPa} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Nuestro esfuerzo admisible será entonces:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{203.94 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = \mathbf{101.97 \text{ MPa}}$$

Como se puede apreciar, el esfuerzo máximo aplicado en el contenedor es muy bajo al esfuerzo admisible del mismo:

$$101.97 \text{ MPa} > 0.0523 \text{ MPa} \rightarrow \sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$$

Una vez diseñado el que vendría a ser el contenedor de las tapas, se analiza el ángulo de caída necesario para que las tapas puedan desplazarse sobre él. Este ángulo se lo establece bajo el criterio de diseño de tolvas (Linares, 2010), el cual nos dice que se lo debe hacer de forma experimental, proporcionándole de una inclinación cada vez mayor a la superficie por donde se va a desplazar la tapa hasta que la misma empiece a deslizarse fluidamente sobre la superficie, posteriormente al ángulo encontrado experimentalmente, se le suma  $15^\circ$  con el objetivo de poder garantizar su desplazamiento.

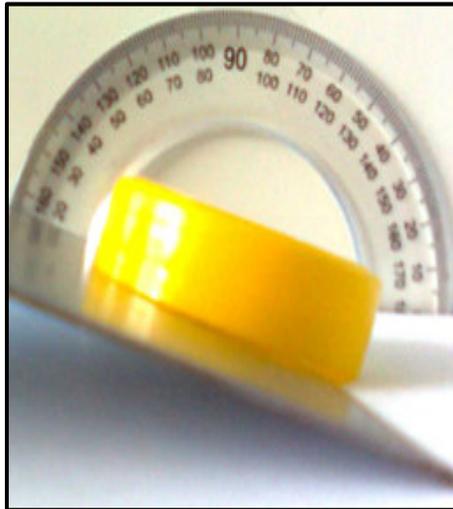
$$\alpha_u = \alpha_e + 15^\circ \quad (\text{Ecu. 3.48})$$

En donde:

$\alpha_u$  = *Ángulo Util de inclinación*

$\alpha_e$  = *Ángulo experimental de inclinación*

El método experimental se lo realizó con una lámina de acero galvanizado. Se obtuvo que el ángulo mínimo experimental al cual se desliza fluidamente la tapa es  $15^\circ$  aproximadamente.



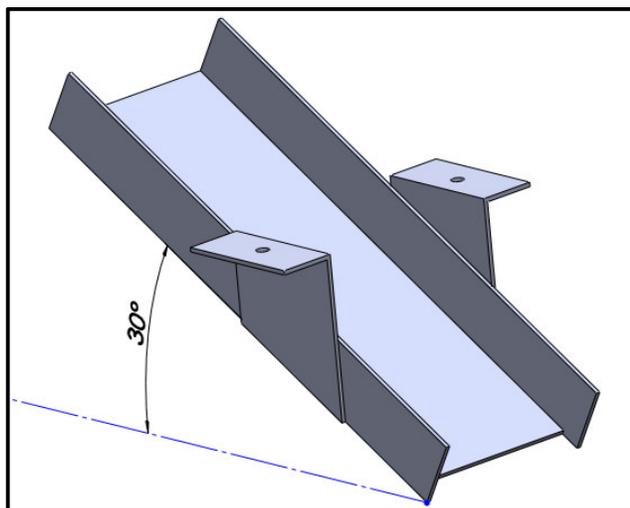
**Figura 79. Ángulo para el deslizamiento de la tapa**

Con lo que se tiene lo siguiente:

$$\alpha_u = \alpha_e + 15^\circ \quad (\text{Ecu. 3.48})$$

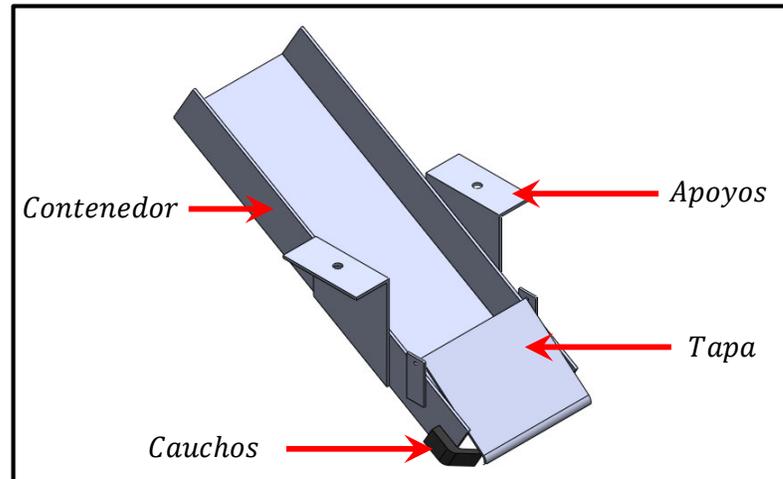
$$\alpha_u = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$$

El ángulo Útil de inclinación para el contenedor será de  $30^\circ$ , se diseñan los soportes que irán acoplados al contenedor de la siguiente manera:



**Figura 80. Contenedor de Tapas**

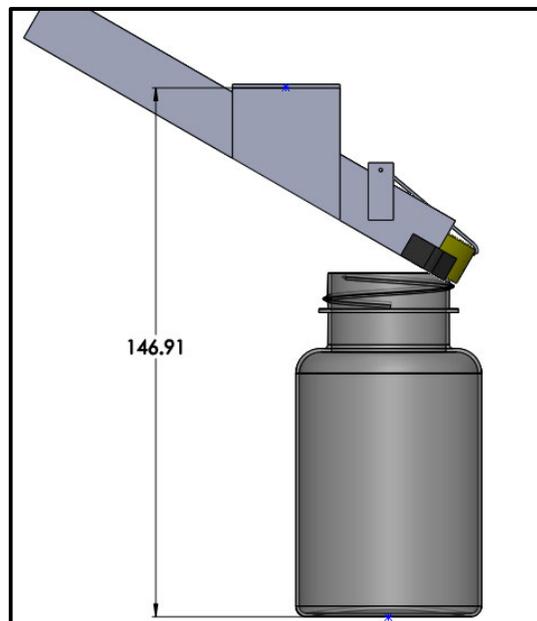
Se le adiciona además, de un par de cauchos en los extremos de la salida y una tapa con el fin de sostener a la tapa hasta que sea retirada por el envase, con lo cual, quedaría de la siguiente manera:



**Figura 81. Distribuidor de Tapas**

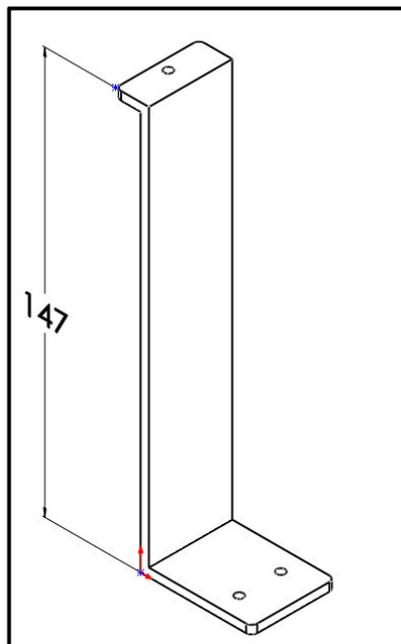
#### APOYOS DEL DISTRIBUIDOR DE TAPAS

El distribuidor de tapas estará apoyado sobre dos perfiles de aluminio de 3mm, como el resto de la estructura principal. Con la ayuda del Software CAD, se dimensiona la medida exacta que deberían tener los apoyos.



**Figura 82. Dimensionamiento de los apoyos**

Por ende, los apoyos deberán tener una altura de 147 mm. Se los diseña de la siguiente manera:



**Figura 83. Diseño CAD de los Apoyos**

Una vez realizado el diseño CAD y con todas las medidas definidas en cada apoyo, se realiza el análisis de cargas. Se utilizará para el mismo el caso común de columna de extremo libre – empotrado debido a que por la parte inferior la columna estará sujeta en los perfiles laterales de la estructura principal, mientras que en la parte superior se encontrará el dispensador de tapas. En este caso la longitud efectiva  $K$  será de 2.1, valor utilizado para casos prácticos (Mott, 2006, p. 234).

Se determina el radio de giro de nuestro apoyo (columna para este análisis):

$$r_y = \frac{\text{espesor}}{\sqrt{12}} \quad (\text{Ecu. 3.49})$$

$$r_y = \frac{3 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = \mathbf{0.866 \text{ mm}}$$

Se calcula la relación de esbeltez y la relación de esbeltez de transición mediante las siguientes fórmulas.

Relación de esbeltez:

$$Re = \frac{K \times L}{ry} \quad (\text{Ecu. 3.50})$$

En donde:

$Re$  = Relación de esbeltez

$L$  = Longitud de la columna (147 mm)

Relación de esbeltez de transición:

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}} \quad (\text{Ecu. 3.51})$$

En donde:

$Cc$  = Relación de esbeltez de transición

$E$  = Módulo Elástico del Aluminio

Aplicando las Formulas se tiene lo siguiente:

$$Re = \frac{2.1 \times 147 \text{ mm}}{0.866 \text{ mm}}$$

$$Re = 356.5$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 69 \text{ GPa}}{55.15 \text{ MPa}}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 69000 \text{ MPa}}{55.15 \text{ MPa}}}$$

$$Cc = 157.2$$

Debido a que la relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez de transición, se considera una columna larga. Por tanto se aplica la siguiente fórmula de Euler (Mott, 2006, p. 235):

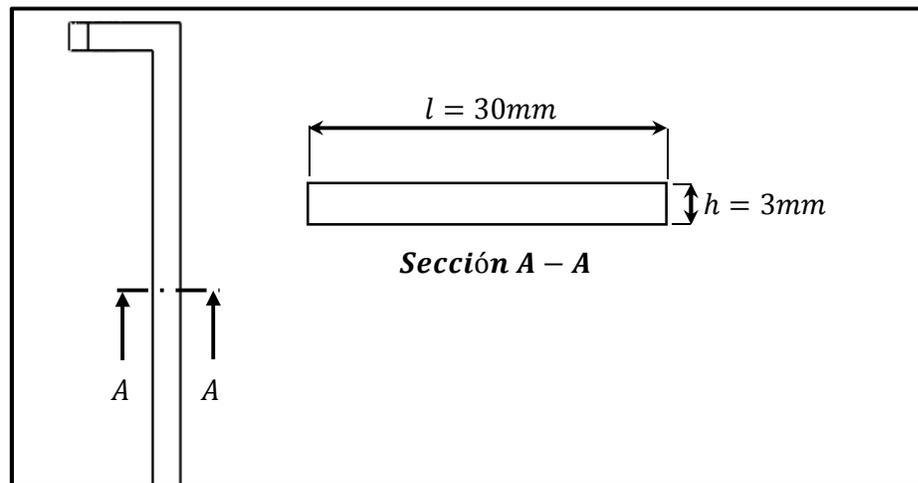
$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times E \times A}{(Re)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

En donde:

$W_{CR}$  = Carga crítica

$A$  = Área transversal de la columna

La sección transversal del apoyo es:



**Figura 84. Sección transversal del Apoyo**

Se calcula entonces la Carga crítica en los apoyos:

$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times 69 \text{ GPa} \times (30 \text{ mm} \times 3 \text{ mm})}{(356.5)^2}$$

$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times 69000 \text{ N/mm}^2 \times 90 \text{ mm}^2}{(356.5)^2}$$

$$W_{CR} = 482.25 \text{ N}$$

Al ser dos columnas en cada extremo del dispensador, la carga crítica total será:

$$W_{CR\text{TOTAL}} = W_{CR} \times N \quad (\text{Ecu. 3.53})$$

En donde:

$N$  = número de Columnas

Con lo que se tiene que:

$$W_{CR TOTAL} = 482.25 N \times 2$$

$$W_{CR TOTAL} = 964.5 N$$

La carga total aplicado en los apoyos será igual al peso de 3 tapas y el peso total del contenedor:

$$W_{TOTAL} = 3 \times W_{TAPA} + W_{DISPENSADOR} \quad (\text{Ecu. 3.54})$$

$$W_{TOTAL} = 3 \times \left( 0.0035 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{N}{m^2} \right) + \left( 0.113 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{N}{m^2} \right)$$

$$W_{TOTAL} = 1.22 N$$

$$W_{CR TOTAL} > W_{TOTAL} \quad \rightarrow \quad 964.5 N > 1.22 N$$

Como se puede observar, la carga total aplicada en los apoyos será muy inferior a la carga crítica que soportarían.

### 3.2.8.2. Etapa 2. Enroscado de Tapas.

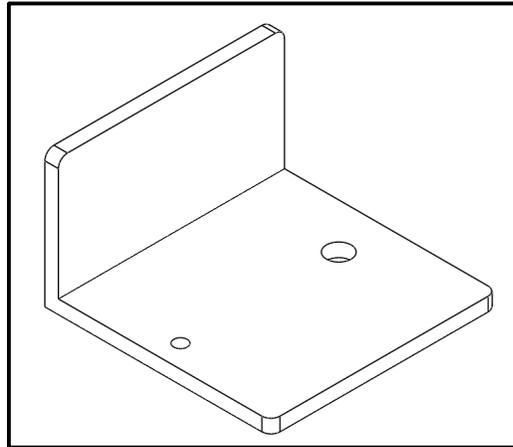
La siguiente etapa en analizar, será la el enroscado de las tapas en cada uno de los envases. Para este punto es importante tener en cuenta que tipo de actuadores se usarán para dicha función.

Se consideró dentro del diseño, 3 actuadores que permitirán realizar esta actividad:

- Se tendrá un cilindro de simple efecto encargado de mantener en la posición adecuada al envase.
- Se tendrá un cilindro de doble efecto encargado de ejercer una presión axial sobre la tapa de la botella, para que de este modo la tapa se vea forzada a introducirse en el cuello de la botella.
- Se tendrá también un motor eléctrico DC acoplado al vástago del cilindro doble efecto, encargado de proporcionar un movimiento rotacional a la tapa con el fin de que está se vaya enroscando mientras el piston de doble efecto ejerce presión sobre la misma.

## CILINDRO DE SUJECIÓN

Para el cilindro de sujeción se consideró un diseño del agarre tipo L, con el fin de empujar y sostener al envase. El diseño de este agarre se lo hizo de la siguiente manera:



**Figura 85. Agarre Tipo L para la sujeción**

La masa total del agarre fabricado en aluminio 6061 es la siguiente:

Mass = 30.91 grams
Volume = 11447.57 cubic millimeters
Surface area = 8463.40 square millimeters

**Figura 86. Propiedades físicas del Agarre tipo L**

Se calcula la fuerza mínima requerida en el cilindro en función de los pesos que deberá desplazar:

$$F_{REQUERIDA} = W_{AGARRE} + W_{BOTELLA} \quad (\text{Ecu. 3.55})$$

$$F_{REQUERIDA} = (0.0309 + 0.150) \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{REQUERIDA} = 1.77 \text{ N}$$

Una vez hallada la fuerza requerida, se calcula el diámetro necesario para el cilindro teniendo en cuenta que se necesitará una carrera de 50 mm del vástago por cuestiones de diseño, se debe considerar también, la presión  $P$  que nos suministrará el compresor, la cual es igual a 4 bar.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F_{REQUERIDA}}{\pi \times P}} \quad (\text{Ecu. 3.56})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1.77 \text{ N}}{\pi \times (4 \text{ bar})}}$$

$$D = \sqrt{\frac{7.0989 \text{ N}}{\pi \times (0.4 \text{ N/mm}^2)}}$$

$$D = 2.377 \text{ mm}$$

Como se puede observar, el diámetro del vástago resultaría bastante pequeño, por lo que se opta por uno comercial del menor diámetro posible y que cuente con la carrera necesaria.

**Tabla 15.**

**Propiedades Técnicas del Cilindro Simple Efecto**

Diámetro del Cilindro (mm)	Diámetro del Vástago (mm)	Presión de operación (MPa)	Empuje del Cilindro (N)	Carrera Estándar del Vástago (mm)	Tipo de acción
16	6	0.4	54.8	50	empuje

Fuente: (AIRTAC, 2015)

Se calcula ahora el consumo de aire del cilindro. Este consumo se lo determina está en función del volumen por ciclo de trabajo, el cual depende del volumen de salida total del vástago, con lo que se tiene lo siguiente:

$$V_{CILINDRO} = Area \times S \quad (\text{Ecu. 3.57})$$

En donde:

$$V_{CILINDRO} = \text{Volumen de salida total del vástago}$$

$$S = \text{Carrera estándar del vástago}$$

$$V_{CILINDRO} = \frac{\pi * (16 \text{ mm})^2}{4} \times 50 \text{ mm}$$

$$V_{CILINDRO} = 10053.1 \text{ mm}^3$$

El volumen por ciclo de trabajo se lo determina en función del tiempo que estará trabajando el cilindro, se asume que, dentro del sistema de tapado, la botella tomará un tiempo de 15 segundos por ciclo, con lo que se tiene lo siguiente:

$$n = \frac{1 \text{ ciclos}}{15 \text{ s}} \left| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right|$$

$$n = 4 \text{ ciclos/min}$$

Se calcula entonces el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON} = V_{CILINDRO} \times n \quad (\text{Ecu. 3.58})$$

$$Q_{CON} = 10053.1 \text{ mm}^3 \times 4 \text{ ciclos/min}$$

$$Q_{CON} = 40212.4 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$Q_{CON} = 40.212 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El consumo total del cilindro se lo calcula mediante la ley de Boyle – Mariotte, al cilindro se lo nombrará como 'cilindro simple efecto 4A' por lo que se tiene lo siguiente:

$$P_{ATM} \times Q_{4A} = P_{CON} \times Q_{CON} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

En donde:

$$P_{ATM} = \text{Presión Atmosférica}$$

$$Q_{4A} = \text{Consumo total del cilindro}$$

$$P_{CON} = \text{Presión de Operación} + \text{Presión Atmosférica}$$

$$Q_{CON} = \text{Consumo de Volumen de Aire por minuto}$$

Se procede a calcular el consumo total del cilindro:

$$Q_{4A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON}}{P_{ATM}}$$

$$Q_{4A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 40.212 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{4A} = 201.062 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{4A} = 0.2011 \text{ l}/\text{min}$$

Se analiza finalmente el consumo de aire en la manguera del cilindro simple efecto 4A en base a su longitud y a su diámetro, los cuales son 120 cm y ¼ de pulgada respectivamente, se obtiene primero el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON\_M} = V_{MANGUERA} * n \quad (\text{Ecu. 3.60})$$

$$Q_{CON\_M} = \left( 120 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 4 \text{ ciclos}/\text{min} = 152.01 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Finalmente se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_4A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}}$$

$$Q_{MAN\_4A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 152.01 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_4A} = 608.05 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{MAN\_4A} = 0.608 \text{ l}/\text{min}$$

### CILINDRO DE ROSCADO

El cilindro de roscado estará en posición vertical, se lo fijará en el extremo derecho de la estructura principal con la ayuda de una mesa de apoyo, por encima de la banda transportadora, con el fin de que su vástago se dirija de arriba hacia abajo hasta llegar a la parte superior de la botella, cuando esta, se encuentre ya en la posición adecuada.

Se utilizará un pistón de doble efecto debido a que se necesita tener una fuerza de igual magnitud tanto en el ciclo de subida como en el ciclo de bajada. En su vástago deberá estar acoplado un motor DC. Para este sistema se optó por un servomotor debido a que este tipo de actuador posee una caja reductora de velocidad capaz de generar un aumento significativo en el torque del motor.

La selección del servomotor se realizó en base al torque necesario para un ajuste correcto de la tapa. Para medir este torque, se necesitó hacer pruebas de manera experimental. Se acopló una tuerca en la parte superior de la tapa de la botella y con la ayuda de un torquímetro, se midió el par motor necesario para ajustarla.



**Figura 87. Pruebas experimentales para el ajuste de las tapas**

Se sostuvo el envase con la ayuda de una entenalla y se procedió a realizar varias pruebas experimentales con las cuales se pudo verificar el valor del torque, el cual resultó ser mucho menor al valor mínimo de la escala del torquímetro utilizado ( $1 \text{ Kg} - \text{m}$ ).

Adicionalmente, el servomotor que se necesitará implementar al vástago, deberá estar truncado, es decir, que su eje posea la capacidad de girar libremente tal cual como un motor DC. Contará también con un accesorio de caucho en su acople axial para poder darle una mayor adherencia en la tapa al momento de enroscarla en la botella. El servomotor seleccionado presenta las siguientes características:

Tabla 16.

## Catálogo del producto Servomotor HITEC HS-805 BB

DATOS TÉCNICOS	
Voltaje de Alimentación:	4.8 V – 6 V
Torque del Motor:	0.247 Kg – m
Peso del Motor:	152 gr
Modulación:	Análoga

Fuente: (HI-TEC, 2015)



Figura 88. Servomotor HITEC HS-805 BB

Fuente: (Servocity, 2015)

Ahora se procede a analizar algunas características necesarias para la selección del cilindro de doble efecto. El peso que actúa en el vástago del pistón se basa en el peso del motor más el acople de sujeción entre el motor y el cilindro. Este acople fabricado en aluminio 6061 de 3 mm de espesor posee la siguiente masa:

Mass = 121.99 grams
Volume = 45180.20 cubic millimeters
Surface area = 32111.04 square millimeters

Figura 89. Propiedades físicas del Acople de sujeción

Por lo que se tiene que la fuerza requerida en el cilindro es:

$$F_{REQUERIDA} = (0.152 + 0.122) \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{REQUERIDA} = 2.688 \text{ N}$$

El cilindro deberá tener una carrera de 25 mm, este desplazamiento es ideal para levantar y bajar el servomotor sin inconvenientes. Se obtiene el diámetro necesario del cilindro.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 2.688 \text{ N}}{\pi \times (4 \text{ bar})}}$$

$$D = \sqrt{\frac{10.7518 \text{ N}}{\pi \times (0.4 \text{ N/mm}^2)}}$$

$$D = 2.925 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro mínimo que debería poseer el pistón, la carrera necesaria y la fuerza requerida, se procede a elegir el cilindro de doble efecto adecuado para esta actividad, el cual es el siguiente:

**Tabla 17.**

**Propiedades Técnicas del Cilindro Doble Efecto**

Diámetro del Cilindro (mm)	Diámetro del Vástago (mm)	Presión de operación (MPa)	Empuje del Cilindro (N)	Carrera Estándar del Vástago (mm)	Tipo de acción
32	12	0.4	327.1	25	empuje

Fuente: (AIRTAC, 2015)

Se calcula ahora el consumo de aire del cilindro. Este consumo se lo determina está en función del volumen por ciclo de trabajo, el cual depende tanto del volumen de salida como del volumen de entrada del vástago. Se lo calcula de la siguiente manera:

Volumen de salida:

$$V_{SALIDA} = \frac{\pi \times (3.2 \text{ cm})^2}{4} \times 2.5 \text{ cm} = 20.106 \text{ cm}^3$$

Volumen de entrada:

$$V_{ENTRADA} = \frac{\pi \times (D_C^2 - D_V^2)}{4} \times S \quad (\text{Ecu. 3.61})$$

En donde:

$D_C = \text{Diámetro del Cilindro}$

$D_V = \text{Diámetro del Vástago}$

$S = \text{Carrera estándar del vástago}$

El volumen de entrada en un ciclo es:

$$V_{ENTRADA} = \frac{\pi \times (3.2^2 - 1.2^2) \text{cm}^2}{4} \times 2.5 \text{ cm} = 17.279 \text{ cm}^3$$

Ahora se calcula el volumen total necesario en el cilindro en un ciclo:

$$V_{CILINDRO} = V_{SALIDA} + V_{ENTRADA} \quad (\text{Ecu. 3.62})$$

$$V_{CILINDRO} = 20.106 \text{ cm}^3 + 17.279 \text{ cm}^3$$

$$V_{CILINDRO} = 37.385 \text{ cm}^3$$

Lo siguiente en determinar es el volumen de aire consumido por minuto, recordando que el ciclo de trabajo será el mismo del cilindro de sujeción; es decir:

$$n = 4 \text{ ciclos / min}$$

Se calcula entonces el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON} = V_{CILINDRO} \times n \quad (\text{Ecu. 3.58})$$

$$Q_{CON} = 37.385 \text{ cm}^3 \times 4 \text{ ciclos/min}$$

$$Q_{CON} = 149.54 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El consumo total del cilindro de doble efecto se lo calcula mediante la ley de Boyle – Mariotte, al cilindro se lo nombrará como 'cilindro doble efecto **6A**' por lo que se tiene lo siguiente:

$$P_{ATM} \times Q_{6A} = P_{CON} \times Q_{CON} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{6A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON}}{P_{ATM}}$$

$$Q_{6A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 149.54 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{6A} = 747.695 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{6A} = 0.7477 \text{ l}/\text{min}$$

Se analiza finalmente el consumo de aire en las mangueras del cilindro doble efecto 6A. Ambas poseen un diámetro de ¼ de pulgada; la manguera de salida cuenta con 78 cm de longitud mientras que la manguera de entrada cuenta con 80 cm de longitud, con lo que se tiene el siguiente consumo por minuto:

$$Q_{MANG\_SALIDA} = \left( 78 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 4 \text{ ciclos}/\text{min} = 98.81 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{MANG\_ENTRADA} = \left( 80 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 4 \text{ ciclos}/\text{min} = 101 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El volumen total de consumo por minuto en las mangueras es:

$$Q_{CON\_M} = Q_{MANG\_SALIDA} + Q_{MANG\_ENTRADA} \quad (\text{Ecu. 3.62})$$

$$Q_{CON\_M} = 98.81 \text{ cm}^3/\text{min} + 101.34 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{CON\_M} = 200.15 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Finalmente se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_6A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{MAN\_6A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 200.15 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_6A} = 800.6 \text{ cm}^3/\text{min}$$

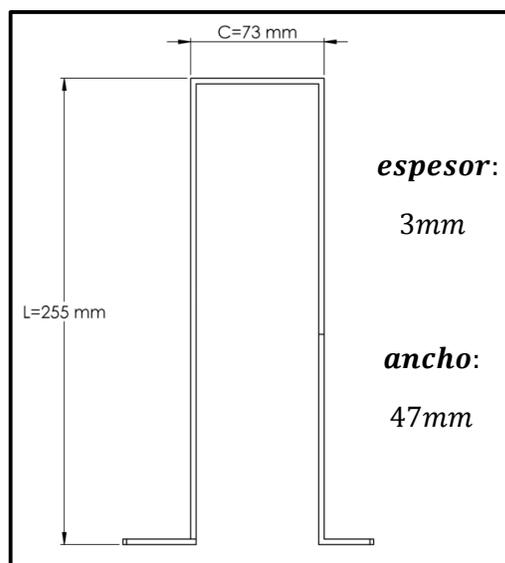
$$Q_{MAN\_6A} = 0.801 \text{ l}/\text{min}$$

La etapa de roscado necesita una mesa de apoyo para el cilindro de doble efecto, para esta mesa se usará hierro forjado AISI 304 con las siguientes propiedades (SAE Handbook, 1986, p. 217):

$$E = 190 \text{ GPa}$$

$$S_y = 206 \text{ MPa}$$

Se analiza a la mesa de apoyo como una columna con las siguientes dimensiones:



**Figura 90. Dimensiones de la mesa de apoyo**

Por cuestiones de diseño se considera como un caso de columna de extremo libre – empotrada debido a que por la parte inferior la columna estará sujeta en los perfiles laterales de la estructura principal, mientras que en la parte superior se encontrará el cilindro de roscado. En este caso la longitud efectiva  $K$  será de 2.1, valor utilizado para casos prácticos (Mott, 2006, p. 234).

Se determina el radio de giro de nuestro apoyo (columna para este análisis):

$$r_y = \frac{\text{espesor}}{\sqrt{12}} \quad (\text{Ecu. 3.49})$$

$$r_y = \frac{3 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = \mathbf{0.866 \text{ mm}}$$

Se calcula la relación de esbeltez y la relación de esbeltez de transición:

Relación de esbeltez:

$$Re = \frac{K \times L}{ry} \quad (\text{Ecu. 3.50})$$

$$Re = \frac{2.1 \times 255 \text{ mm}}{0.866 \text{ mm}}$$

$$Re = 618.34$$

Relación de esbeltez de transición:

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}} \quad (\text{Ecu. 3.51})$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 190 \text{ GPa}}{206 \text{ MPa}}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 190000 \text{ MPa}}{206 \text{ MPa}}}$$

$$Cc = 134.93$$

Debido a que la relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez de transición, se considera una columna larga. Por tanto se aplica la siguiente fórmula de Euler (Mott, 2006, p. 235):

$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times E \times A}{(Re)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times 190 \text{ GPa} \times (47 \text{ mm} \times 3 \text{ mm})}{(356.5)^2}$$

$$W_{CR} = \frac{\pi^2 \times 190000 \text{ N/mm}^2 \times 141 \text{ mm}^2}{(618.34)^2}$$

$$W_{CR} = 691.54 \text{ N}$$

La carga total aplicada en la mesa de apoyo será igual al peso del cilindro más el peso del servomotor y su respectivo acople, con lo que se tiene:

$$W_{TOTAL} = W_{CILINDRO} + W_{SERVOMOTOR} + W_{ACOPLE} \quad (\text{Ecu. 3.63})$$

$$W_{TOTAL} = (1.5 + 0.152 + 0.122)Kg \times 9.81 N/m^2$$

$$W_{TOTAL} = 17.40 N$$

$$W_{CR} > W_{TOTAL} \quad \rightarrow \quad 691.54 N > 17.40 N$$

Como se puede observar, la carga total aplicada en la mesa de apoyo es inferior a la carga crítica que soportaría.

### 3.2.5. Diseño Neumático.

El diseño neumático de las estaciones de trabajo se basará en el dimensionamiento adecuado de los actuadores neumáticos necesarios para realizar una determinada acción. Cada componente neumático que formará parte del sistema tendrá su propio consumo de aire por ciclo el cual deberá ser analizado con el fin de determinar el consumo de volumen total en cada módulo.

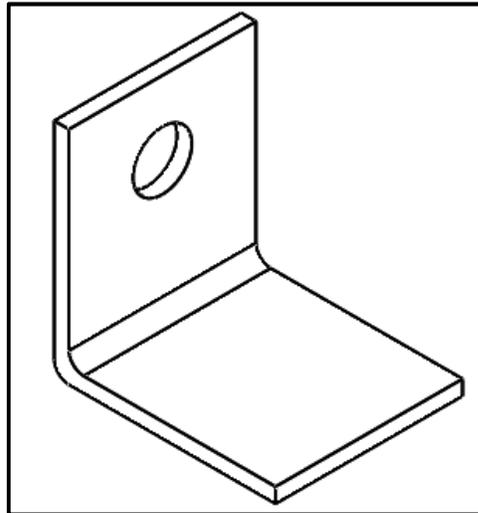
Para las estaciones de trabajo se pretende implementar cuatro cilindros neumáticos más a los ya implementados en la zona de tapado para que cumplan las siguientes funciones:

- Un cilindro de doble efecto para el control de la salida de azúcar desde la tolva.
- Tres cilindros de simple efecto para la clasificación de las botellas. En el módulo 1 se clasificarán las botellas en base a su nivel de llenado, mientras que en el módulo dos se las separarán de la línea de producción a las botellas que no cuenten con la tapa deseada.

#### CILINDRO DE CONTROL DE LA TOLVA.

Para el control del sistema de dosificación de sólidos en la tolva, se consideró un cilindro de doble efecto debido a que se necesita una misma

fuerza tanto para la entrada, como para la salida del pistón. Se empieza determinando el peso de pieza del tapado de la tolva el cual tiene una forma de 'L' para acoplarse a la boquilla como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 91. Pieza tapado de tolva**

El peso de este elemento es de 25.86 gramos. Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es la fuerza necesaria para vencer el peso total del contenido en la tolva. Para este análisis se utilizará la masa total de dicho contenido (2 Kg) con el objetivo de obtener una fuerza crítica. Con lo que se tiene que la fuerza requerida en el cilindro es:

$$F_{REQUERIDA} = (0.02586 + 2) \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{REQUERIDA} = 19.8737 \text{ N}$$

El cilindro deberá tener una carrera de 100 mm, este desplazamiento es ideal cubrir la boquilla de la tolva, así como para destaparla y permitir la dosificación de sólidos. Se obtiene el diámetro necesario del cilindro en base a la fuerza mínima requerida teniendo en cuenta que la alimentación del sistema será de 4 bares:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 19.8737 \text{ N}}{\pi \times (4 \text{ bar})}}$$

$$D = \sqrt{\frac{79.4948 \text{ N}}{\pi \times (0.4 \text{ N/mm}^2)}}$$

$$D = 7.9536 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro mínimo que debería tener el pistón, se procede a elegir el cilindro de doble efecto adecuado para esta actividad, el cual es el siguiente:

**Tabla 18.**

**Propiedades Técnicas del Cilindro Doble Efecto**

Diámetro del Cilindro (mm)	Diámetro del Vástago (mm)	Presión de operación (MPa)	Empuje del Cilindro (N)	Carrera Estándar del Vástago (mm)	Tipo de acción
32	12	0.4	327.1	100	empuje

Fuente: (AIRTAC, 2015)

Se calcula el consumo de aire del cilindro:

Volumen de salida:

$$V_{SALIDA} = \frac{\pi \times (3.2 \text{ cm})^2}{4} \times 10 \text{ cm} = 80.424 \text{ cm}^3$$

Volumen de entrada:

$$V_{ENTRADA} = \frac{\pi \times (3.2^2 - 1.2^2) \text{ cm}^2}{4} \times 10 \text{ cm} = 69.115 \text{ cm}^3$$

Ahora se calcula el volumen total necesario en un ciclo:

$$V_{CILINDRO} = V_{SALIDA} + V_{ENTRADA} \quad (\text{Ecu. 3.62})$$

$$V_{CILINDRO} = 80.424 \text{ cm}^3 + 69.115 \text{ cm}^3$$

$$V_{CILINDRO} = 149.54 \text{ cm}^3$$

Se procede a calcular el ciclo de funcionamiento del cilindro, el cual estará determinado en función de la cantidad de secuencias que se podrán realizar en un minuto. Se determinó que un envase será clasificado cada 20 segundos, por lo tanto los ciclos por minuto serán:

$$n = \frac{1 \text{ ciclos}}{20 \text{ s}} \left| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right|$$

$$n = 3 \text{ ciclos}/\text{min}$$

Se calcula, el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON} = V_{CILINDRO} \times n \quad (\text{Ecu. 3.58})$$

$$Q_{CON} = 149.54 \text{ cm}^3 \times 3 \text{ ciclos}/\text{min}$$

$$Q_{CON} = 448.62 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El consumo total del cilindro de doble efecto se lo calcula mediante la ley de Boyle – Mariotte, al cilindro se lo nombrará como 'cilindro doble efecto 1A';

$$P_{ATM} \times Q_{1A} = P_{CON} \times Q_{CON} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{1A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 448.62 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{1A} = 2243.1 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{1A} = 2.2431 \text{ l}/\text{min}$$

Se analiza finalmente el consumo de aire en las mangueras del cilindro doble efecto 1A. Ambas poseen un diámetro de ¼ de pulgada; la manguera de salida cuenta con 60 cm de longitud mientras que la manguera de entrada cuenta con 65 cm de longitud, con lo que se tiene el siguiente consumo por minuto:

$$Q_{MANG\_SALIDA} = \left( 60 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 3 \text{ ciclos}/\text{min} = 57.01 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{MANG\_ENTRADA} = \left( 65 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 3 \text{ ciclos}/\text{min} = 61.8 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El volumen total de consumo por minuto en las mangueras es:

$$Q_{CON\_M} = Q_{MANG\_SALIDA} + Q_{MANG\_ENTRADA} \quad (\text{Ecu. 3.62})$$

$$Q_{CON\_M} = 57.01 \text{ cm}^3/\text{min} + 61.75 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{CON\_M} = \mathbf{118.76 \text{ cm}^3/\text{min}}$$

Finalmente se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_1A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

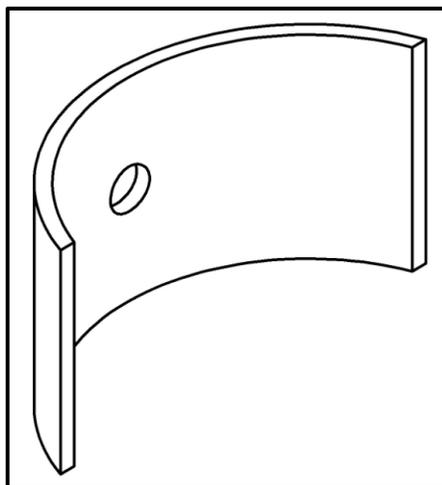
$$Q_{MAN\_1A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 118.76 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_1A} = 593.8 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$\mathbf{Q_{MAN\_1A} = 0.594 \text{ l}/\text{min}}$$

### CILINDROS DE SEPARADO (CLASIFICACIÓN).

Los cilindros que se ocuparán de las etapas de clasificación tanto para el módulo 1 como para el módulo 2 serán del mismo tipo debido a que deberán realizar el mismo trabajo. Se consideró un diseño del agarre tipo C, con el fin de empujar adecuadamente el envase:



**Figura 92. Agarre Tipo C para el empuje**

La masa total del agarre fabricado en aluminio 6061 es la siguiente:

Mass = 16.05 grams
Volume = 5944.80 cubic millimeters
Surface area = 4574.97 square millimeters

**Figura 93. Propiedades físicas del Agarre tipo C**

Se calcula la fuerza mínima requerida en el cilindro en función de los pesos que deberá desplazar:

$$F_{REQUERIDA} = W_{AGARRE} + W_{BOTELLA} \quad (\text{Ecu. 3.55})$$

$$F_{REQUERIDA} = (0.01605 + 0.150) \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{REQUERIDA} = 1.629 \text{ N}$$

Una vez hallada la fuerza requerida, se calcula el diámetro necesario para el cilindro teniendo en cuenta que se necesitará una carrera de 75 mm del vástago por cuestiones de diseño, se debe considerar también, la presión  $P$  que nos suministrará el compresor, la cual es igual a 4 bar.

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_{REQUERIDA}}{\pi * P}} \quad (\text{Ecu. 3.56})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1.629 \text{ N}}{\pi * (4 \text{ bar})}} = \sqrt{\frac{6.516 \text{ N}}{\pi * (0.4 \text{ N/mm}^2)}}$$

$$D = 2.277 \text{ mm}$$

El diámetro necesario es pequeño, por lo que se opta por un cilindro comercial que posea la carrera, fuerza y presión de operación necesarias.

**Tabla 19.**

**Propiedades Técnicas del Cilindro Simple Efecto**

Diámetro del Cilindro (mm)	Diámetro del Vástago (mm)	Presión de operación (MPa)	Empuje del Cilindro (N)	Carrera Estándar del Vástago (mm)	Tipo de acción
16	6	0.4	54.8	75	empuje

Fuente: (AIRTAC, 2015)

Se calcula el consumo de aire del cilindro. Este consumo se lo determina está en función del volumen por ciclo de trabajo, el cual depende del volumen de salida total del vástago, con lo que se tiene lo siguiente:

$$V_{CILINDRO} = Area \times S \quad (\text{Ecu. 3.57})$$

$$V_{CILINDRO} = \frac{\pi \times (16 \text{ mm})^2}{4} \times 75 \text{ mm}$$

$$V_{CILINDRO} = 15079.6 \text{ mm}^3$$

El volumen por ciclo de trabajo se lo determina en función del tiempo que estará trabajando el cilindro.

### CILINDROS DE CLASIFICACIÓN – MÓDULO 1

Para los cilindros de clasificación del módulo 1 tomaremos en cuenta el número de ciclos que se tendrán en un minuto, previamente en el cilindro de doble efecto para el control de dosificación de la tolva ya se estableció este valor, el cual es el siguiente:

$$n = 3 \text{ ciclos}/\text{min}$$

Se calcula entonces el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON} = V_{CILINDRO} \times n \quad (\text{Ecu. 3.58})$$

$$Q_{CON} = 15.0796 \text{ cm}^3 \times 3 \text{ ciclos}/\text{min}$$

$$Q_{CON} = 45.239 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El consumo total del cilindro se lo calcula mediante la ley de Boyle – Mariotte, a los cilindros se los nombrará como 'cilindro simple efecto **2A**' y 'cilindro simple efecto **3A**':

$$P_{ATM} \times Q_{2A \& 3A} = P_{CON} \times Q_{CON} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{2A \& 3A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON}}{P_{ATM}}$$

$$Q_{2A \& 3A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 45.239 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{2A \& 3A} = 226.195 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{2A} = 0.2262 \text{ l}/\text{min}$$

$$Q_{3A} = 0.2262 \text{ l}/\text{min}$$

Se analiza el consumo de aire en la manguera de los dos cilindros en base a su longitud y a su diámetro, los cuales son 140 cm y ¼ de pulgada para el cilindro **2A** y 130 cm y ¼ de pulgada para el cilindro **3A**:

CONSUMO DE MANGUERA DEL CILINDRO **2A**:

$$Q_{CON\_M} = V_{MANGUERA} \times n \quad (\text{Ecu. 3.60})$$

$$Q_{CON\_M} = \left( 140 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 3 \text{ ciclos}/\text{min} = 133.01 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_2A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{MAN\_2A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 133.01 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_2A} = 0.6651 \text{ l}/\text{min}$$

CONSUMO DE MANGUERA DEL CILINDRO **3A**:

$$Q_{CON\_M} = V_{MANGUERA} \times n \quad (\text{Ecu. 3.60})$$

$$Q_{CON\_M} = \left( 130 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 3 \text{ ciclos}/\text{min} = 123.51 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_3A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{MAN\_3A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 123.51 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_3A} = 0.6176 \text{ l}/\text{min}$$

### CILINDROS DE CLASIFICACIÓN – MÓDULO 2

Para el cilindro de clasificación del módulo 2 tomaremos en cuenta el número de ciclos que se tendrán en un minuto del proceso, el cual es:

$$n = 4 \text{ ciclos}/\text{min}$$

Se calcula entonces el volumen de aire consumido por minuto:

$$Q_{CON} = 15.0796 \text{ cm}^3 \times 4 \text{ ciclos}/\text{min}$$

$$Q_{CON} = 60.3186 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El consumo total del cilindro se lo calcula mediante la ley de Boyle – Mariotte, al pistón se los nombrará como 'cilindro simple efecto 5A':

$$P_{ATM} \times Q_{5A} = P_{CON} \times Q_{CON} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{5A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 60.3186 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{5A} = 301.59 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{5A} = 0.3016 \text{ l}/\text{min}$$

Se analiza el consumo de aire en la manguera de los dos cilindros en base a su longitud y a su diámetro, los cuales son 52 cm y ¼ de pulgada respectivamente:

$$Q_{CON\_M} = V_{MANGUERA} \times n \quad (\text{Ecu. 3.60})$$

$$Q_{CON\_M} = \left( 52 \text{ cm} \times \frac{\pi \times (0.635 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 4 \text{ ciclos}/\text{min} = 65.87 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Se calcula el consumo total de la manguera por medio de la ley de Boyle – Mariotte:

$$Q_{MAN\_5A} = \frac{P_{CON} \times Q_{CON\_M}}{P_{ATM}} \quad (\text{Ecu. 3.59})$$

$$Q_{MAN\_5A} = \frac{(4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 65.87 \text{ cm}^3/\text{min}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{MAN\_5A} = 0.3294 \text{ l}/\text{min}$$

Se calcula finalmente el consumo de volumen total por minuto de cada módulo:

#### CONSUMO DE VOLUMEN POR MINUTO – MODULO 1

$$Q_{MÓDULO\_1} = Q_{1A} + Q_{2A} + Q_{3A} + Q_{MAN\_1A} + Q_{MAN\_2A} + Q_{MAN\_3A} \quad (\text{Ecu. 3.64})$$

$$Q_{MÓDULO\_1} = (2.2431 + 0.2262 + 0.2262 + 0.594 + 0.6651 + 0.6176) \text{ l}/\text{min}$$

$$Q_{MÓDULO\_1} = 4.57 \text{ l}/\text{min}$$

#### CONSUMO DE VOLUMEN POR MINUTO – MODULO 2

$$Q_{MÓDULO\_2} = Q_{4A} + Q_{5A} + Q_{6A} + Q_{MAN\_4A} + Q_{MAN\_5A} + Q_{MAN\_6A} \quad (\text{Ecu. 3.65})$$

$$Q_{MÓDULO\_2} = (0.2011 + 0.3016 + 0.7477 + 0.608 + 0.3294 + 0.801) \text{ l}/\text{min}$$

$$Q_{MÓDULO\_2} = 2.99 \text{ l}/\text{min}$$

Por lo tanto el sistema en conjunto de los dos módulos trabajando continuamente tendrá un consumo total de:

$$Q_{TOTAL} = Q_{MÓDULO\_1} + Q_{MÓDULO\_2} \quad (\text{Ecu. 3.66})$$

$$Q_{MÓDULO\_2} = 4.57 \text{ l}/\text{min} + 2.99 \text{ l}/\text{min}$$

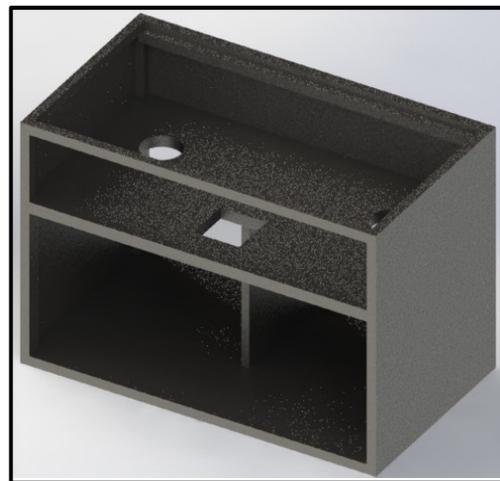
$$Q_{TOTAL} = 7.56 \text{ l}/\text{min}$$

### 3.2.6. Diseño de las estructuras de soporte

Para el diseño de una estructura como primer paso se procede a realizar un prototipo en software CAD, teniendo en cuenta las dimensiones de cada una de las bases donde se encuentran los elementos que en si conforman el modulo didáctico y la distribución en la que vamos a ubicar ciertos componentes como son compresor, placas de control de cada elemento y controlador lógico programable (PLC), procedimos al diseño, tras varios prototipos el modelo final de cada uno de los módulos se presenta en las figuras a continuación.



**Figura 94. Estructura Módulo 1**

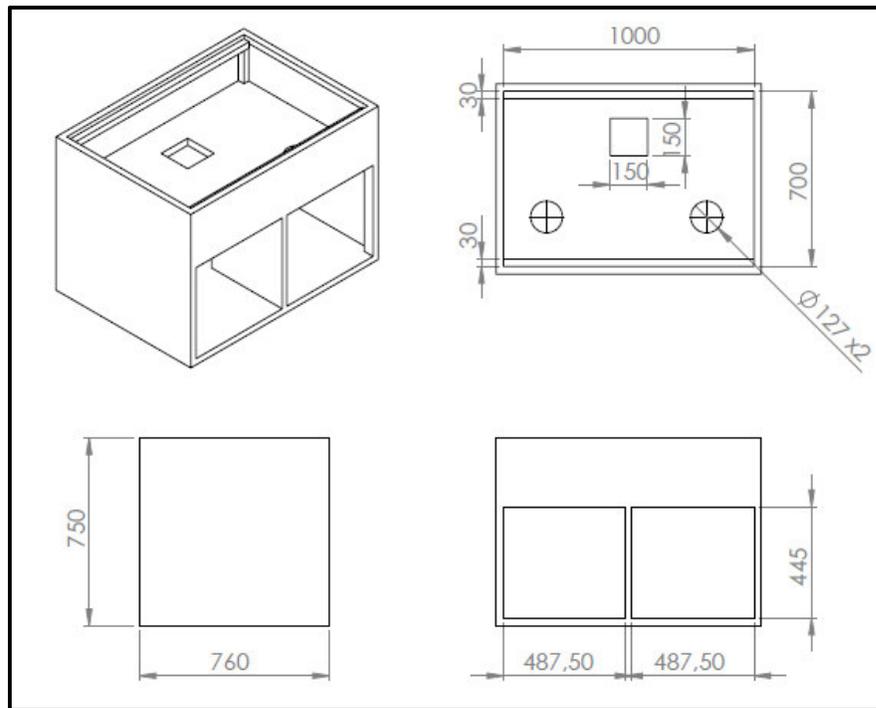


**Figura 95. Estructura Módulo 2**

Se debe tener en cuenta que la estructura de un módulo didáctico soportara el peso de todos los elementos tanto mecánicos, neumáticos, eléctricos, de control y posibles cargas externas, por este motivo debe estar a los requerimientos y al constante uso que demanda un laboratorio, una vez ya determinado el prototipo procedemos al análisis de las cargas a las cual estará sometido la estructura.

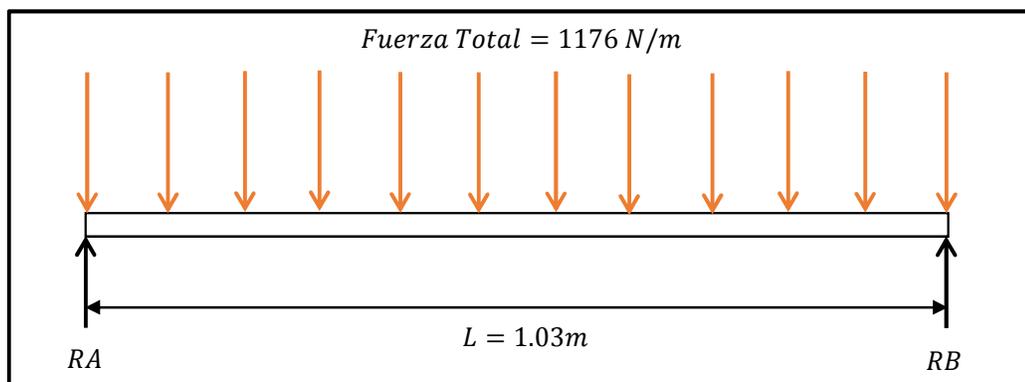
#### *3.2.6.1 Análisis para el módulo didáctico 1*

En la figura 96 se presenta las dimensiones que tendrá el módulo 1 con las placas metálicas recubiertas, para el análisis mecánico solo se ocupara la estructura la cual es la encargada de soportar todas las cargas.



**Figura 96. Dimensiones estructura módulo 1**

La fuerza total se obtiene del pesaje de cada elemento de la planta que se apoya en la estructura del módulo 1, datos necesarios para el cálculo de reacciones y momentos en el diseño mecánico.



**Figura 97. Diagrama de fuerzas y reacciones módulo 1**

La fuerza total se calcula a partir de la sumatoria de la fuerza viva más la fuerza muerta, de manera que podamos obtener la fuerza única para desarrollar los cálculos.

$$Fuerza Viva = 539 N/m$$

$$Fuerza Muerta = 637 N/m$$

$$Fuerza\ Total = Masa\ Viva + Masa\ Muerta \quad (Ecu.\ 3.67)$$

$$Fuerza\ Total = 539\ N/m + 637\ N/m$$

$$Fuerza\ Total = 1176\ N/m$$

La fuerza Total está a lo largo de la longitud, que es la longitud de la estructura la cual soportará el peso de todos los elementos de la planta.

$$Fuerza\ Puntual = Fuerza\ Total * longitud \quad (Ecu.\ 3.68)$$

$$Fuerza\ Puntual = 1176\ N/m \times 1.03\ m$$

$$Fuerza\ Puntual = 1211.28\ N$$

Se obtiene una fuerza puntual para realizar el cálculo de las reacciones en los apoyos que en este caso son RA y RB.

$$\sum Fy = 0$$

$$RA + RB - Fuerza\ Puntual = 0 \quad (Ecu.\ 3.69)$$

$$RA = 1211.28\ N - RB$$

$$\sum M_A = 0$$

$$RB \times L - Fuerza\ Puntual \times L/2 = 0 \quad (Ecu.\ 3.70)$$

$$RB \times 1.03\ m - 1211.28\ N \times 0.515\ m = 0$$

Mediante las sumatorias de fuerzas y momentos obtenemos las ecuaciones que mediante el reemplazo de las mismas, arrojan a continuación los valores de las reacciones RA y RB.

$$RB = \frac{1211.28\ N \times 0.515\ m}{1.03\ m}$$

$$RB = 605.64\ N$$

$$RA = 1211.28\ N - RB$$

$$RA = 1211.28\ N - 605.64\ N$$

$$RA = 605.64\ N$$

Para el diseño de los soportes se seguirá el esquema de diseño de columnas, en el cual se consideran todas las necesidades de carga, de longitud óptima y resistencia apropiada para ser soporte funcional de acuerdo al requerimiento.

$$P_a = 605.64 \text{ N} \rightarrow \text{Carga admisible de diseño}$$

$$E = 200 \text{ GPa} \rightarrow \text{Modulo de Young, (ASTM A36)}$$

$$S_y = 248.56 \text{ MPa} \rightarrow \text{Resistencia a la Fluencia del material, (ASTM A36)}$$

Los datos del módulo de Young y de la resistencia a la fluencia hacen referencia a un acero estructural ASTM A36. La carga crítica que en este caso es  $P_{crit}$  se obtiene a partir de la carga admisible de diseño multiplicado por un factor de seguridad  $n$  en este caso establecido 3 para el actual caso.

$$P_{crit} = P_a \times n \quad (\text{Ecu. 3.71})$$

$$P_{crit} = 605.64 \text{ N} \times 3$$

$$P_{crit} = 1816.92 \text{ N}$$

A continuación se calcula la constante de columna  $CC$  para empezar el diseño como columna larga, esperando que cumpla la condición.

$$CC = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{S_y}} \quad (\text{Ecu. 3.51})$$

$$CC = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 200 \text{ GPa}}{248.56 \text{ MPa}}}$$

$$CC = 126.03$$

Para el diseño de columna larga se aplica la Formula de Euler, siendo así posible obtener datos de inercia y radio de giro.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

$$1816.92 \text{ N} = \frac{\pi^2 \times 200 \text{ GPa} \times I}{(0.65 \times 0.8 \text{ m})^2}$$

$$I = 2.489 \times 10^{-10} m^4$$

La inercia se la puede expresar de la siguiente forma también:

$$I = l^4/12 \quad (\text{Ecu. 3.72})$$

$$2.489 \times 10^{-10} m^4 = l^4/12$$

$$l = 7.393 \times 10^{-3} m$$

Calculamos el radio de giro mínimo:

$$r_y = \frac{l}{\sqrt{12}} \quad (\text{Ecu. 3.49})$$

$$r_y = \frac{7.393 \times 10^{-3} m}{\sqrt{12}}$$

$$r_y = 2.134 \times 10^{-3} m$$

Una vez que obtenemos el valor de  $r_y$ , se procede a obtener la relación de esbeltez RE para verificar que cumple con la condición de columna larga. El valor de la constante K es 0.65, ya que se considera el diseño de una columna que se encuentra Empotrada-Empotrada.

$$RE = \frac{K \times L}{r_y} \quad (\text{Ecu. 3.50})$$

$$RE = \frac{0.65 \times 0.8 m}{2.134 \times 10^{-3} m}$$

$$RE = 243.665$$

$$RE > CC \quad \rightarrow \quad 243.665 > 126.03 \quad (\text{Columna Larga})$$

Una vez realizada la condición necesaria de columna larga, se procede a evaluar el criterio de carga admisible con la carga crítica, donde se aplica la fórmula 3.52 debido a que es columna larga.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times 200 \text{ GPa} \times 2.489 \times 10^{-10}}{(0.65 \times 0.8)^2}$$

$$P_{crit} = 1816.971 N$$

$$Pa \leq P_{crit} \rightarrow 605.64 N < 1816.97 N$$

El resultado del diseño muestra que la columna ya diseñada es capaz de soportar una carga crítica mayor que la carga admisible, de manera que hace robusta y confiable la estructura del módulos 1, que debería estar en un tercio de su capacidad máxima.

### ANÁLISIS EN SOFTWARE DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

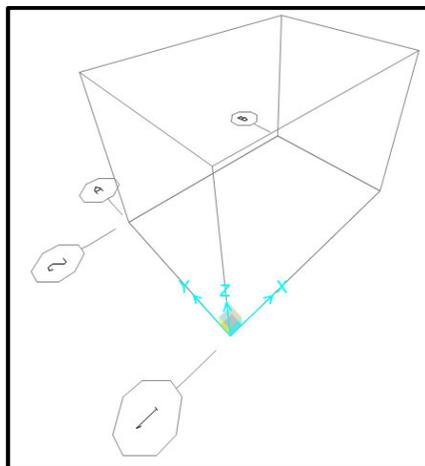
Para el uso de esta herramienta de simulación partimos de especificar en número de ejes que posee nuestra estructura y de igual forma en cada eje la longitud que existe entre sus puntos de aplicación como se muestra en la tabla 20:

**Tabla 20.**

**Dimensiones de estructura soporte 1**

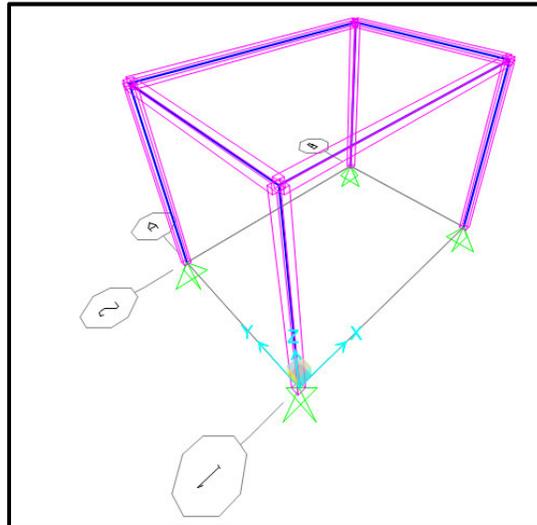
	Número de líneas de la cuadrícula	Espacio entre cuadrículas
Dirección en X	2	1.03 m
Dirección en Y	2	0.73 m
Dirección en Z	2	0.75 m

Una vez definido los ejes y las separaciones entre ejes, nos presenta una estructura como se ve en la figura 98:



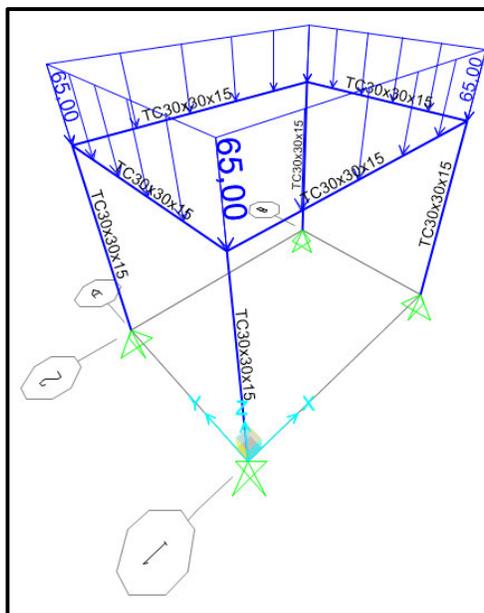
**Figura 98. Cuadrícula de estructura 1**

Seleccionamos los elementos que estarán sometidos a las cargas y que fueron diseñadas previamente en software CAD, de tal forma que nuestra estructura a ser analizada presenta será como de la figura 99:

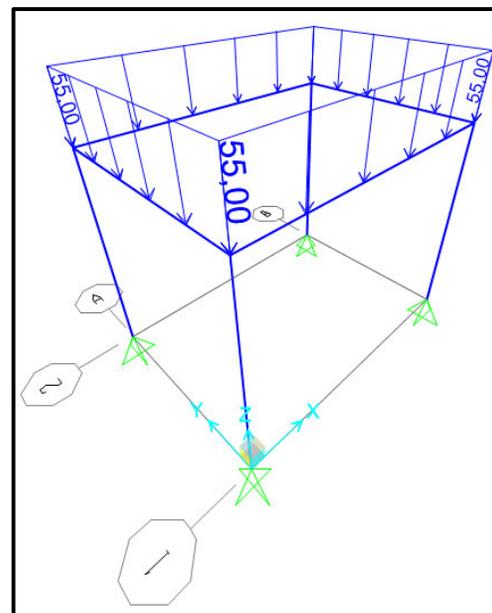


**Figura 99. Estructura 1 con perfil**

Se procede a aplicar las cargas vivas (figura 101) y cargas muertas (figura 100). Las unidades a las que están trabajando las cargas es Kgf/m, debido a que son cargas distribuidas.

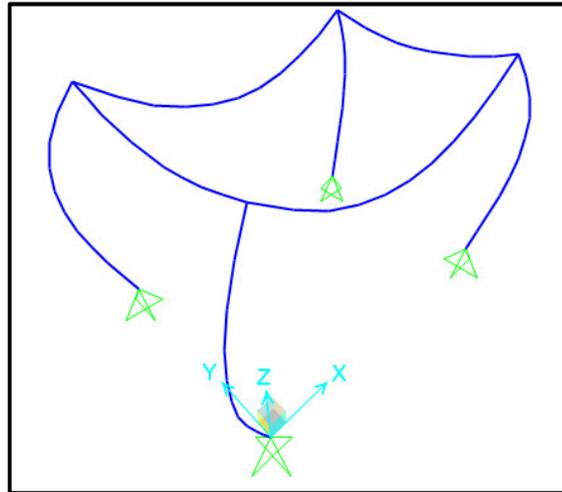


**Figura 100. Carga Muerta**



**Figura 101. Carga Viva**

La estructura tiende a deformarse como se muestra en la figura 102 al ser aplicadas las cargas previamente cargadas con una de formación en sus extremos de 0.0069mm en el eje Z.

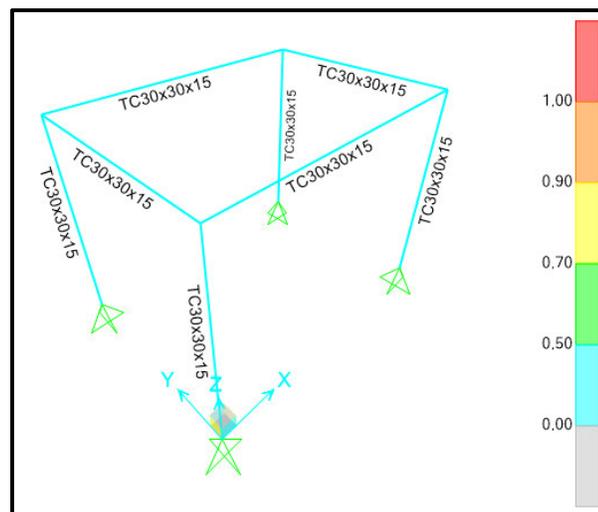


**Figura 102. Deformación de la estructura 1**

Trans	0,00000	0,00000	-1,690E-05
Rotn	-0,00120	0,00273	0,00000

**Figura 103. Traslación y rotación en ejes (X, Y, Z) en metros**

El software también indica el nivel de capacidad en escala de 0 a 1, al cual está sometido cada elemento, siendo el color rojo un nivel crítico al cual el material estaría fallando con las cargas analizadas.



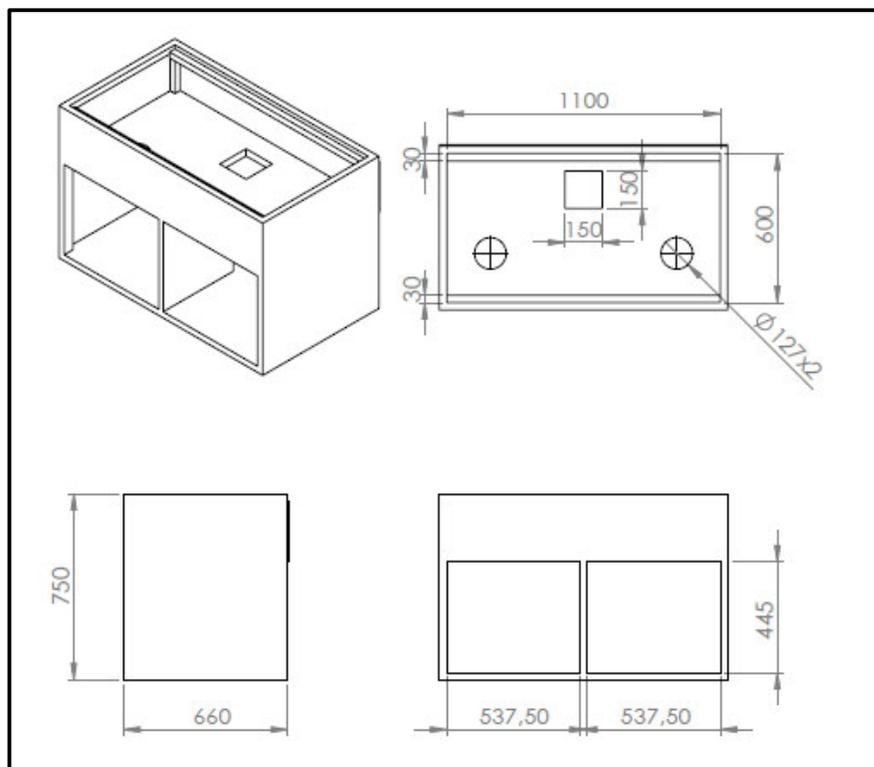
**Figura 104. Capacidad de elementos estructurales**

Para finalizar el diseño mediante el software presentamos un informe del material, perfil y cargas aplicadas, en el cual se puede observar el valor cuantificado de demanda de capacidad del material estando en un 36,1%.

<b>PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)</b>	
<b>D/C Ratio:</b>	$0,361 = 0,024 + 0,234 + 0,103$
	$= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$

**Figura 105. Detalles elemento crítico demanda de capacidad**

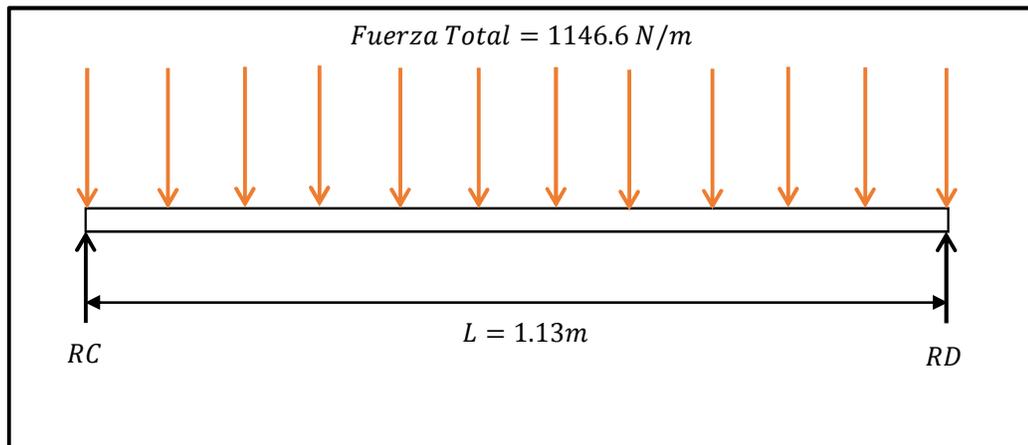
### 3.2.6.2 Análisis para el módulo didáctico 2



**Figura 106. Dimensiones estructura módulo 2**

En la figura 106 se presenta las dimensiones que tendrá el módulo 2 con las placas metálicas recubiertas, para el análisis mecánico solo se ocupara la estructura la cual es la encargada de soportar todas las cargas.

La fuerza total se obtiene del pesaje de cada parte de la planta que se apoya en la estructura del módulo 2, datos obligatorios para el cálculo de reacciones y momento, necesarios en el diseño mecánico.



**Figura 107. Diagrama de fuerzas y reacciones módulo 1**

La fuerza total se calcula a partir de la sumatoria de la fuerza viva más la fuerza muerta, de manera que se pueda obtener la fuerza única para desarrollar los cálculos.

$$\text{Fuerza Viva} = 539 \text{ N/m} \quad \text{Fuerza Muerta} = 607.6 \text{ N/m}$$

$$\text{Fuerza Total} = \text{Masa Viva} + \text{Masa Muerta} \quad (\text{Ecu. 3.67})$$

$$\text{Fuerza Total} = 539 \text{ N/m} + 607.6 \text{ N/m}$$

$$\text{Fuerza Total} = 1146.6 \text{ N/m}$$

La Fuerza Total está a lo largo de la longitud  $L$ , que es la longitud de la estructura la cual soportará el peso de todos los elementos de la planta.

$$\text{Fuerza Puntual} = \text{Fuerza Total} \times \text{longitud} \quad (\text{Ecu. 3.68})$$

$$\text{Fuerza Puntual} = 1146.6 \text{ N/m} \times 1.13 \text{ m}$$

$$\text{Fuerza Puntual} = 1295.66 \text{ N}$$

Se obtiene una fuerza puntual para realizar el cálculo de las reacciones en los apoyos que en este caso son  $RC$  y  $RD$ .

$$\sum M_C = 0$$

$$RC + RD - \text{Fuerza Puntual} = 0 \quad (\text{Ecu. 3.73})$$

$$RC = 1295.66 \text{ N} - RD$$

$$\sum M_C = 0$$

$$RD \times L - Fuerza Puntual \times L/2 = 0 \quad (\text{Ecu. 3.74})$$

$$RD \times 1.13 \text{ m} - 1295.66 \text{ N} \times 0.565 \text{ m} = 0$$

Mediante las sumatorias de fuerzas y momentos obtenemos las ecuaciones que mediante el reemplazo de las mismas, arrojan a continuación los valores de las reacciones  $RC$  y  $RD$ .

$$RD = \frac{1295.658 \text{ N} \times 0.565 \text{ m}}{1.13 \text{ m}}$$

$$RD = 647.829 \text{ N}$$

$$RC = 1295.658 \text{ N} - RD$$

$$RC = 1295.658 \text{ N} - 647.829 \text{ N}$$

$$RC = 647.829 \text{ N}$$

Para el diseño de los soportes se seguirá el esquema de diseño de columnas, en el cual se consideran todas las necesidades de carga, de longitud óptima y resistencia apropiada para ser soporte funcional de acuerdo al requerimiento. Los datos del módulo de Young y de la resistencia a la fluencia harán referencia a un acero estructural ASTM A36. La carga crítica que en este caso es  $P_{crit}$  se obtiene a partir de la carga admisible de diseño multiplicado por un factor de seguridad  $n$  en este caso establecido 3 para el actual caso.

$$P_{crit} = P_a \times n \quad (\text{Ecu. 3.71})$$

$$P_{crit} = 647.829 \text{ N} \times 3$$

$$P_{crit} = 1943.49 \text{ N}$$

Para el diseño de columna larga se aplica la Formula de Euler, siendo así posible obtener datos de inercia y radio de giro.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

$$1943.49 N = \frac{\pi^2 \times 200 \text{ GPa} \times I}{(0.65 \times 0.8 \text{ m})^2}$$

$$I = 2.662 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$I = l^4/12 \quad (\text{Ecu. 3.72})$$

$$2.662 \times 10^{-10} \text{ m}^4 = l^4/12$$

$$l = 7.518 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Calculamos el radio de giro mínimo:

$$r_y = \frac{l}{\sqrt{12}} \quad (\text{Ecu. 3.49})$$

$$r_y = \frac{7.518 \times 10^{-3} \text{ m}}{\sqrt{12}}$$

$$r_y = 2.17 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Una vez que obtenemos el valor de  $r_y$ , se procede a obtener la relación de esbeltez RE para verificar que cumple con la condición de columna larga.

El valor de la constante K es 0.65, ya que se considera el diseño de una columna que se encuentra Empotrada-Empotrada.

$$RE = \frac{K \times L}{r_y} \quad (\text{Ecu. 3.50})$$

$$RE = \frac{0.65 \times 0.8 \text{ m}}{2.17 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$RE = 239.598$$

$$RE > CC \quad \rightarrow \quad 239.598 > 126.03 \quad (\text{Columna Larga})$$

Una vez realizada la condición necesaria de columna larga, se procede a evaluar el criterio de carga admisible con la carga crítica, donde se aplica la fórmula 3.52 ya que es columna larga.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (\text{Ecu. 3.52})$$

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \times 200 \text{ GPa} \times 2.662 \times 10^{-10}}{(0.65 \times 0.8)^2}$$

$$P_{crit} = 1943.26 \text{ N}$$

$$Pa \leq P_{crit} \quad \rightarrow \quad 647.829 \text{ N} < 1943.26 \text{ N}$$

El resultado del diseño muestra que la columna ya diseñada es capaz de soportar una carga crítica mayor que la carga admisible.

### ANÁLISIS EN SOFTWARE DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

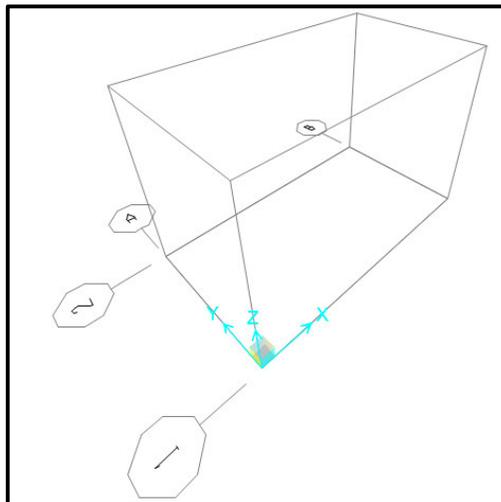
Para el uso de esta herramienta de simulación partimos especificando el número de ejes que posee nuestra estructura y de igual forma en cada eje la longitud existente entre sus puntos de aplicación.

**Tabla 21.**

#### **Dimensiones de estructura soporte 2**

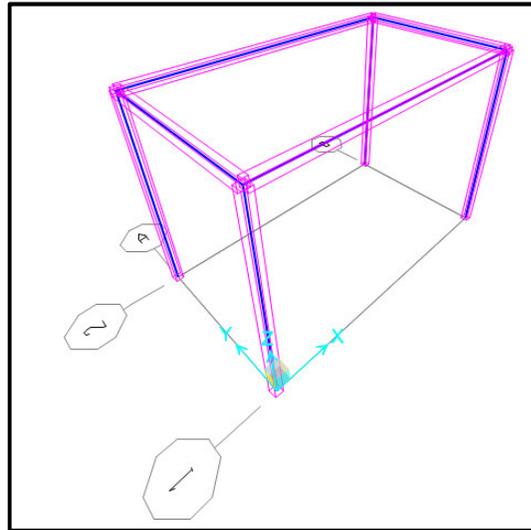
	Número de líneas de la cuadrícula	Espacio entre cuadrículas
Dirección en X	2	1.13 m
Dirección en Y	2	0.63 m
Dirección en Z	2	0.75 m

Una vez definido los ejes y las separaciones entre ejes, nos presenta una estructura como se ve en la figura 108:



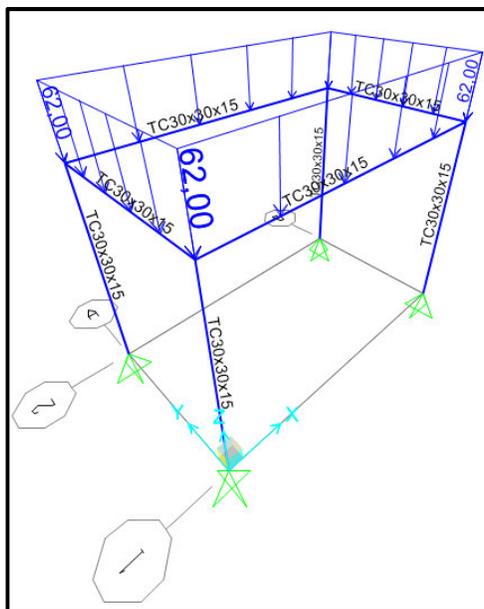
**Figura 108. Cuadrícula de estructura 2**

Seleccionamos los elementos que estarán sometidos a las cargas y que fueron diseñadas previamente en software CAD, de tal forma que nuestra estructura a ser analizada presenta será como de la figura 109:

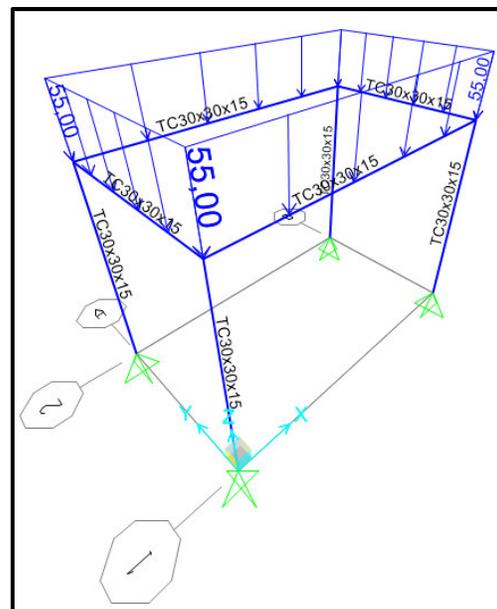


**Figura 109. Estructura 2 con perfil**

Se procede aplicar las cargas vivas (figura 111) y cargas muertas (figura 110). Las unidades a las que están trabajando las cargas es Kgf/m, debido a que son cargas distribuidas.

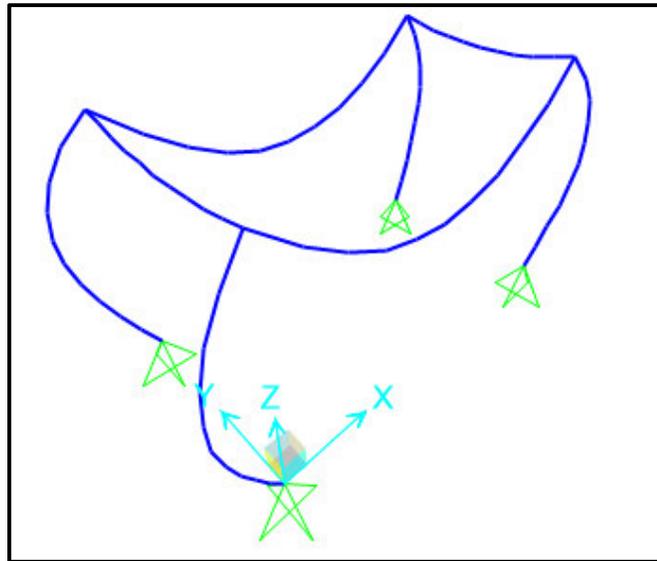


**Figura 110. Carga Muerta**



**Figura 111. Carga Viva**

La estructura tiende a deformarse como se muestra en la figura 112 al ser aplicadas las cargas previamente cargadas con una de formación en sus extremos de 0.00129 mm en el eje Z

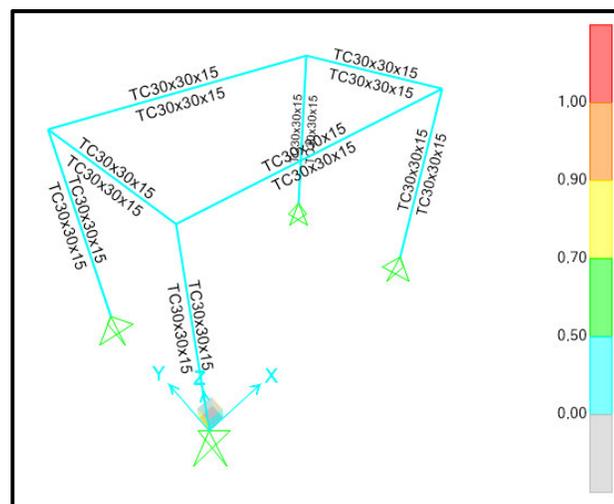


**Figura 112. Deformación de la estructura 2**

Trans	0,00000	0,00000	-1,291E-05
Rotn	-6,404E-04	0,00259	0,00000

**Figura 113. Traslación y rotación en ejes (X, Y, Z) en metros**

El software también nos indica el nivel de capacidad en escala de 0 a 1, al cual está sometido cada elemento, siendo el color rojo un nivel crítico al cual el material estaría fallando con las cargas analizadas



**Figura 114. Capacidad de elementos estructurales**

Para finalizar el diseño mediante el software presentamos un informe del material, perfil y cargas aplicadas, en el cual se puede observar el valor cuantificado de demanda de capacidad del material estando en un 37,8%.

<b>PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)</b>				
<b>D/C Ratio: 0,378 = 0,024 + 0,284 + 0,070</b>				
<b>= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)</b>				

**Figura 115. Detalles elemento crítico demanda de capacidad**

El material con el que se lo va a construir el soporte de las estaciones de trabajo deberá estar de acuerdo con las especificaciones de durabilidad, estética, resistencia y que se los pueda conseguir nacionalmente.

Por lo tanto, al tener en cuenta los factores mostrados se procedió al análisis de costos y facilidad de trabajo por lo que optamos por el uso de un acero ASTM A36-CS de 30 x 30 x 1.5 mm.

**Tabla 22.**

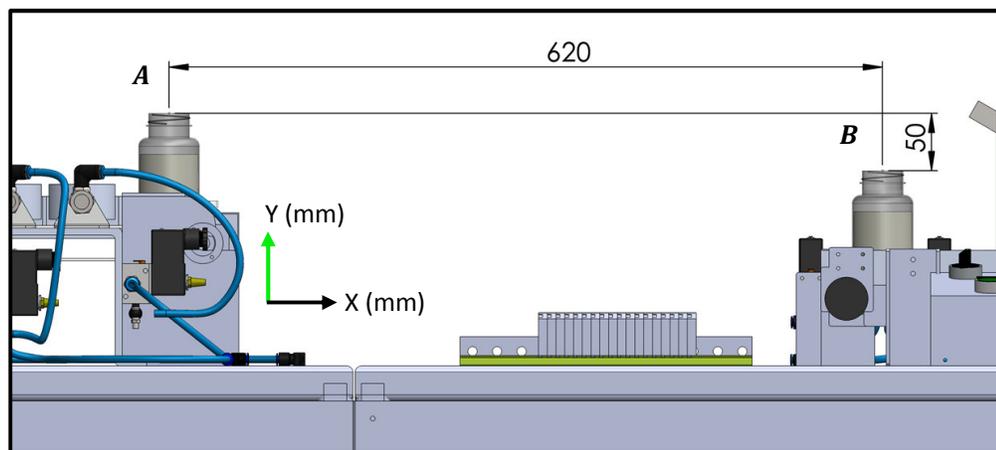
**Catálogo de perfiles estructurales cuadrados**

Denominación	Dimensión	Espesor	Peso	
	a	e	kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm		
¾	20	1.50	0.88	5.26
1	25	1.50	1.13	6.78
		2.00	1.48	8.90
1¼	30	1.50	1.37	8.20
		2.00	1.80	10.79
1½	40	1.50	1.72	10.32
		2.00	2.27	13.62
		3.00	3.22	19.33
2	50	1.50	2.32	13.93
		2.00	3.13	18.75
		3.00	4.62	27.69
2¼	60	2.00	3.74	22.42
		3.00	5.56	33.35
3	75	2.00	4.65	27.88
		3.00	6.88	41.26
		4.00	9.11	54.64
4	100	2.00	6.22	37.30
		3.00	9.26	55.53
		4.00	12.28	73.66

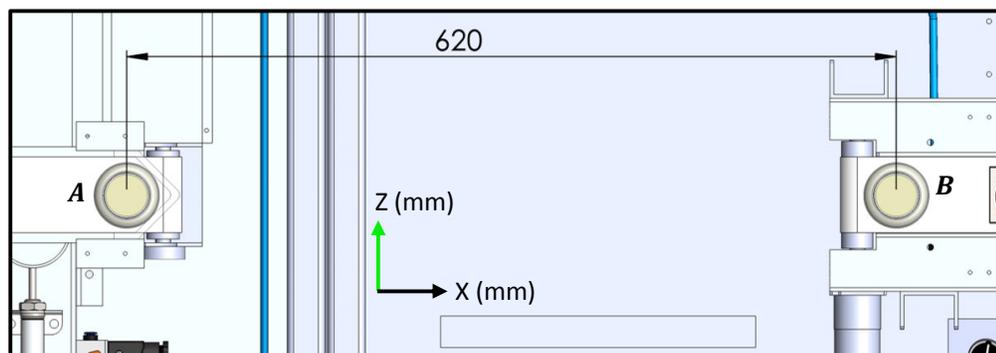
Fuente: NOVACERO S.A.

### 3.2.7. Diseño Conceptual del Brazo Electromecánico

El brazo electromecánico es el mecanismo encargado de transportar a las botellas desde el punto final del módulo didáctico 1 hacia el punto inicial del módulo didáctico 2. Se realizará un análisis CAD para determinar las distancias entre cada una de las posiciones que deberá tener la botella al ser trasladada.



**Figura 116. Vista Frontal de los Módulos Acoplados**

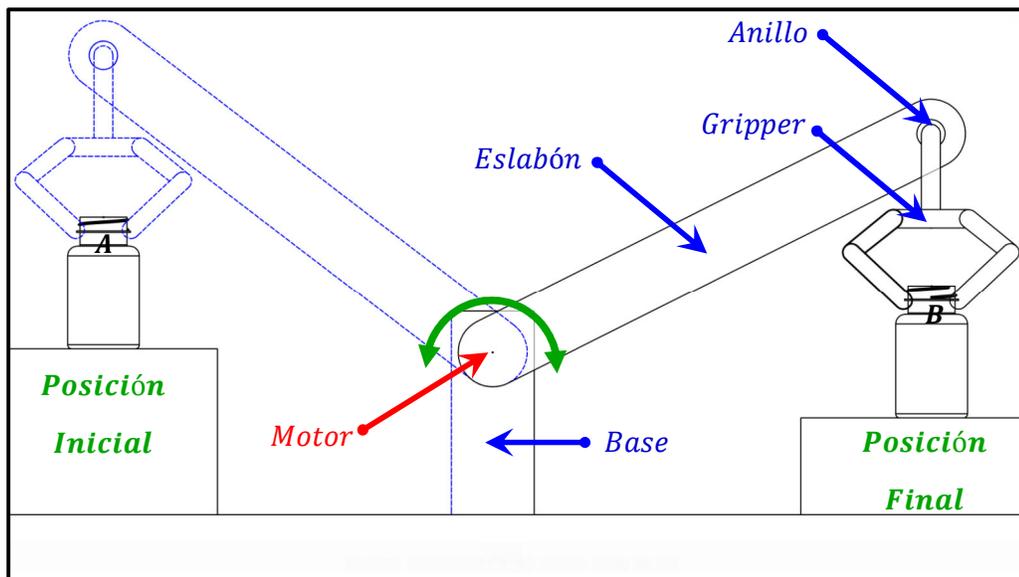


**Figura 117. Vista Superior de los Módulos Acoplados**

Como se puede apreciar en las figuras 116 y 117, el desplazamiento que se desea obtener en la posición de la botella se encuentra únicamente en el plano X-Y. Se desea obtener un desplazamiento de 620mm en X hacia la derecha, y otro de 50mm en Y hacia abajo. Para conseguir este movimiento, se implementará un brazo electromecánico con un grado de libertad rotacional en el plano X-Y. Estará compuesto por un eslabón conectado en sus extremos

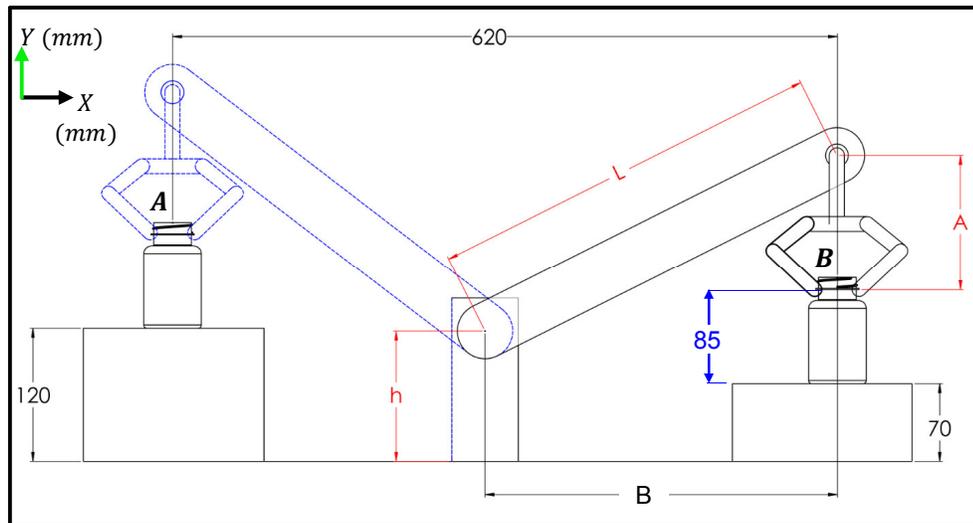
a un motor eléctrico DC y a un eje de soporte en el cual estará fijado la herramienta (gripper) encargada de transportar a las botellas.

Al eje de soporte se le acoplará un anillo para el ensamble con el gripper, el cual tendrá libertad de movimiento rotacional en el plano X-Y, por lo que; el control posicional de este anillo se basará en el equilibrio obtenido por el peso de gripper. A continuación se bosqueja un diseño preliminar del brazo a implementar.



**Figura 118. Bosquejo general del Brazo Electromecánico**

Como se puede observar, el diseño del brazo electromecánico con un solo grado de libertad es idóneo para cumplir la función deseada en el sistema de transporte de envases. El grado de libertad estará accionado mediante un motor DC, encargado de generar el movimiento rotacional esperado en el sistema, el mismo estará sujeto a la base del mecanismo. Dicha base se encontrará instalada en la estructura principal del módulo 2. El gripper será el mecanismo encargado de la sujeción de la botella. El eslabón principal será el brazo articulado sujeto al eje del motor que girará un ángulo determinado desde la posición inicial hacia la posición final. A continuación, se especifican algunas medidas que serán necesarias calcular para el dimensionamiento adecuado del brazo electromecánico.



**Figura 119. Dimensiones principales en el sistema de transporte**

Se parte desde las dimensiones ya establecidas por el diseño propio de cada módulo. La altura de la posición A en el módulo 1 es de 120 mm, mientras que la altura de la posición B en el módulo 2 es de 70 mm, esta diferencia de altura representa los 50 mm de desplazamiento que requeriremos tener en el eje Y. La altura de la botella hasta el anillo en donde se conectará con el gripper es de 85 mm, mientras que la distancia horizontal entre las dos posiciones es de 620 mm.

Ahora, las medidas que se deberán calcular serán las siguientes:

- h; Altura de la base que soportará el brazo.
- A; Longitud total del gripper
- L; Longitud del eslabón.
- B; Posicionamiento de la base con respecto a la posición final.

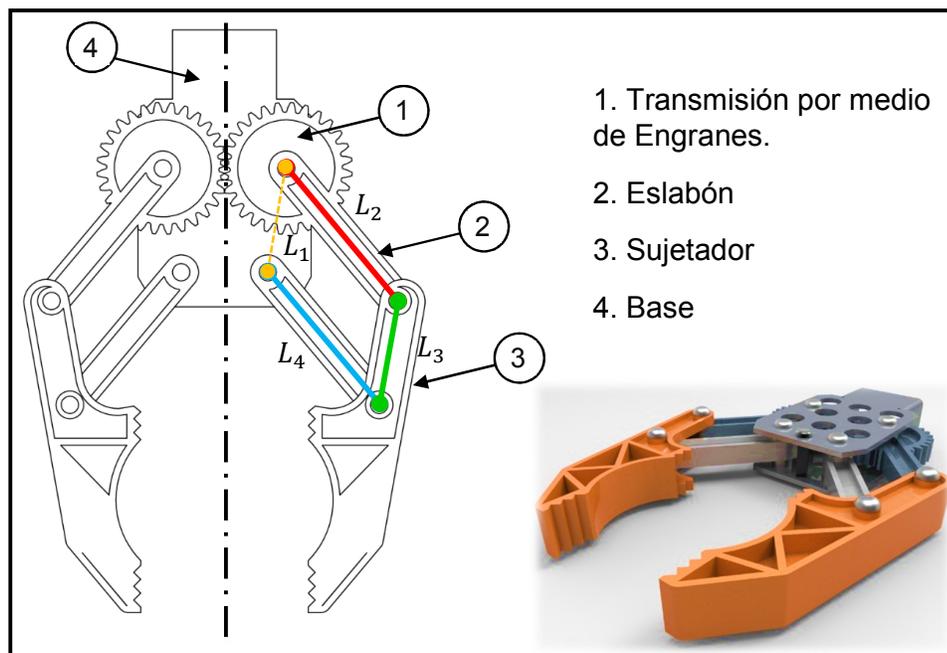
Por motivos de diseño, se considerará una altura de la base que soportará el mecanismo igual a 140 mm, esto con el fin de tener una altura que no sobrepase los 15 cm y darle así una mayor estabilidad al brazo evitando vibraciones y pandeos innecesarios. A continuación se realiza un análisis del mecanismo del gripper con el fin de lograr definir su longitud total, y de esta manera poder determinar la longitud necesaria del eslabón, así como también el posicionamiento de la base en el módulo 2.

### 3.2.8. Mecanismo de Sujeción del Brazo Electromecánico

Uno de los componentes de mayor importancia dentro del diseño del brazo electromecánico es el mecanismo de sujeción. A este elemento se lo conoce como herramienta y en nuestro proyecto será la encargada de sujetar a las botellas para poder transportarlas desde el módulo 1 hacia el módulo 2.

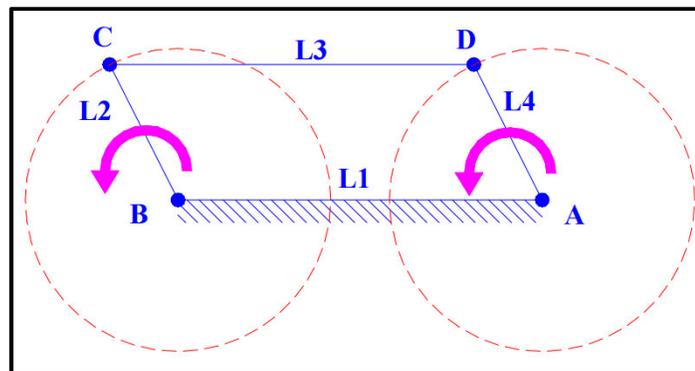
Existen diversos mecanismos de sujeción, accionados generalmente por un actuador (de tipo eléctrico o neumático) capaz de proveer de movimiento rotacional al sistema. Para el diseño de este componente se tomaron como ejemplo varios tipos de grippers industriales los cuales se caracterizan por trabajar básicamente con dos mecanismos de 4 barras acoplados uno a cada extremo de una base de soporte en la que se sostienen.

Los dos mecanismos de 4 barras incorporados son simétricos entre sí, disponen de dos eslabones largos que se sujetan a la base y un tercer eslabón al que se le denomina 'sujetador' o 'dedo' debido a que va a ser el que este en contacto con el sólido que se desea manipular. En la siguiente gráfica podemos apreciar los elementos principales de un gripper de tipo industrial:



**Figura 120. Gripper Industrial**

Por lo general, cada mecanismo de 4 barras acoplado en el gripper es de tipo rectangular, esto quiere decir que sus dos eslabones laterales son paralelos y poseen la misma longitud y que además, la longitud del eslabón intermedio es igual a la distancia entre los centros de giro de los dos eslabones laterales, a esto se lo conoce como mecanismo paralelogramo articulado de doble manivela.



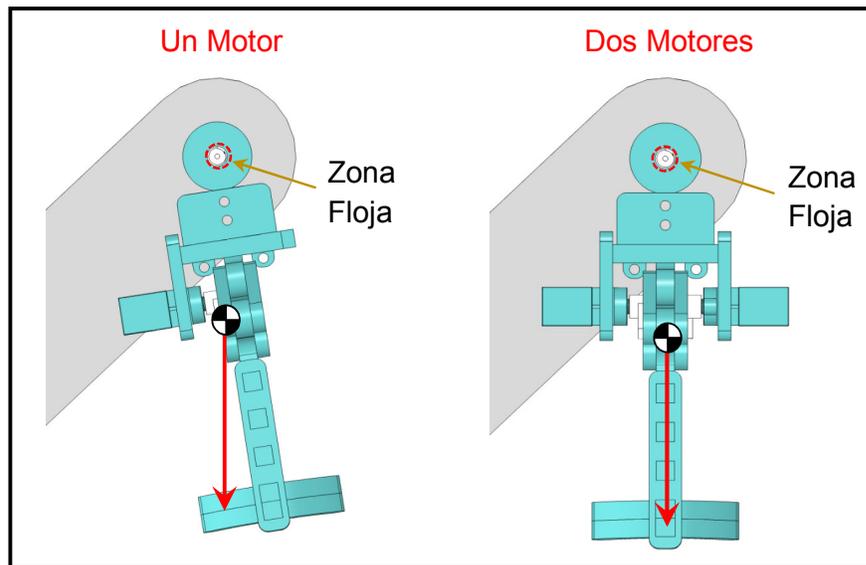
**Figura 121. Paralelogramo Articulado de Doble Manivela**

En donde:

$$L1 = L3 \quad y \quad L2 = L4 \quad (\text{Ecu. 3.75})$$

Teniendo en cuenta que los eslabones BC y AD tienen el mismo sentido y ángulo de giro. La transmisión de movimiento rotacional hacia el otro paralelogramo articulado se lo realiza comúnmente mediante engranes de relación 1:1, suele ser la forma más efectiva porque se necesita la misma velocidad angular y posicionamiento al otro extremo únicamente en sentido contrario.

La transmisión por engranes soluciona el tener que usar un motor para cada mecanismo, sin embargo, para el gripper que se desea construir se ha considerado la idea de dos motores por motivos de balance y simetría. El gripper que se plantea incorporar, dispondrá de un grado de libertad rotacional el cual no se controlará, este dependerá exclusivamente del peso del gripper y por lo tanto, se necesita un sistema lo más equilibrado y simétrico posible para que no sufra de desniveles. A continuación se grafica las fallas que se tendrían en el equilibrio del gripper por motivos de usar únicamente un motor.



**Figura 122. Centro de Gravedad del Gripper**

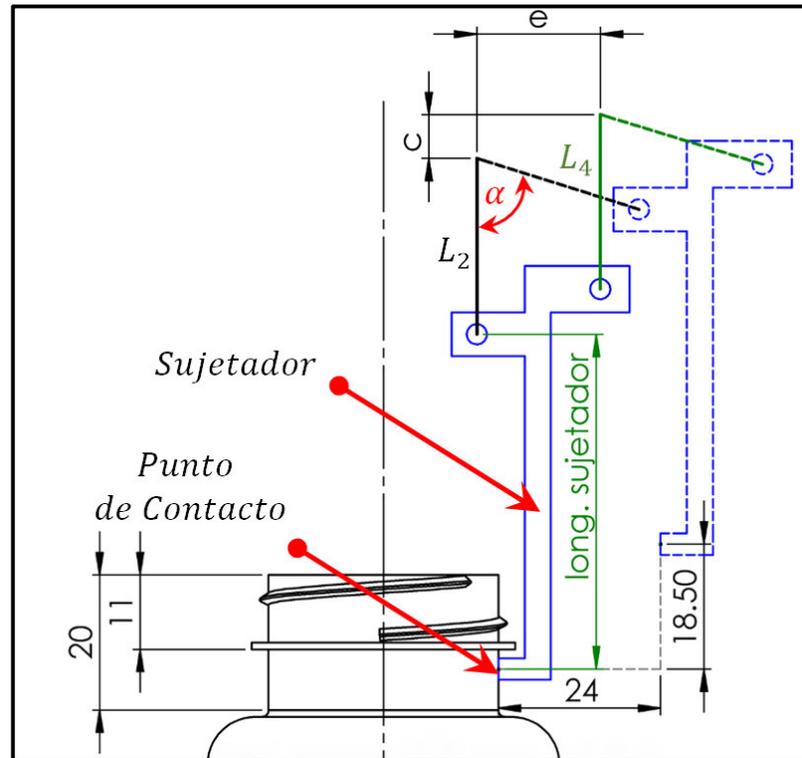
Como se observa en la figura 122, el gripper necesita de una zona floja en la que pueda tener un grado de libertad rotacional controlado por su propio peso. Al tener un solo motor al extremo izquierdo, hace que el centro de gravedad del gripper se desplace hacia el mismo lado creando una inclinación desequilibrante.

Por el otro lado, tenemos a un gripper conformado por dos motores uno a cada extremo; esto nos beneficia debido a que el mecanismo deja de tener un desequilibrio y su centro de gravedad se sitúa en el plano medio del gripper con lo cual se evita tener inclinaciones que afecten al proceso de sujeción.

Lo siguiente en analizar son las posiciones y longitudes del mecanismo paralelogramo articulado, para este punto, se tomarán en cuenta algunas consideraciones dentro del diseño. Los motores que proveerán de movimiento al mecanismo serán los servomotores SG90, son motores lo suficientemente útiles para este tipo de gripper y además son de fácil control por medio de una plataforma Arduino debido a que trabajan con 5 [Vdc], su posicionamiento va de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Es necesario plantearse algunos valores dentro del dimensionamiento del gripper. Ciertas distancias y ángulos deberán asumirse en función a los

movimientos que se requieren tener en la pinza, todo esto con el fin de poder calcular el resto de medidas.

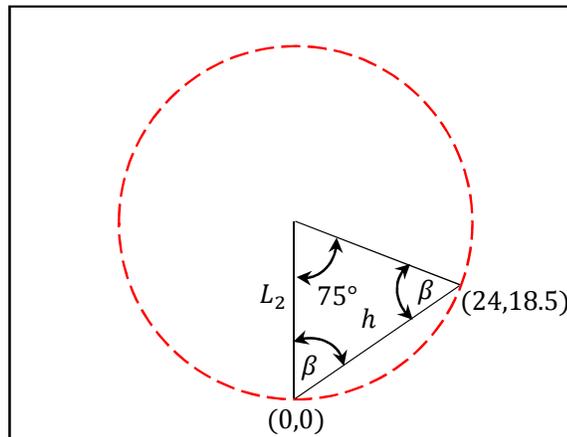


**Figura 123. Centro de Gravedad del Gripper**

La longitud del sujetador es un valor que se puede asumir basándose en la longitud del cuello de la botella, la cual es de 20 mm por lo que; se considerará una longitud del sujetador 3 veces mayor a esta distancia, es decir; igual o un poco mayor a 60 mm por motivos de diseño.

El punto de contacto entre el sujetador y la botella requiere desplazarse hacia una posición superior para poder soltar la botella. Ese desplazamiento tendrá los valores de 24mm en X y 18.50 en Y.

Estas distancias son impuestas asumiendo que son lo suficientemente amplias para que el sujetador se desacople por completo de la botella, considerando además que el ángulo de apertura no sea mayor a  $90^\circ$  debido a que en un mecanismo paralelo articulado, esto ocasionaría un contacto no deseado entre los eslabones  $L_2$  y  $L_4$ . El ángulo impuesto será de  $75^\circ$ .



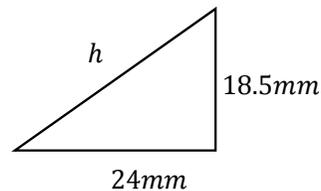
**Figura 124. Arco de Giro del Eslabón lateral**

Asumiendo los puntos por donde queremos que pase y el ángulo máximo de apertura, podemos hallar la longitud del eslabón:

Tenemos lo siguiente:

$$h = \sqrt{24^2 + 18.5^2}$$

$$h = 30.303\text{mm}$$



El ángulo  $\beta$  es igual a:

$$180^\circ = 2 \times \beta + 75^\circ$$

$$\beta = \frac{180^\circ - 75^\circ}{2}$$

$$\beta = 52.5^\circ$$

Se calcula la longitud del eslabón  $L_2$  utilizando la ley de senos:

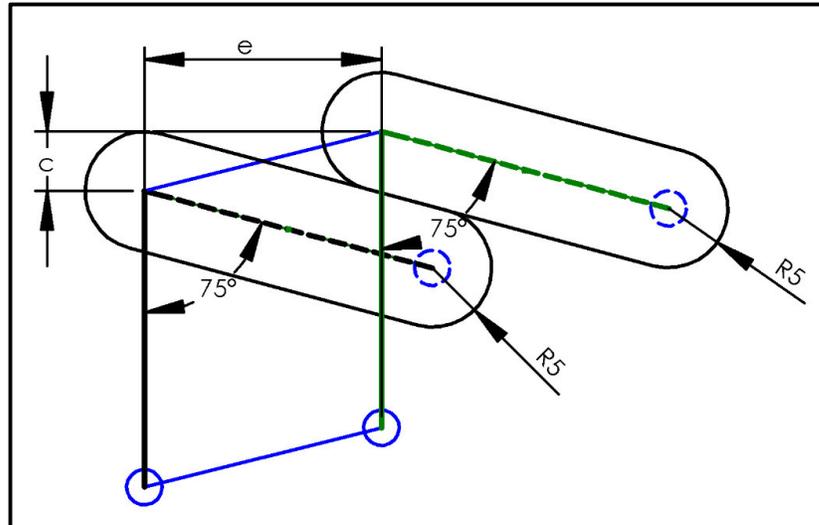
$$\frac{h}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{L_2}{\text{sen}(\beta)} \quad (\text{Ecu. 3.76})$$

$$L_2 = \frac{30.303 \text{ mm} \times \text{sen}(52.5^\circ)}{\text{sen}(75^\circ)}$$

$$L_2 = 24.9 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{25 \text{ mm}}$$

La longitud de los eslabones laterales será de 25mm.

Lo siguiente es fijar los centros de giro, para esto, necesitaremos diseñar el sujetador. Se lo analizará de la siguiente manera:

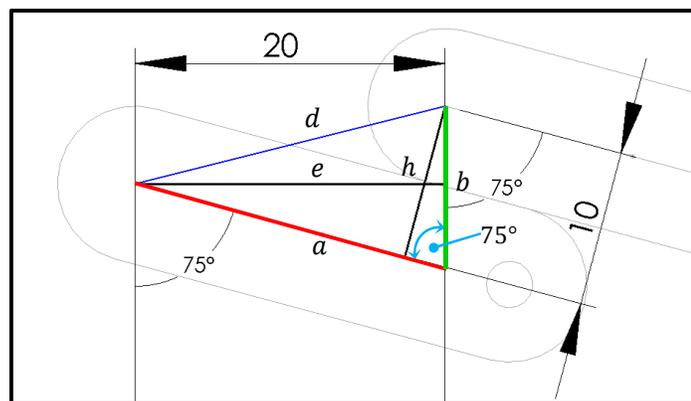


**Figura 125. Centros de Giros de los Eslabones**

El centro de giro se lo define en función del ángulo impuesto de giro que es  $75^\circ$  y en el ancho de los eslabones, los cuales serán de 1 cm.

La distancia entre los centros se define por las variables ' $c$ ' y ' $e$ '. Ambos valores son dependientes el uno del otro por lo que se necesitará imponer un valor de los dos para poder calcular el otro.

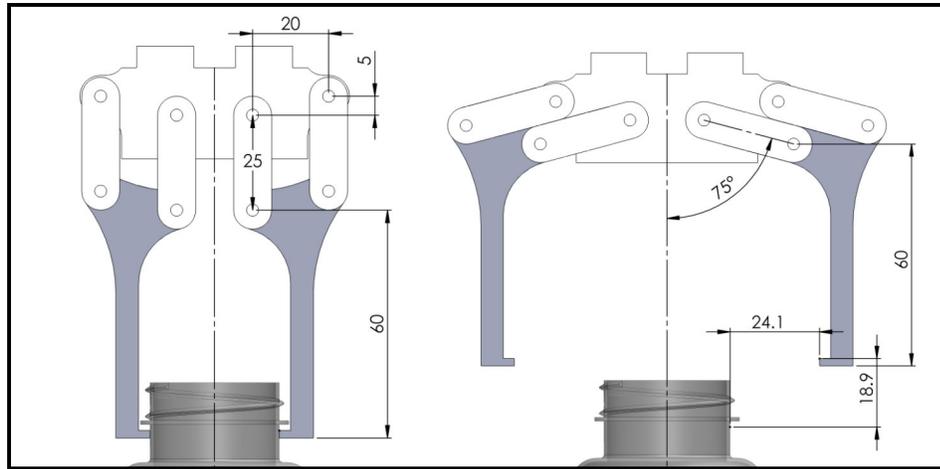
La distancia ' $e$ ' deberá tener un valor mínimo de 10 mm debido a los anchos impuestos en los eslabones. Se considerará una distancia  $e = 20 \text{ mm}$  para el cálculo de la distancia  $c$ .



**Figura 126. Análisis de Distancias en los Eslabones**

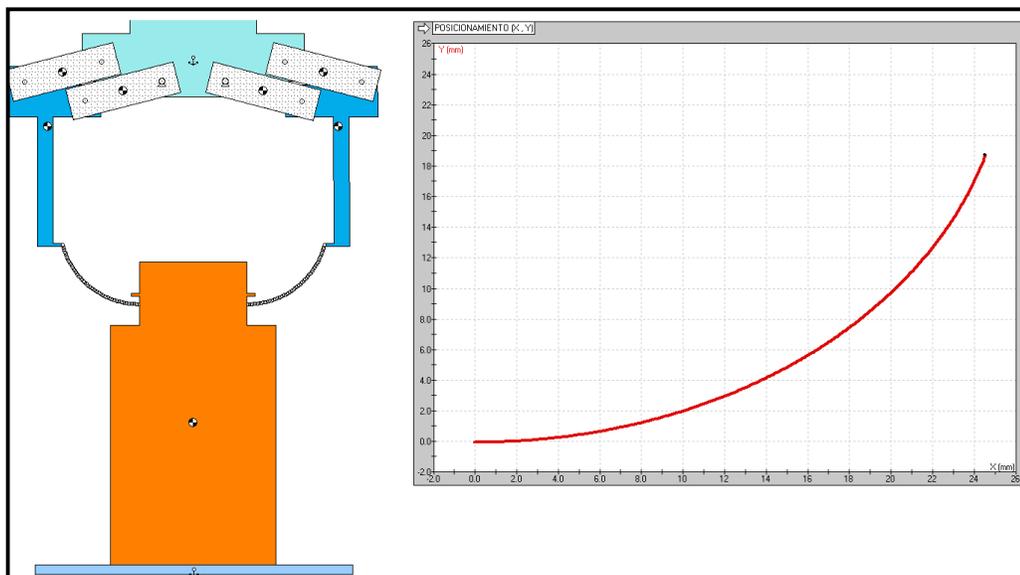


Una vez implementado el mecanismo con la ayuda de Software CAD, quedaría de la siguiente manera:



**Figura 128. Mecanismo Paralelogramo articulado**

Como se puede apreciar en las figura 128, el paralelogramo articulado cumple con los desplazamientos esperados. El mayor ángulo de apertura será de  $75^\circ$  y tendrá su punto de contacto en la botella cuando este se encuentre en  $0^\circ$ . El desplazamiento también se lo analiza en software de simulación de movimiento con el fin de tener una gráfica de los desplazamientos tanto en X como en Y:



**Figura 129. Mecanismo Paralelogramo articulado**

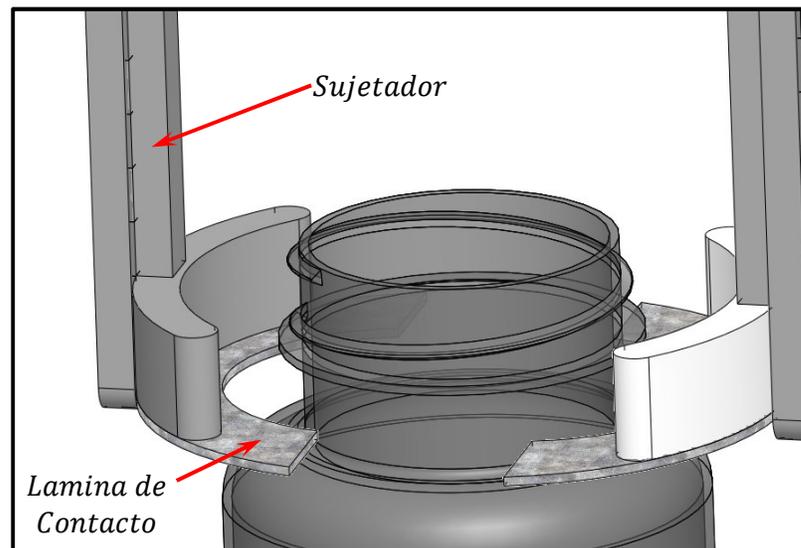
Los resultados de la posición final del sujetador fueron los siguientes:

DESPLAZAMIENTOS (X, Y)		
X (mm)		24.15
Y (mm)		18.53
Ángulo (°)		75.00 °

**Figura 130. Desplazamientos en X / Y en función del Ángulo.**

Los valores arrojados por el programa se asemejan a los esperados (24 mm en 'X', 18.5 mm en 'Y' y 75° en el ángulo de rotación).

Dentro del análisis mecánico, es necesario también el determinar los esfuerzos máximos que se ejercerán en el sujetador del gripper. Una vez obtenida las medidas necesarias, los sujetadores se los diseño de la siguiente manera:



**Figura 131. Diseño de Sujeción**

A los sujetadores se les incorporó una lámina de acero inoxidable de 1 mm de espesor con la forma indicada y de diámetro interno igual al del cuello de la botella como se observa en la figura 131 con el objetivo de que estas tengan sean las que estén en contacto directo on el anillo de la rosca y de esta manera el gripper pueda levantar a la botella.

La lámina será adherida mediante resina adhesiva epoxi, para esto es necesario analizar si este tipo de pegamento tendrá la resistencia suficiente para soportar el peso que sostendrá.

Se calcula entonces, el esfuerzo admisible en la resina  $\sigma_{adm}$ , la cual es de la marca LOCTITE Epoxy y posee la siguiente capacidad de presión, (Obtenida del catálogo de productos Epoxy: [http://www.loctiteproducts.com/tds/EPXY\\_QSET\\_S\\_tds.pdf](http://www.loctiteproducts.com/tds/EPXY_QSET_S_tds.pdf)):

$$S_y = 3200 \text{ PSI} = 22.063 \text{ MPa}$$

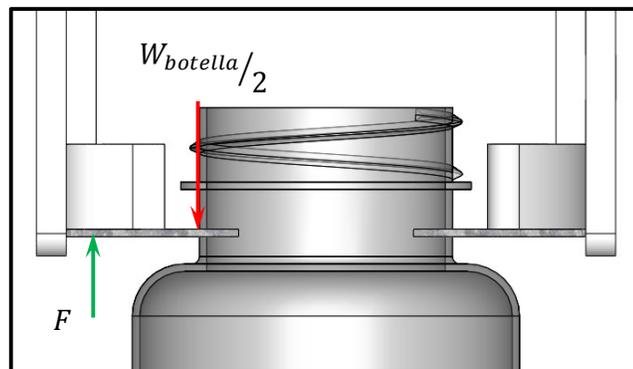
Para este caso, se considerará un factor de seguridad de 4, debido a que el peso de la botella podría ser mayor en ciertos casos. Se tiene el siguiente esfuerzo admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{22.063 \text{ MPa}}{4}$$

$$\sigma_{adm} = 5.516 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo máximo aplicado en la resina:



**Figura 132. Análisis de Fuerzas en la sujeción**

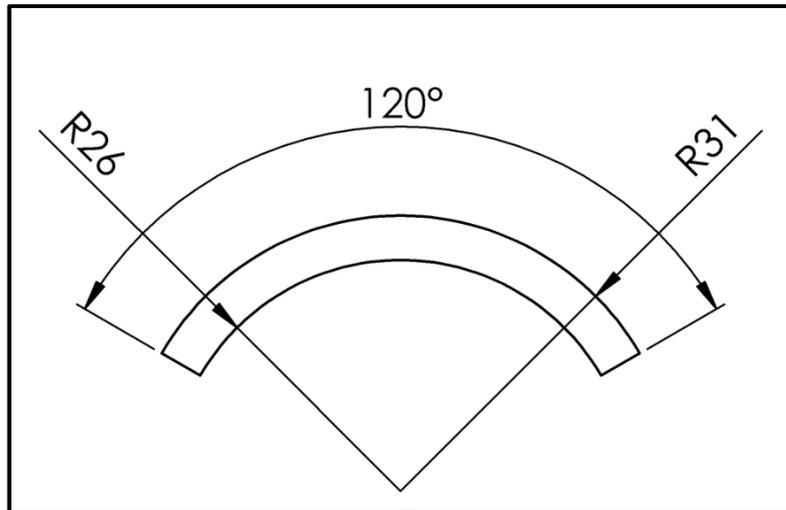
En donde:

$$F = W_{botella}/2$$

$$F = \frac{(0.150 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2)}{2}$$

$$F = 1.4715 \text{ N}$$

El área de contacto es la siguiente:



**Figura 133. Área de Contacto**

$$A = \frac{\gamma}{360^\circ} (\pi R_{mayor}^2 - \pi R_{menor}^2)$$

$$A = \frac{120^\circ}{360^\circ} (\pi(31)^2 - \pi(26)^2) \quad (\text{Ecu. 3.78})$$

$$A = 298.45 \text{ mm}^2$$

Se calcula entonces, el esfuerzo máximo en la sujeción:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecu. 3.4})$$

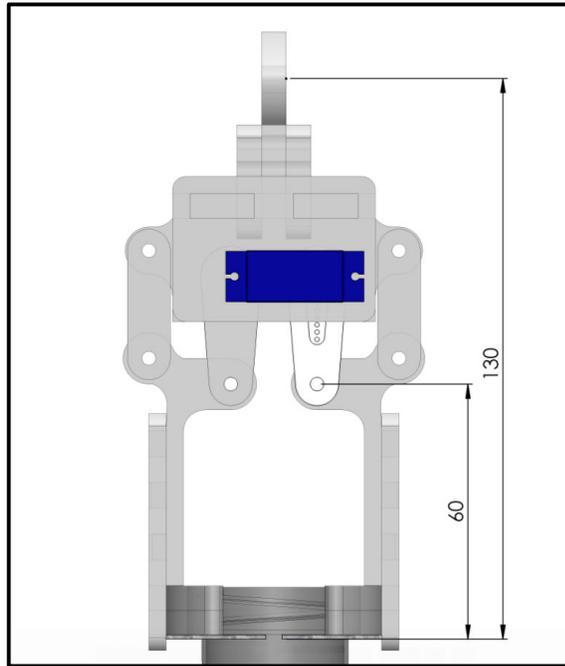
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{1.4715 \text{ N}}{298.45 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 4.94 \text{ KPa}$$

Como se puede ver, la resina Epoxy tiene las características de resistencia necesaria para poder sostener a la botella en el sujetador.

$$\sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x} \rightarrow 5.516 \text{ MPa} > 4.94 \text{ KPa}$$

Una vez finalizado el análisis estático en las zonas críticas del mecanismo, se procede a dimensionar la longitud total del gripper en función del diseño implementado tanto para el acople de los motores, como para la base en donde se sujetarán los eslabones. El diseño final del gripper es el siguiente:



**Figura 134. Dimensionamiento longitudinal del Gripper**

Como se puede apreciar, una vez concluido el diseño total del gripper se tiene que la longitud total del mismo es de 130 mm,

### 3.2.9. Análisis estático del brazo electromecánico

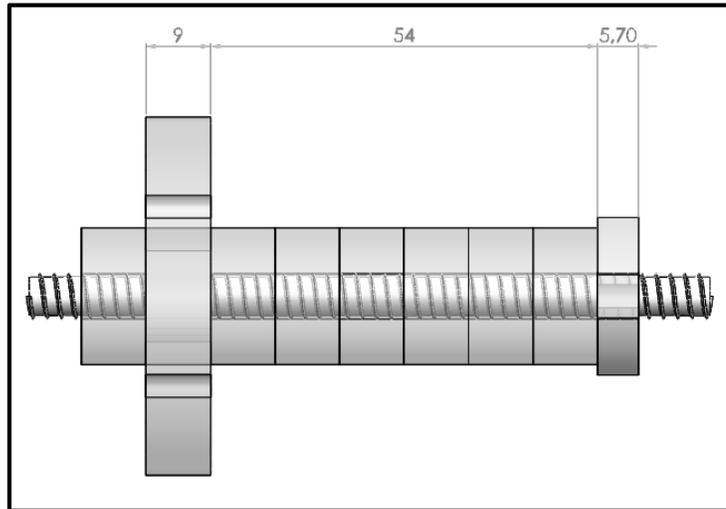
El análisis del brazo electromecánico se basa en el diseño de tres elementos fundamentales que lo componen para el funcionamiento adecuado del mismo. A continuación se desarrollarán los cálculos necesarios de esfuerzos y cargas máximas para el dimensionamiento de sus componentes.

Los elementos a analizar serán los siguientes:

- Eje de soporte del gripper
- Eslabón Principal del Brazo
- Acople de transmisión

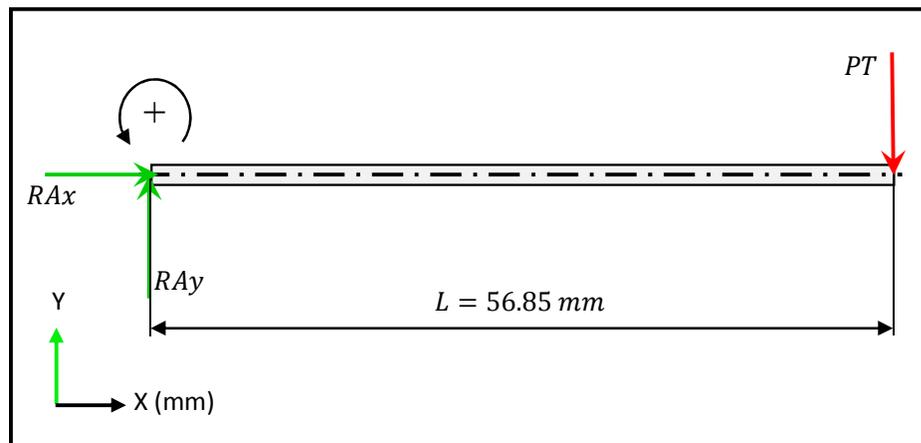
### 3.2.9.1. Análisis para eje de soporte

Basándose en el diseño realizado en Software CAD, determinamos las distancias a las cuales estarán aplicadas las cargas.



**Figura 135. Distancias Principales en el Eje de Soporte**

El eje está empotrado en su extremo izquierdo, por lo tanto se encontrará afectado por dos reacciones y un momento



**Figura 136. Diagrama de cuerpo libre del eje**

La carga que se aplica en el extremo derecho del eje será igual a la suma del peso total del gripper y el peso de la botella llena.

$$PT = W_{GRIPPER} + W_{BOTELLA} \quad (\text{Ecu. 3.79})$$

$$PT = (0.233 + 0.150) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$PT = 3.75 \text{ N}$$

Se calculan las reacciones y momentos en el apoyo:

$$\sum Fy = 0$$

$$RAy - PT = 0 \quad (\text{Ecu. 3.80})$$

$$RAy = PT$$

$$RAy = 3.75 \text{ N}$$

$$\sum Ma = 0$$

$$M_1 - PT \times L = 0 \quad (\text{Ecu. 3.81})$$

$$M_1 = 3.75 \text{ N} \times 56.85 \text{ mm}$$

$$M_1 = 213.38 \text{ Nmm}$$

Se determina el esfuerzo máximo flexionante en el eje:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (\text{Ecu. 3.39})$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 213.38 \text{ Nmm}}{\pi D^3}$$

$$\sigma_x = \frac{2173.48 \text{ Nmm}}{D^3}$$

Al esfuerzo máximo flexionante se lo iguala al esfuerzo admisible del eje  $\sigma_{adm}$ , el cual está fabricado en acero AISI 1020 CD con el siguiente límite de Fluencia, (SAE Handbook, 1986, p. 215):

$$Sy = 390 \text{ MPa}$$

Se considera un factor de seguridad de 2 y se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{n} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$\sigma_x = \sigma_{adm}$$

$$\frac{2173.48 \text{ Nmm}}{D^3} = \frac{S_y}{n}$$

$$D^3 = \frac{n \times 2173.48 \text{ Nmm}}{S_y}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \times 2173.48 \text{ Nmm}}{390 \text{ N/mm}^2}}$$

$$D = \sqrt[3]{11.15 \text{ mm}^3}$$

$$\mathbf{D = 2.23 \text{ mm}}$$

Se procede a analizar la deflexión máxima en el eje:

$$y_{\text{máx}} = -\frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (\text{Ecu. 3.82})$$

En donde:

$E$  = Módulo de elasticidad (205 GPa para Acero AISI 1020)

$I$  = Inercia de la sección transversal

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{\pi \times (2.23\text{mm})^4}{64} = \mathbf{1.21 \text{ mm}^4}$$

Se calcula entonces, la deflexión máxima en el eje de soporte del gripper:

$$y_{\text{máx}} = -\frac{3.75\text{N} \times (56.85\text{mm})^3}{3 \times 205000\text{MPa} \times 1.21 \text{ mm}^4}$$

$$\mathbf{y_{\text{máx}} = -0.93 \text{ mm}}$$

La deflexión máxima que puede presentar el eje es de aproximadamente 1mm. Debido a que estamos trabajando con envases llenos de azúcar y por motivos de diseño optamos por un eje comercial de ¼ de pulgada (6.35mm), se calcula la deflexión para este diámetro:

$$I = \frac{\pi \times D_E^4}{64} = \frac{\pi \times (6.35\text{mm})^4}{64} = 79.81 \text{ mm}^4$$

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{PT \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (\text{Ecu. 3.82})$$

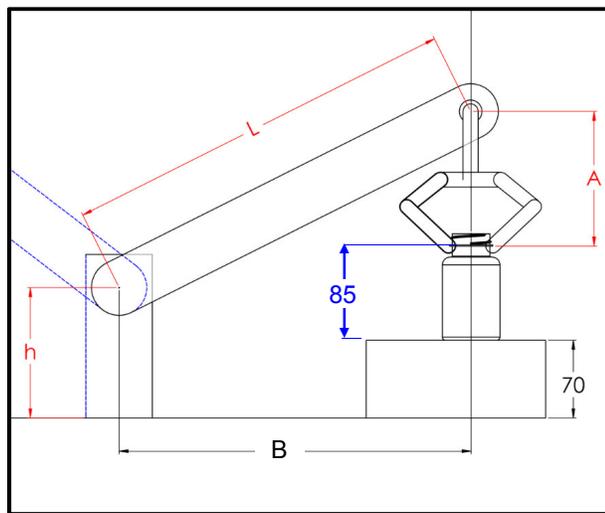
$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{3.75N \times (56.85mm)^3}{3 \times 205000MPa \times 79.81 mm^4}$$

$$y_{m\acute{a}x} = -0.014 mm$$

Con el diámetro comercial de  $\frac{1}{4}$  de pulgada tenemos una deflexión máxima de 0.01 mm lo cual está de acuerdo a las especificaciones deseadas.

### 3.2.9.2. Análisis para el Eslabón Principal.

Para realizar el análisis estático en el eslabón principal, es necesario determinar las dimensiones del mismo. Continuando con el análisis de longitudes en el subcapítulo 3.2.7., se procede a calcular el valor de **L**.



**Figura 137. Dimensiones principales en el sistema de transporte**

En donde:

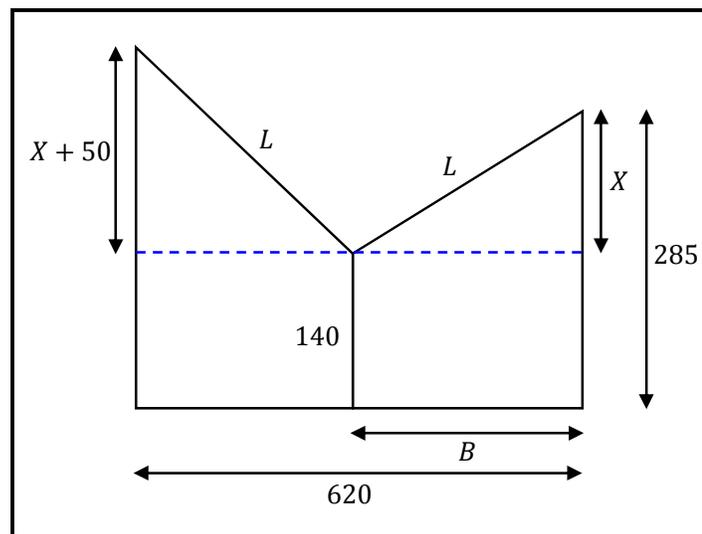
$A = 130 mm$  (Dimensionado en el subcapítulo 3.2.8.)

$h = 140 mm$  (Altura impuesta por motivos de diseño)

$L =$  Longitud del Eslabón

$B =$  Distancia del centro del brazo al punto inicial del módulo 2

Se calculan **L** y **B**:



**Figura 138. Diagrama de Distancias en el Brazo Electromecánico**

El valor de  $X$  es igual a:

$$X = 285 \text{ mm} - 140 \text{ mm}$$

$$X = 145 \text{ mm}$$

Se analizan los triángulos rectángulos:

$$L^2 = B^2 + X^2 \quad (\text{Ecu. 3.83})$$

$$L^2 = (620 - B)^2 + (X + 50)^2 \quad (\text{Ecu. 3.84})$$

Se igualan las ecuaciones y se halla  $B$ :

$$B^2 + 145^2 = (620 - B)^2 + (145 + 50)^2$$

$$B^2 + 145^2 = 620^2 - 1240B + B^2 + 195^2$$

$$B = \frac{620^2 + 195^2 - 145^2}{1240}$$

$$B = 323.71 \text{ mm}$$

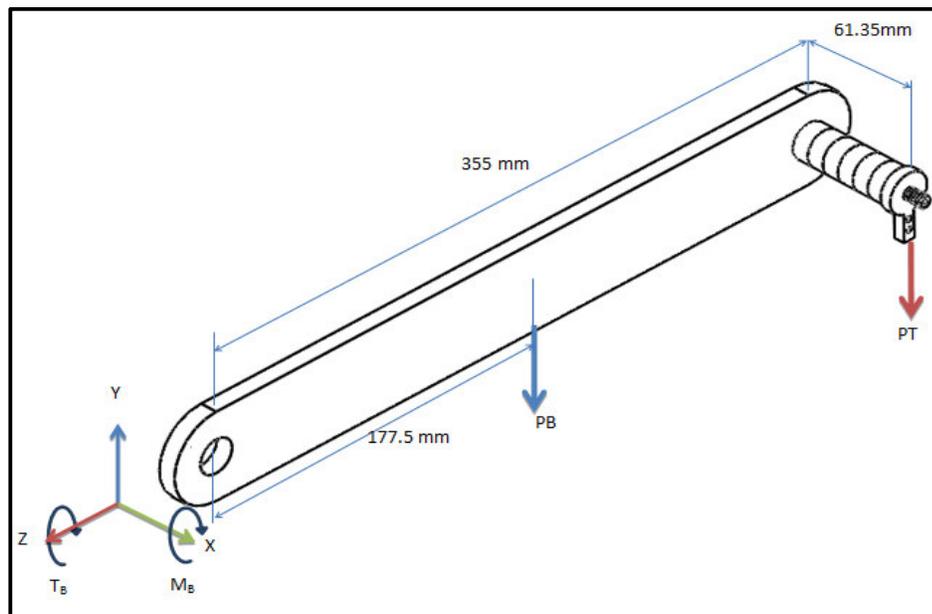
Una vez hallado  $B$ , se calcula finalmente la longitud del eslabón **L**:

$$L = \sqrt{B^2 + X^2} \quad (\text{Ecu. 3.83})$$

$$L = \sqrt{323.71^2 + 145^2}$$

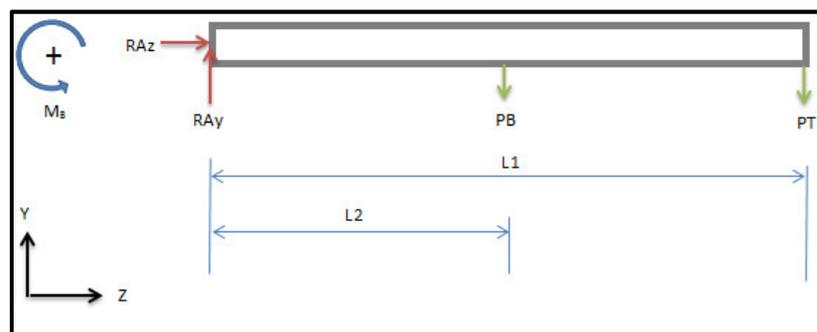
$$L = 354.7 \quad \rightarrow \quad \mathbf{355 \text{ mm}}$$

El resto del eslabón principal está diseñado en Software CAD en el cual se especifica el material a utilizar que es acrílico por motivos de su baja densidad y fácil proceso a cambios en su manufactura.



**Figura 139. Vista Isométrica del Eslabón Principal**

Para el diagrama de cuerpo libre se analizarán dos cargas, las cuales serán el peso de la barra ubicado en su centro de gravedad y el peso total en el eje de soporte:



**Figura 140. Diagrama de cuerpo libre del Eslabón**

En donde:

$$L1 = 355 \text{ mm}$$

$$L2 = 177.5 \text{ mm}$$

$$W_{ESLABON} = 0.207 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 2.031 \text{ N}$$

Se calcula la reacción en Y, y el momento en B:

$$\sum Fy = 0$$

$$RAy - W_{ESLABON} - PT = 0 \quad (\text{Ecu. 3.84})$$

$$RAy = PT + W_{ESLABON}$$

$$RAy = 3.75 \text{ N} + 2.031 \text{ N}$$

$$RAy = 5.78 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_B - PT \times L1 - W_{ESLABON} \times L2 = 0 \quad (\text{Ecu. 3.85})$$

$$M_B = PT \times L1 + W_{ESLABON} \times L2$$

$$M_B = 3.75 \text{ N} \times 355 \text{ mm} + 2.031 \text{ N} \times 177.5 \text{ mm}$$

$$M_B = 1691.4 \text{ Nmm}$$

Este valor del momento obtenido utilizaremos para determinar el esfuerzo flexionante y posteriormente para dimensionar el motor el cual deberá tener el torque adecuado para vencer la inercia del brazo.

El esfuerzo flexionante de una sección rectangular estará dado por:

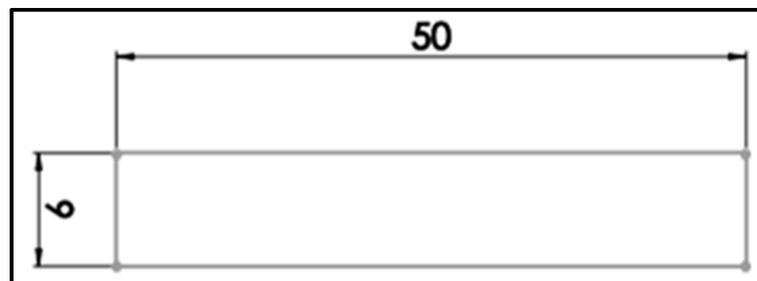


Figura 141. Sección transversal del brazo

$$\sigma = \frac{6M_B}{b \times h^2} \quad (\text{Ecu. 3.86})$$

En donde b se considera el lado menor y h el lado mayor de la sección transversal;

$$\sigma = \frac{6 \times 1691.4 \text{ Nmm}}{9\text{mm} \times (50\text{mm})^2}$$

$$\sigma = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

De igual forma existe un esfuerzo torsional por lo cual empezamos calculando el momento Torsor  $T_B$ :

$$T_B = PT \times 61.35\text{mm}$$

$$T_B = 3.75 \text{ N} \times 61.35\text{mm}$$

$$T_B = 230.06 \text{ Nmm}$$

Se calcula el esfuerzo torsional con la siguiente fórmula:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T}{b \times c^2} \left( 3 + \frac{1.8}{b/c} \right) \quad (\text{Ecu. 3.87})$$

En donde b se considera el lado mayor y c el lado menor de la sección transversal:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{230.06 \text{ Nmm}}{50\text{mm} \times (9\text{mm})^2} \left( 3 + \frac{1.8}{50\text{mm}/9\text{mm}} \right)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0.05 \text{ N/mm}^2 (3.324)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0.0162 \text{ N/mm}^2$$

Aplicando la fórmula de energía de distorsión se halla el esfuerzo crítico de la siguiente manera:

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3 \times \tau_{m\acute{a}x}^2)^{1/2} \quad (\text{Ecu. 3.88})$$

$$\sigma' = \left( (0.45 \text{ N/mm}^2)^2 + 3 \times (0.0162 \text{ N/mm}^2)^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = (0.20)^{1/2}$$

$$\sigma' = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Procedemos a obtener el factor de seguridad del elemento en base a las propiedades del material del cual está fabricado el eslabón:

**Tabla 23.**

**Características y propiedades de Acrílico**

Especificaciones generales	
<b>Densidad</b>	1.18 $gr/cm^3$
<b>Rango de temperatura</b>	-40°C a 80 °C
<b>Límite de fluencia</b>	70 MPa
<b>Resistencia a la tracción</b>	72 MPa
<b>Resistencia a la flexión</b>	125 MPa
<b>Modulo elástico</b>	3300 MPa

Fuente: (Gamacril - Ecuador, 2015)

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (\text{Ecu. 3.3})$$

$$n = \frac{70 \text{ N/mm}^2}{0.45 \text{ N/mm}^2}$$

$$n = 155.55$$

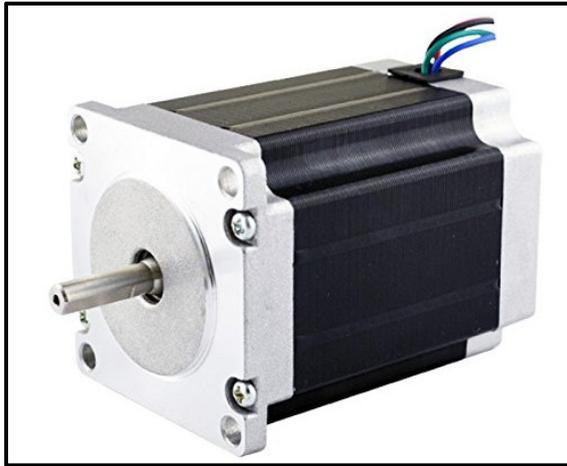
El material y dimensiones especificados pueden soportar cargas mucho más elevadas a las analizadas por lo que se tomara los resultados obtenidos como una aprobación a la construcción del brazo ya que por cuestiones de funcionamiento y acople las medidas no pueden ser reducidas. De igual forma con el torque antes analizado de 1.7 Nm el motor a ser utilizado será:

**Tabla 24.**

**Características Motor NEMA**

MOTOR NEMA 23 BIPOLAR						
Angulo de paso	Toque de retención	Angulo de paso	Voltaje	Corriente de fase	Peso	cables
1.8 °	1.9 Nm	200 ppr	24 V	2.8 A	1.2 Kg	4

Fuente: (Mill Lathe Router OSM, 2015)



**Figura 142. MOTOR NEMA 23 BIPOLAR**

**Fuente: (Mill Lathe Router OSM, 2015)**

El motor seleccionado tendrá la posibilidad de regular la posición en envase con bastante precisión y lo más importante para nuestra aplicación posee el torque requerido mayor a 1.7 Nm por lo cual es la opción más factible.

### 3.2.9.3. Análisis para el Acople de Transmisión.

Se calcula el esfuerzo admisible del perno  $\sigma_{adm}$ , el cual está fabricado en acero AISI 1015 CD con el siguiente límite de Fluencia 320 MPa, (SAE Handbook, 1986, p. 215):

$$S_y = 320 \text{ MPa}$$

Basándonos en la teoría de Energías de Distorsión, la resistencia a la fluencia cortante en el tornillo sería la siguiente:

$$S_{sy} = 0.577 \times S_y \quad (\text{Ecu. 3.12})$$

$$S_{sy} = 0.577 \times 320 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 184.64 \text{ MPa}$$

Se considera un factor de seguridad de 2 al igual que el anterior caso, y se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (\text{Ecu. 3.13})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{184.64 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = \mathbf{92.32 \text{ MPa}}$$

El esfuerzo cortante máximo en el perno depende de la fuerza cortante aplicada en el apoyo:

$$RAy = 5.78 \text{ N}$$

Con lo que se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \tau_{xy} \quad (\text{Ecu. 3.14})$$

$$\tau_{xy} = \frac{4F}{3\pi D^2/4} \quad (\text{Ecu. 3.15})$$

En donde:

$F$  = fuerza de reacción aplicada al perno

$D$  = diámetro del tornillo, en este caso de 3.175mm.

Se calcula el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{16 \times 5.78 \text{ N}}{3\pi \times (3.175\text{mm})^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \mathbf{0.973 \text{ MPa}}$$

Como se puede apreciar, el esfuerzo máximo es inferior al esfuerzo admisible en cada tornillo.

$$\mathbf{92.32 \text{ MPa} > 0.973 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$$

Por lo que el perno será capaz de soportar la carga que le produce el brazo y cualquier variación de peso aplicado al Gripper.

### 3.3. DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico de los módulos didácticos tendrá como principal objetivo el acondicionar cada uno de los sensores y actuadores que intervienen en el proceso.

El requerimiento más importante de operación en cada una de las estaciones consiste en la capacidad de trabajar con señales de 5 [Vdc] o de 24 [Vdc], esto con el propósito de utilizar un controlador tipo industrial (como por ejemplo un PLC) o a su vez un microcontrolador de menor robustez que trabaje con señales TTL (como por ejemplo una plataforma Arduino, un circuito integrado PIC o AVR).

Partiendo de este requerimiento preliminar, es importante determinar qué tipo de sensores y actuadores se incorporarán en el sistema, esto con el objetivo de tener sus especificaciones principales definidas, y así conseguir el acondicionamiento adecuado de cada componente. A continuación, se detallarán que elementos se necesitarán para cumplir con cada propósito de control en todas las etapas que conforman los módulos.

#### 3.3.1. Selección y Acondicionamiento de Actuadores

Los actuadores eléctricos y neumáticos que conformarán las estaciones de trabajo serán los elementos encargados de proporcionar el movimiento necesario en cada uno de los sistemas del proceso.

#### MÓDULO DIDÁCTICO 1

##### 3.3.1.1. *Motor Eléctrico – Banda Transportadora 1*

El actuador encargado del movimiento de la banda transportadora en el módulo 1 será un motor eléctrico DC el cual previamente fue seleccionado en el dimensionamiento mecánico del sistema transportador de botellas basándose en la potencia, velocidad y torque necesarios para cumplir esta actividad. El mismo posee las siguientes características eléctricas:

Tabla 25.

## Datos Eléctricos del motor – banda transportadora

Especificaciones generales	
<b>Velocidad de Salida:</b>	100 [RPM]
<b>Voltaje DC:</b>	12 [V]
<b>Corriente Nominal:</b>	1.36 [A]
<b>Potencia:</b>	16.32 [W]

Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)

Recapitulando lo que se analizó previamente en el diseño mecánico del sistema transportador de botellas, se determinó que se necesitaría una velocidad promedio en el sistema de entre 80 a 100 RPM.

Para conseguir el rango promedio de velocidad deseado, se optó por el control del motor mediante un driver de potencia L298N, un dispositivo electrónico que nos permite controlar la velocidad del motor mediante señales TTL. Cuenta con las siguientes especificaciones eléctricas:

Tabla 26.

## Datos Eléctricos del driver de potencia L298N

Especificaciones Técnicas		
<b>POTENCIA</b>		
<b>Capacidad de Alimentación:</b>	5 - 46 [V]	
<b>Corriente Máxima:</b>	2 [A]	<b>ALTO</b>
<b>CONTROL</b>		
<b>Voltaje de Control:</b>	5 - 7 [V]	<b>BAJO</b>
<b>Corriente de Control:</b>	36 [mA]	
<b>Nivel TTL:</b>	<b>BAJO</b>	<b>ALTO</b>
	-0.3 - 1.5 [V]	

Fuente: (SGS Thomson Microelectronics, 2015)

Como se puede apreciar en las especificaciones técnicas, el driver cumple con los parámetros necesarios de voltaje y de corriente para la alimentación del motor. Otro aspecto importante a tener en cuenta en el acondicionamiento y control del este motor, es el modo de funcionamiento esperado.

Se plantea obtener un control independiente de velocidad y de activación, Por lo que se decide implementar un circuito de control que cuente con 3 botones encargados de (habilitar/deshabilitar), (Subir la velocidad en 20 RPM) y (bajar la velocidad en 20 RPM) del motor. Estos tres botones serán considerados como salidas de control, es decir se deberán tener un acondicionamiento para 5 [Vdc] y 24 [Vdc].

En el circuito de control del motor se tendrá además una pantalla LCD el cual nos indicará el estado del motor en lo que respecta a su activación y a su valor en la velocidad en RPM. Para la implementación de la placa de control del motor se optó por el microcontrolador ATmega328P, un microcontrolador utilizado en plataformas Arduino al cual se le instalará el Bootloader para poderlo programar mediante el software de Arduino. Este microcontrolador trabaja con señales TTL, y cuenta con una frecuencia de reloj de 16 MHz.

Una vez fijado todos estos parámetros, el diseño de la placa es el siguiente:

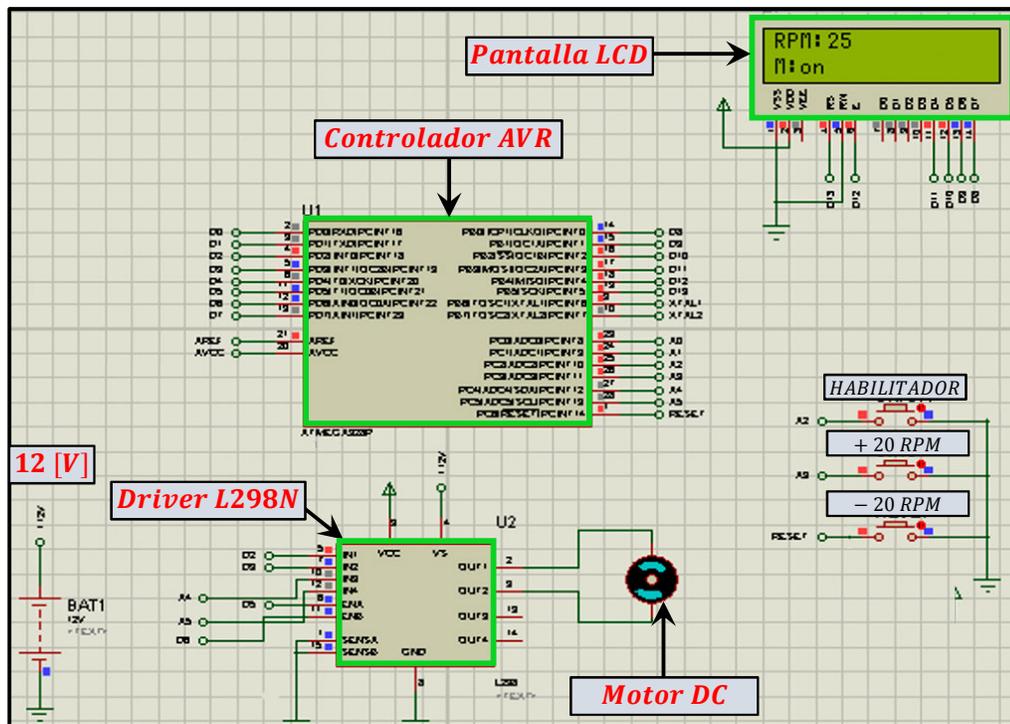


Figura 144. Placa de Control del Motor Banda – Módulo 1

Las señales que se deberán acondicionar para que trabajen con 5 [V] y 24 [V] serán los botones + 20 RPM, – 20 RPM y HABILITADOR, a los que se procede a nombrar como salidas S7, S8 y S9 para 24 [V] y S7X, S8X y S9X para 5 [V]. Estas señales serán acondicionadas mediante relés. Para las señales de 5 [V], se necesita de un circuito de acondicionamiento mediante un transistor en corte y saturación para activar al relé debido a que este necesita una alimentación de corriente mayor a la que le entrega un pin de cualquier microcontrolador. La tabla 27 detalla algunas características que se deberán tener en cuenta al diseñar el circuito de control.

**Tabla 27.**

**Datos Eléctricos para el dimensionamiento del circuito de control**

Magnitud	Señal de control		Potencia		Comutación
	BAJO	ALTO	RELÉ		
Voltaje:	0 V	5 V	Voltaje:	5 V	0 → 1
Corriente Máx:	0 mA	40 mA	Resistencia:	55 Ω	

La corriente necesaria en el relé es:

$$V = R \times I \quad (\text{Ecu. 3.89})$$

$$I = V/R = 5V/55\Omega = 91\text{ mA}$$

Como se observa, la corriente necesaria para activar el relé es de 91 mA, mayor a los 40 [mA] que nos entrega el pin del Arduino, por lo que se utiliza un transistor BJT como interruptor. El transistor seleccionado es el 2N3904, este posee un estado en desconexión de ‘normalmente abierto’, por lo que cumple con el requisito de conmutación (0 → 1). Sus características principales son las siguientes

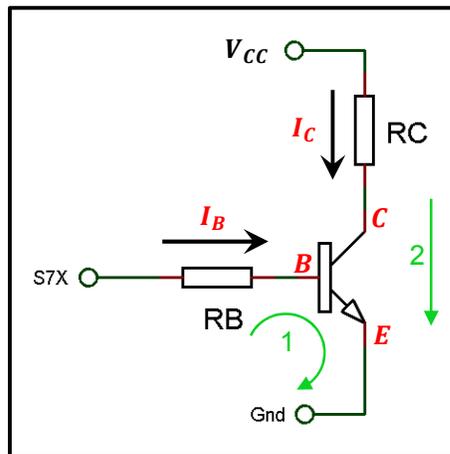
**Tabla 28.**

**Especificaciones Eléctricas del Transistor 2N3904**

BJT	Corriente Colector máx.	Voltaje del diodo Base - Emisor	Voltaje de Saturación Colector - Emisor	Ganancia
2N3904	<b>I<sub>c</sub></b>	<b>V<sub>BE</sub></b>	<b>V<sub>CE</sub></b>	<b>β</b>
	200 mA	0.7 V	0.3 V	100

Fuente: (ST Microelectronics, 2015)

El circuito del transistor es de la siguiente manera:



**Figura 145. Transistor 2N3405 en Corte y Saturación**

Hallamos las ecuaciones de las mallas:

$$1. \quad S7X = R_B \times I_B + V_{BE} \quad (\text{Ecu. 3.90})$$

$$2. \quad V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE} \quad (\text{Ecu. 3.91})$$

En donde:

$S7X = 5\text{ V}$  ; Voltaje de la señal de control

$V_{CC} = 5\text{ V}$  ; Voltaje de Alimentación del Relé

$R_C = 55\ \Omega$  ; Resistencia en la bobina del Relé

$I_B$  ; Corriente de la base (debe ser inferior a 20 mA)

$R_B$  ; Resistencia de la base del transistor

Con la fórmula de relación de ganancia en un transistor tenemos que:

$$\beta = I_C / I_B \quad (\text{Ecu. 3.92})$$

Con lo que se tiene:

$$I_C = \beta \times I_B$$

$$I_C = 100 \times I_B$$

Se despeja la corriente  $I_B$  en la ecuación de la malla 1:

$$S7X = R_B \times I_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{S7X - V_{BE}}{R_B} = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{ V}}{R_B}$$

$$I_B = 4.3\text{ V} / R_B$$

Se reemplaza  $I_C$  en función de  $I_B$  en la ecuación de la malla 2:

$$V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE}$$

$$5\text{ V} = 55\ \Omega \times (100 \times I_B) + 0.3\text{ V}$$

$$5\text{ V} = 55\ \Omega \times \left(100 \times 4.3\text{ V} / R_B\right) + 0.3\text{ V}$$

Finalmente se halla el valor de la resistencia  $R_B$ :

$$R_B = \frac{55\ \Omega \times 430\text{ V}}{5\text{ V} - 0.3\text{ V}}$$

$$R_B = 5031.9\ \Omega$$

Se opta por la resistencia comercial más cercana a este valor, la cual es:

$$R_B = 5.1\text{ K}\Omega$$

Finalmente se implementa el circuito para el acondicionamiento de 5 [Vdc] de las señales S7X, S8X y S9X, se adiciona un diodo 1N4007 (1000 V – 1A) en antiparalelo para evitar inconvenientes de corrientes inversas:

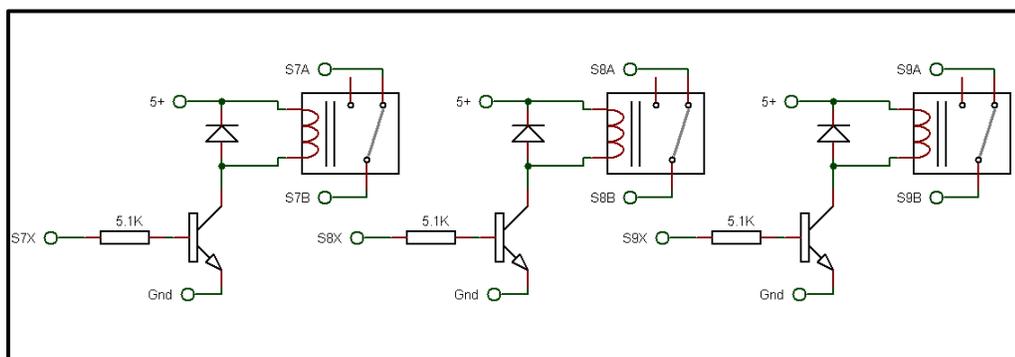
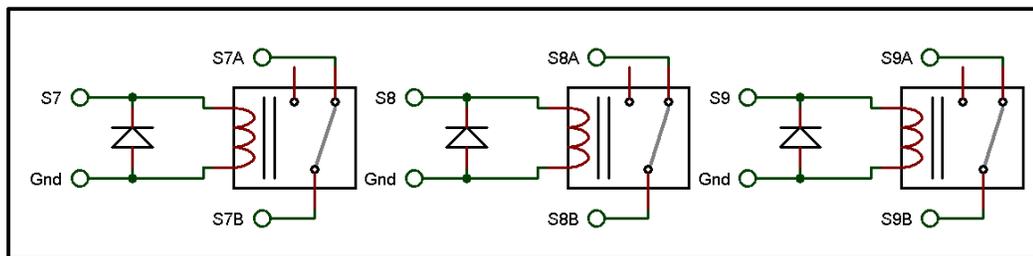


Figura 146. Acondicionamiento de las Señales S7X, S8X y S9X

El circuito de acondicionamiento para las señales de 24 [V] S7, S8 y S9 no representa un mayor problema debido a que los relés de 24 [Vdc] necesitan de una corriente inferior a los 91 [mA] debido a que su resistencia es mucho mayor en comparación a la de 5 [Vdc], además, los controladores industriales PLC, proporcionan una capacidad de corriente por pin mayor a los 500 [mA]. El diagrama para acondicionar las señales de 24 [Vdc] es la siguiente:



**Figura 147. Acondicionamiento de las Señales S7, S8 y S9**

En donde:

$$S7 = 24 V \quad S8 = 24 V \quad S9 = 24 V$$

### 3.3.1.2. Motor Eléctrico – Disco Rotatorio

El actuador encargado de generar el movimiento en el disco rotatorio es un motor DC con las siguientes características:

**Tabla 29.**

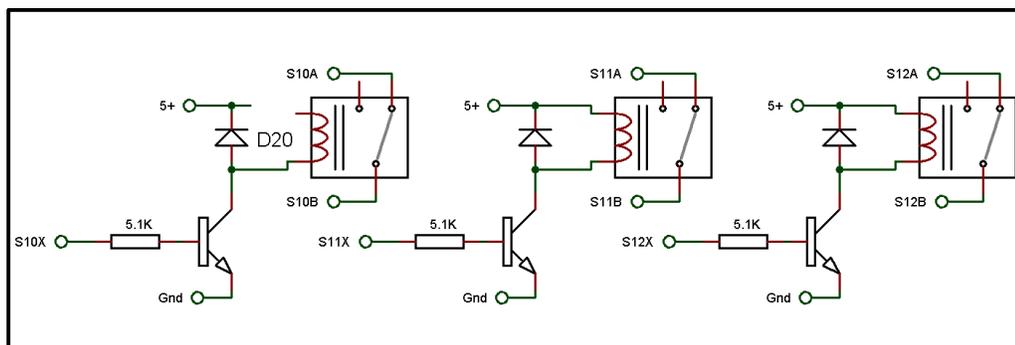
#### Datos Eléctricos del motor – Disco rotatorio

Especificaciones generales	
<b>Velocidad de Salida:</b>	30 [RPM]
<b>Voltaje DC:</b>	12 [V]
<b>Corriente Nominal:</b>	0.45 [A]
<b>Potencia:</b>	5.5 [W]

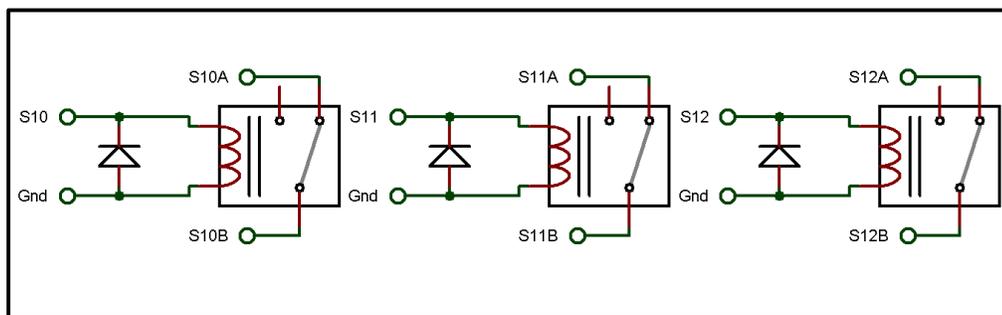
Fuente: (Metal Gearmotor, 2015)

Como se puede apreciar en la tabla 1, este motor cuenta con una corriente nominal para su funcionamiento inferior a 1 [A], posee de igual manera una velocidad de salida 30 RPM por lo que facilita el modo de control mediante señales PWM hacia el motor. La implementación de este motor la misma

implementada en el motor eléctrico de la banda, tendrá un circuito integrado ATmega328P encargado de controlar la velocidad y activación del motor en base a tres señales digitales; + 5 RPM, – 5 RPM y HABILITADOR, a las que se procede a nombrar como salidas S10, S11 y S12 para 24 [V] y S10X, S11X y S12X para 5 [Vdc]. El acondicionamiento de estas señales se lo realizará del mismo modo como se lo desarrollo en el motor de la banda. Se tendrán 3 relés en corte y saturación para las señales TTL a 5 [Vdc] y 3 relés conectados directamente a las señales de 24 [Vdc].



**Figura 148. Acondicionamiento de las Señales S10X, S11X y S12X**



**Figura 149. Acondicionamiento de las Señales S10, S11 y S12**

### 3.3.1.3. Electroválvulas para los pistones – Módulo 1

Los actuadores que intervienen en el sistema neumático implementado en cada módulo tendrán su control mediante electroválvulas. Estas serán 3/2 para los cilindros de simple efecto utilizados en el separado, y de 5/2 para el cilindro de doble efecto ocupado para cubrir la salida en la tolva. A continuación se especifican las propiedades eléctricas de las válvulas seleccionadas para el sistema neumático:

Tabla 30.

## Especificaciones Técnicas - Electroválvulas

Especificaciones generales	
<b>VÁLVULA 3/2 MONOESTABLE</b>	
<b>Voltaje de Control:</b>	18 – 30 [V]
<b>Corriente Solenoide:</b>	0.6 [A]
<b>Diámetro de Conexión:</b>	1/4 [Pulg]
<b>Rango de Presión:</b>	101 – 965 [KPa]
<b>VÁLVULA 3/2 MONOESTABLE</b>	
<b>Voltaje de Control:</b>	24 [V]
<b>Corriente Solenoide:</b>	0.7 [A]
<b>Diámetro de Conexión:</b>	1/4 [Pulg]
<b>Rango de Presión:</b>	101 – 965 [KPa]

Fuente: (Catálogo Válvulas direccionales neumáticas Chelic, 2015)

Como se puede observar en la tabla 30, cada electroválvula puede trabajar tranquilamente con un voltaje de 24 [Vdc] proveniente de un PLC y necesita una corriente inferior a la que abastece cualquier PLC (2 [A]). Para las señales de 5 [Vdc] se optó por implementar un relé que permita funcionar como un interruptor para la conexión de las electroválvulas a 24 [Vdc].

Basándose en la manera con la que se nombran a las señales de control en las electroválvulas por parte de los módulos didácticos FESTO. Las señales tendrán las siguientes denominaciones:

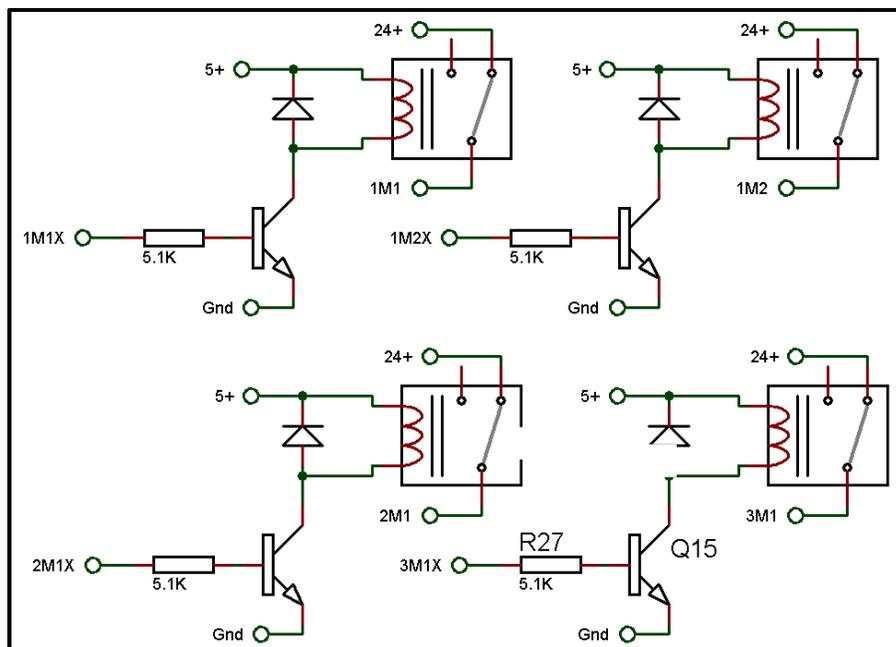
Tabla 31.

## Tabla de Actuadores Neumáticos – Módulo 1

Función	Actuador		Válvula de Control		Señales	
<b>Cubrir la salida de la tolva</b>	Cilindro Doble Efecto	1A	Electroválvula Biestable 5/2	1V	Salida	Entrada
					<b>1M1</b>	<b>1M2</b>
<b>Función de Separado</b>	Cilindro Simple Efecto	2A	Electroválvula Monoestable 3/2	2V	<b>2M1</b>	
<b>Función de Separado</b>	Cilindro Simple Efecto	3A	Electroválvula Monoestable 3/2	3V	<b>3M1</b>	

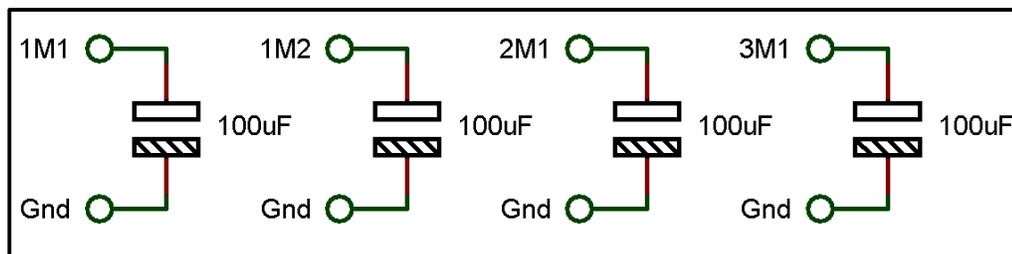
Al igual que el control de los motores DC, las señales de control de los cilindros se denominarán 1M1, 1M2, 2M1 y 3M1 para 24 [Vdc] y 1M1X, 1M2X, 2M1X y 3M1X para 5 [Vdc].

Previamente ya se realizó los cálculos del transistor BJT 2N3904 en corte y saturación para hallar la resistencia necesaria para el relé, la cual es de  $5.1 \Omega$ . Se conectó también en antiparalelo a un diodo 1N4007 para evitar contracorrientes. El diseño del circuito acondicionador para las señales de control a 5 [Vdc] en cada uno de los pistones es el siguiente:



**Figura 150. Acondicionamiento de Señales 1M1X, 1M2X, 2M1X y 3M1X**

Adicionalmente se incorporaron capacitores de  $100 \mu F$  en cada señal proveniente de las electroválvulas con el objetivo de filtrar posibles caídas de voltaje.

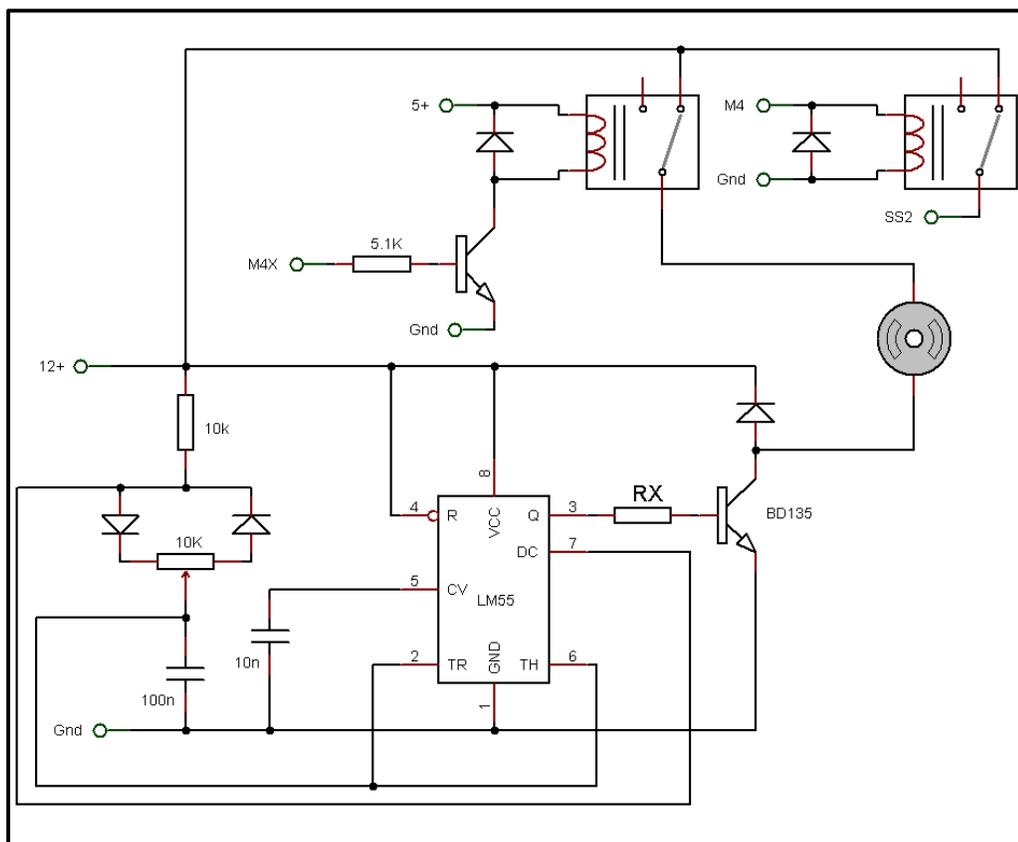


**Figura 151. Acondicionamiento de Señales 1M1, 1M2, 2M1 y 3M1**

## MÓDULO DIDÁCTICO 2

### 3.3.1.4. Motor Eléctrico – Banda Transportadora 2

Para el control de este motor, se optó por un diseño más simplificado en relación al utilizado en el Módulo 1. Se determinó usar un control de activación y desactivación mediante un relé de 5 [Vdc] para las señales TTL y un relé de 24 [Vdc] para las señales que vendrían de un PLC. Para el control y calibración de su velocidad, se utilizó un temporizador LM555 en modo astable, con el objetivo de poder controlar una señal PWM hacia un transistor de potencia que permita disminuir o aumentar el voltaje de alimentación al motor, y por ende aumentar o reducir su velocidad. Al motor DC de la banda transportadora se lo ha nombrado como Motor M4, se debe tener en consideración que el circuito de control para los relés de 5 [Vdc] y 24 [Vdc] será el mismo ya implementado en los actuadores del módulo 1. El diseño del circuito para el control de velocidad y activación del motor M4 es el siguiente:



**Figura 152. Circuito de Control del Motor M4**

Se calcula la resistencia RX que va a permitir tener el circuito de corte y saturación para el transistor de potencia BD135. Se ha elegido utilizar este transistor debido a que soporta corrientes superiores al 1 [A]. Las propiedades eléctricas del motor utilizado en la banda transportadora del módulo 2 son las mismas del motor usado en el módulo 1 por lo que se tiene lo siguiente:

$$V_{MOTOR} = 12 V \quad I_{MOTOR} = 1.36 A$$

Calculamos la resistencia aproximada en el motor a su máxima carga de corriente:

$$R_{MOTOR} = V/I \quad (\text{Ecu. 3.89})$$

$$R_{MOTOR} = V/I = 12 V / 1.36 A \quad ; \quad R_{MOTOR} = 8.824 \Omega$$

Los datos técnicos importantes del transistor de potencia que se ocupará son los siguientes:

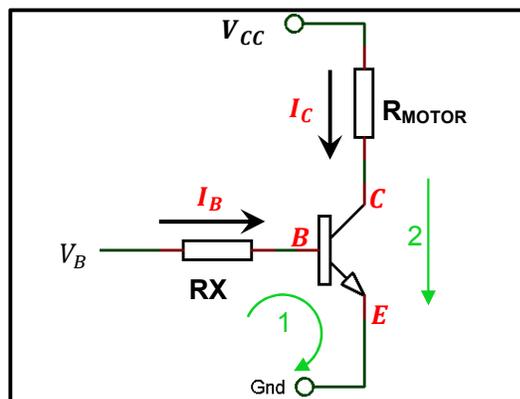
**Tabla 32.**

**Especificaciones Eléctricas del Transistor 2N3904**

Transistor	Corriente Colector máx.	Voltaje del diodo Base - Emisor	Voltaje de Saturación Colector - Emisor	Ganancia
BD135	<b>I<sub>c</sub></b>	<b>V<sub>BE</sub></b>	<b>V<sub>CE</sub></b>	<b>β</b>
	<b>1.5 A</b>	<b>0.7 V</b>	<b>0.3 V</b>	<b>100</b>

Fuente: (ST Microelectronics, 2015)

Calculamos el valor de la resistencia analizando las corrientes en las mallas que intervienen:



**Figura 153. Transistor BD135 en Corte y Saturación**

Hallamos las ecuaciones de las mallas:

$$1. \quad V_B = RX \times I_B + V_{BE} \quad (\text{Ecu. 3.93})$$

$$2. \quad V_{CC} = R_{MOTOR} \times I_C + V_{CE} \quad (\text{Ecu. 3.94})$$

Se despeja la corriente  $I_B$  en la ecuación de la malla 1:

$$V_B = RX \times I_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{RX} = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{ V}}{RX}$$

$$I_B = 4.3\text{ V}/RX$$

Se reemplaza  $I_C$  en función de  $I_B$  en la ecuación de la malla 2:

$$V_{CC} = R_{MOTOR} \times I_C + V_{CE}$$

$$12\text{ V} = 8.824\ \Omega \times (100 \times I_B) + 0.3\text{ V}$$

$$12\text{ V} = 8.824\ \Omega \times (100 \times 4.3\text{ V}/RX) + 0.3\text{ V}$$

Finalmente se halla el valor de la resistencia  $R_B$ :

$$RX = \frac{8.824\ \Omega \times 430\text{ V}}{12\text{ V} - 0.3\text{ V}}$$

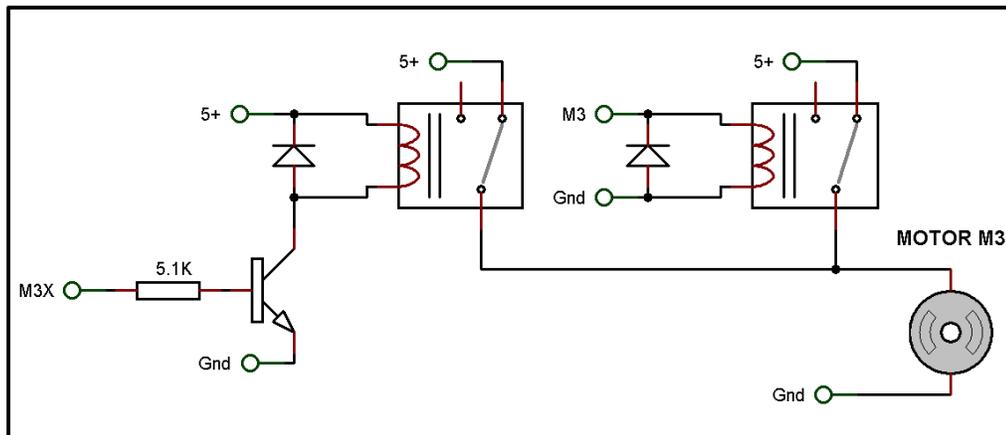
$$RX = 308.48\ \Omega$$

Se opta por la resistencia comercial más cercana a este valor, la cual es:

$$RX = 330\ \Omega$$

### 3.3.1.5. Motor Eléctrico – Ajuste de Tapado

El diseño del sistema de control de este motor se basará en un circuito conformado por relés de 5 [Vdc] en corte y saturación y de 24 [Vdc] conectados directos a la señal. La alimentación del motor se la realizará por contactos de relés. El motor fue previamente truncado mientras se analizaba el proceso de tapado debido a que se necesitaba un motor que tuviera una velocidad aproximada de 60 RPM y que pudiese girar más de 180°. El diseño del circuito que controlará este motor fue el siguiente:



**Figura 154. Circuito de Control del Motor M3**

### 3.3.1.6. *Electroválvulas para los pistones – Módulo 2*

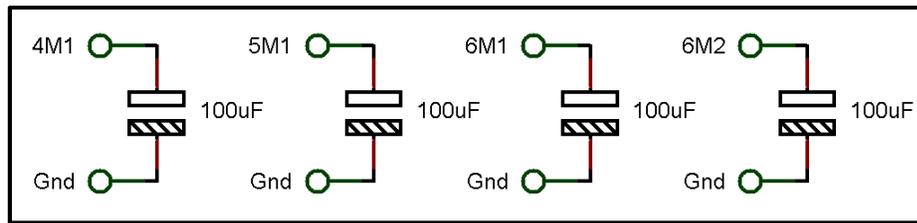
El circuito de control para las electroválvulas de los pistones del módulo didáctico 2 fue exactamente el mismo realizado en el módulo 1 debido a que se contaban con dos pistones de simple efecto y un pistón doble efecto. Se optó por utilizar el mismo tipo de electroválvula 3/2 para cada uno de los pistones simple efecto de separado y de sujeción y el mismo tipo de electroválvula 5/2 para el cilindro doble efecto. Las señales fueron nombradas del siguiente modo:

**Tabla 33.**

**Tabla de Actuadores Neumáticos – Módulo 2**

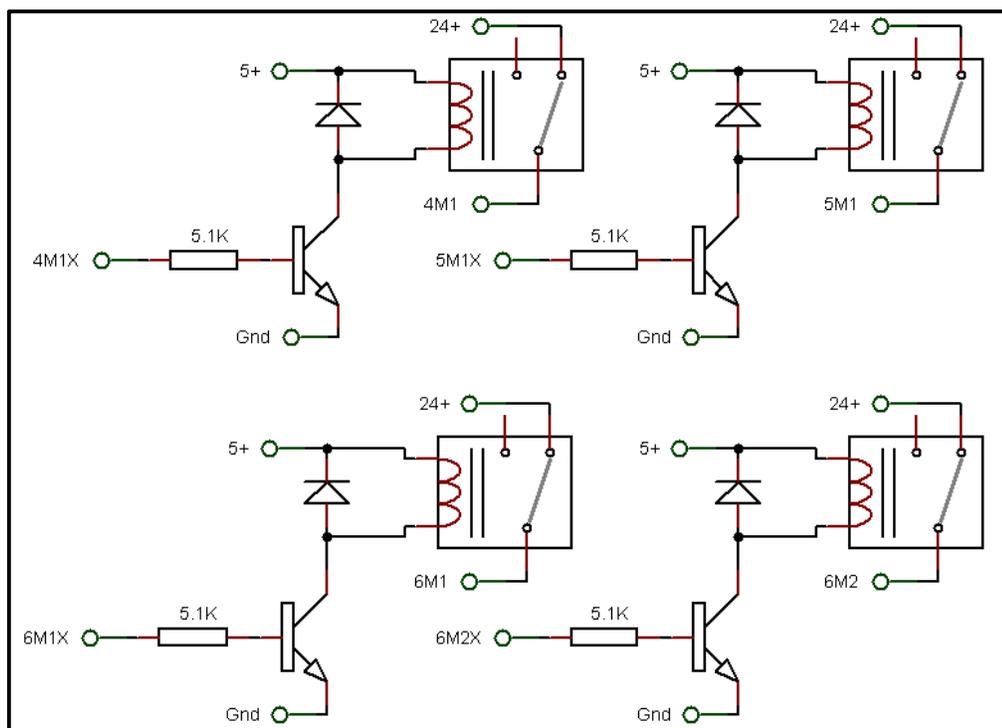
Función	Actuador		Válvula de Control		Señales	
					Salida	Entrada
<b>Ajuste de Tapado</b>	Cilindro Doble Efecto	6A	Electroválvula Biestable 5/2	6V	6M1	6M2
<b>Función de Separado</b>	Cilindro Simple Efecto	5A	Electroválvula Monoestable 3/2	5V	5M1	
<b>Función de Sujeción</b>	Cilindro Simple Efecto	4A	Electroválvula Monoestable 3/2	4V	4M1	

Para las señales de 24 [Vdc] se considera incorporar un capacitor de 100  $\mu F$  en paralelo a cada una de las señales con el fin de evitar desactivaciones inesperadas en los actuadores por caídas de voltajes.



**Figura 155. Acondicionamiento de Señales 4M1, 5M1, 6M1 y 6M2**

Finalmente, el circuito de acondicionamiento para las señales TTL en las tres electroválvulas fue realizado de la siguiente manera:

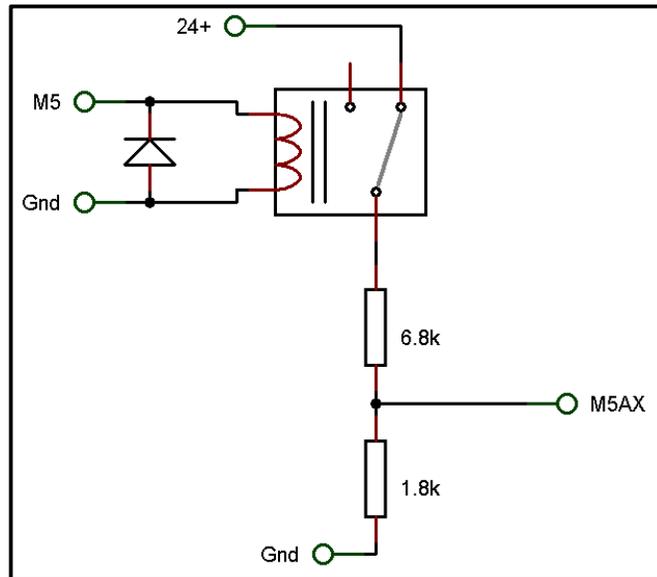


**Figura 156. Acondicionamiento de Señales 4M1X, 5M1X, 6M1X y 6M2X**

### 3.3.1.7. Circuito de Control del Brazo Electromecánico

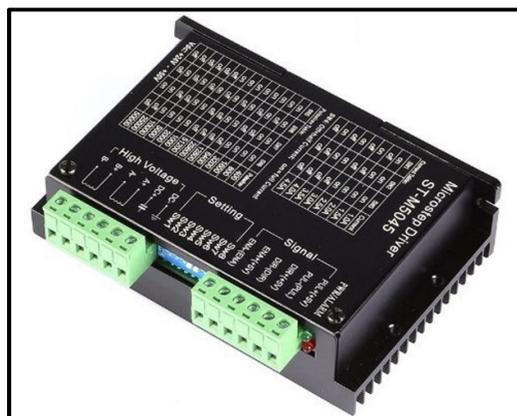
En base al diseño mecánico implementado para el brazo electromecánico, se contarán con dos servomotores SG90 para el control del mecanismo del gripper y un motor a pasos para el posicionamiento angular del eslabón principal. Estos motores tendrán su propia placa de control mediante una plataforma de Arduino NANO. Este control tiene la finalidad de implantar una secuencia definida en el brazo electromecánico la cual será controlada en el Arduino NANO únicamente por una señal desde la placa principal a la que

denominaremos M5. Esta señal deberá tener un acondicionamiento para 5 [Vdc], al que denominaremos M5X y será de la siguiente manera:



**Figura 157. Acondicionamiento de la señal M5X**

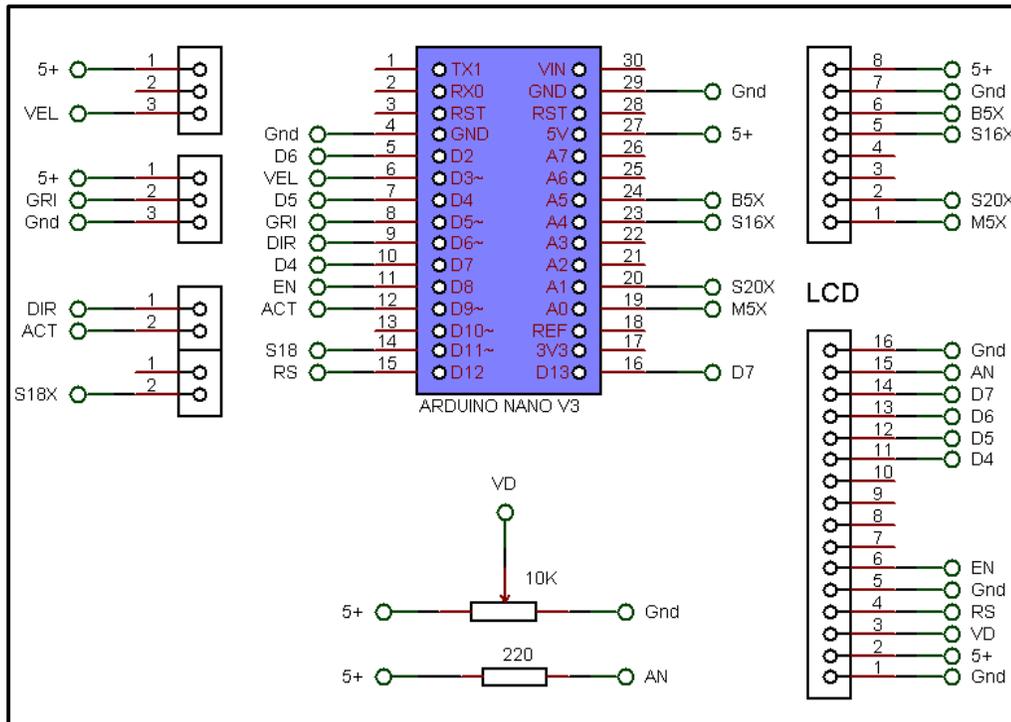
El motor a pasos NEMA 23, trabaja a 24 [Vdc] y necesita una corriente por hilo de 2.8 [A]. Para el uso adecuado de este motor, se optó por adquirir un driver de potencia para motores a paso capaz de abastecer la corriente necesaria en el rotor. El driver elegido fue el 2M542, el cual posee una corriente de abastecimiento máxima de 4.2 [A] y controla al motor mediante tres señales: Dirección, Habilitación y Velocidad.



**Figura 158. Driver para Motor a Pasos 2M542**

Fuente: (SaintSmart CNC, 2015)

El circuito de control del brazo electromecánico también contará con un LCD encargado de mostrar que tipo de envase fue rechazado en el proceso de tapado por lo que se tendrá un conector adicional para este display. Las conexiones al Arduino NANO se las realizarán de la siguiente manera:

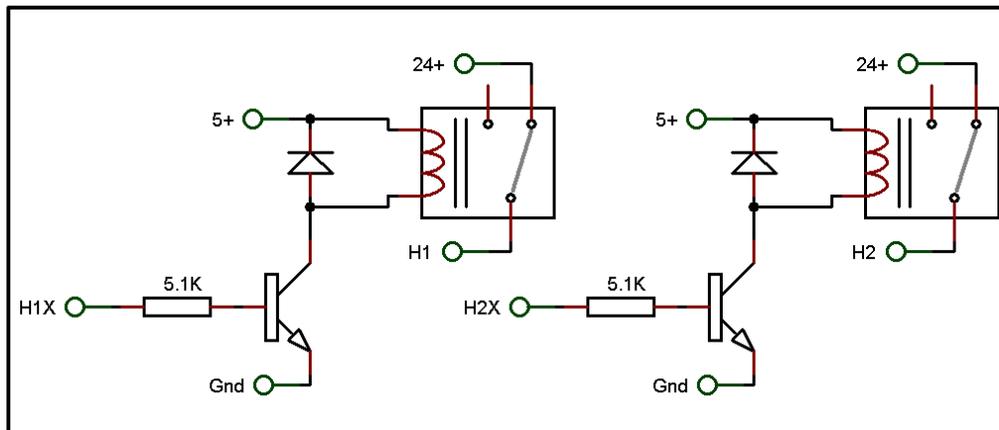


**Figura 159. Circuito de Control del Brazo Electromecánico**

En donde las señales importantes para el control de los motores del brazo son: GRI para la señal de control de los motores SG90 y DIR, ACT y VEL para las señales de control del motor a pasos.

### 3.3.1.8. Luces Indicadoras

El acondicionamiento de las luces indicadoras de los dos módulos se basa en un circuito conformado por relés de 5 [Vdc] en corte y saturación y de 24 [Vdc] conectados directos a la señal. Sus nombres serán de H1 para la iluminación del primer módulo y H2 para la iluminación del segundo módulo. Las dos luces funcionan con voltajes de 24 [Vdc] y con una corriente de consumo promedio de entre 0.8 – a 1 [A], para el acondicionamiento a señales TTL a las que nombraremos H1X y H2X, se consideró el siguiente diseño:



**Figura 160. Acondicionamiento de Señales H1X y H2X**

### 3.3.2. Selección y Acondicionamiento de Sensores

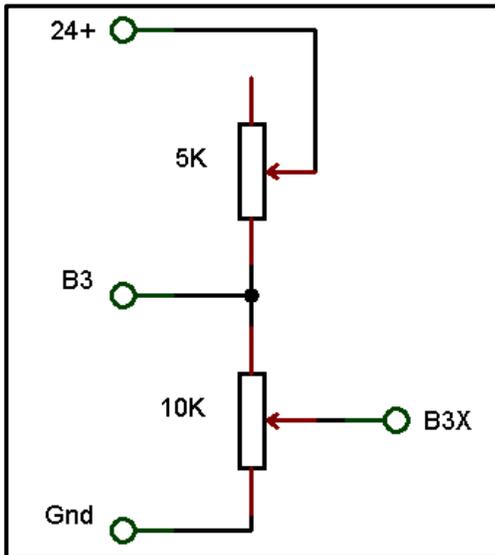
Los sensores que conformarán las estaciones de trabajo serán los elementos encargados de detectar los colores, niveles y presencias de las tapas, azúcar y envases respectivamente, se tiene un diverso número y tipo de sensores para cada una de estas funciones, desde sensores infrarrojos hasta sensores tipo mecánico. A continuación se detallan los circuitos de acondicionamiento de cada uno de los sensores implementados en el sistema.

#### MÓDULO DIDÁCTICO 1

##### 3.3.2.1. Sensores Capacitivos de Nivel y de Posicionamiento.

Para la primera estación de trabajo, se requerirán inicialmente dos sensores para la detección de nivel de llenado del envase y para ubicar el disco rotatorio del motor M2 en una posición inicial adecuada. Para cumplir con este requerimiento, se optó por usar sensores capacitivos, los cuales nos permiten una detección de metales y de sólidos refractantes pero evita la detección de plásticos transparentes. Este punto es muy importante debido a que en la zona de dosificación, se necesita implementar un sensor capaz de detectar el sólido que se encuentre dosificando y no el envase plástico. Los sensores capacitivos implementados cuentan con un rango de detección de aproximadamente 1 cm, se energizan con 24 [Vdc] y envían una señal de igual valor al detectar un metal o un sólido refractante en su rango. A estos sensores los denominaremos S1 para el sensor detector de la posición del disco

metálico en el motor M2 y B3 para la detección del nivel de Llenado. Su acondicionamiento para las señales de 5 [Vdc] estará compuesto por un divisor variable como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 161. Acondicionamiento de los Sensores Capacitivos**

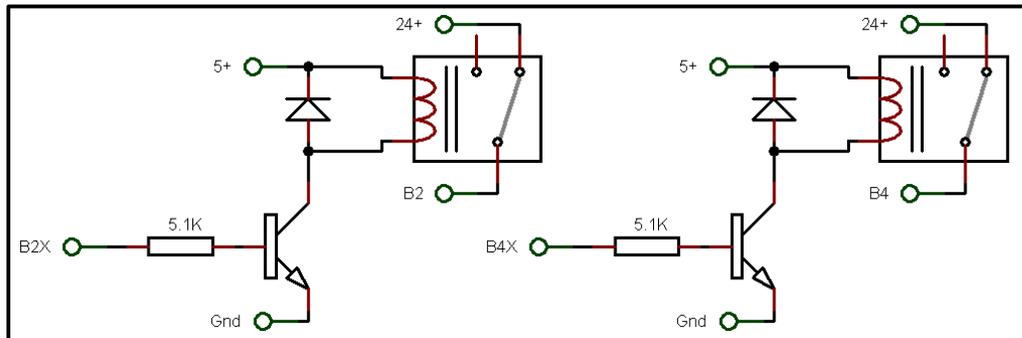
Una vez implementado estos divisores variables, el sensor capacitivo B3 deberá ser calibrado una vez que se encuentre instalado en la estación

### 3.3.2.2. Sensores Infrarrojos de Presencia.

Para la detección del envase en los diferentes tramos del proceso de dosificación, se necesitará un sensor capaz de detectar al envase tanto vacío como lleno. Para la implementación de estos sensores, se optó por un sensor infrarrojo SHT-015A, el cual nos permitirá detectar al envase en un rango de entre 3 mm a 50 mm, un rango lo suficientemente amplio para detectar a los envases en cualquier punto de la banda.

Se ubicarán dos sensores de este tipo en el módulo 1, uno para la detección del envase al llegar a la zona de dosificación por debajo de la tolva (al que denominaremos B2) y otro a la salida del disco rotatorio hacia la banda transportadora (al que denominaremos B4) Este sensor se alimenta con un voltaje de 5 [Vdc] y envía una señal del mismo valor cuando su rango de detección se ve interrumpido por algún elemento (en este caso un envase).

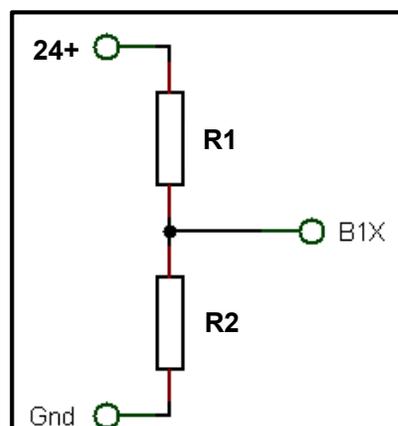
Para su acondicionamiento a señales de 24 [Vdc] se utilizará el mismo circuito del transistor 2N3904 en corte y saturación utilizado en los actuadores:



**Figura 162. Acondicionamiento de Señales B2 y B4**

### 3.3.2.3. Sensor Fotoeléctrico de Presencia.

El sensor implementado para la presencia de los envases en el arranque del proceso de dosificación es un sensor fotoeléctrico WT100-P1439, el cual trabaja con un voltaje de alimentación de 24 [Vdc] y envía una señal del mismo valor por su pin de control al momento de detectar un objeto en su rango de detección. Este sensor tiene un rango de detección de 400 mm. El sensor tiene una corriente de salida máxima de 10 mA. Esta corriente es la suficiente para transmitirse como señal de entrada al PLC, a la que denominaremos B1, sin embargo para la señal de 5 [Vdc] se requerirá de un acondicionamiento. Para la implementación de este sensor se realizará un divisor de voltaje para la señal de 5 [Vdc] a la que denominaremos B1X.



**Figura 163. Divisor de Voltaje para el Sensor Fotoeléctrico**

Se requiere tener una corriente en la señal de 5 [mA] como máximo, por lo que la resistencia total del divisor deberá ser mayor al siguiente valor:

$$V = R \times I \quad (\text{Ecu. 3.89})$$

$$R = V/I = 24/0.005$$

$$\mathbf{R = 4800 \Omega}$$

Con un valor mayor a 4800  $\Omega$ , se tendrá una corriente menor a los 5 [mA]. Para el cálculo del divisor, la resistencia R1 se fija el valor de una resistencia comercial igual a 6800  $\Omega$  y se calcula la resistencia R2 teniendo en cuenta que se espera tener 5 [V] en el punto B1X.

$$V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_2 \quad (\text{Ecu. 3.95})$$

En donde:

$V_1 = \text{Voltaje divisor (5 V)}$

$V_2 = \text{Voltaje de alimentación del divisor (24 V)}$

$R_1 = \text{Resistencia Inicial del Divisor (6.8 k}\Omega\text{)}$

$R_2 = \text{Resistencia Inicial del Divisor (R2)}$

Se calcula entonces, el valor de la resistencia R2:

$$5 = \frac{R_2}{6800 + R_2} \times 24$$

$$5 \times (6800 + R_2) = 24 \times R_2$$

$$34000 + 5 \times R_2 = 24 \times R_2$$

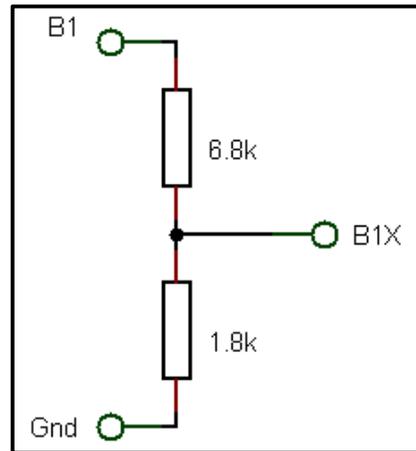
$$19 \times R_2 = 34000$$

$$\mathbf{R_2 = 1789.47 \Omega}$$

Se opta por la resistencia comercial más cercana a este valor, la cual es:

$$\mathbf{R_B = 1.8 K\Omega}$$

Una vez calculadas las resistencias en el divisor de voltaje, el circuito de acondicionamiento del sensor fotoeléctrico es el siguiente:

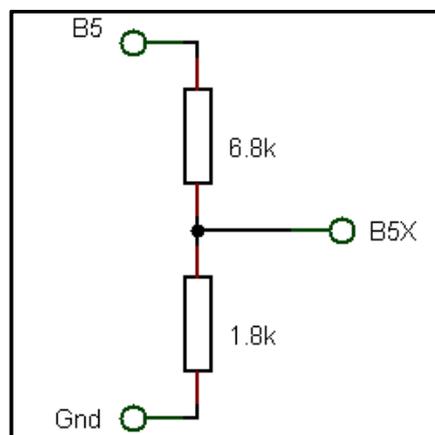


**Figura 164. Acondicionamiento de la señal B1**

## MÓDULO DIDÁCTICO 2

### 3.3.2.4. *Sensor Óptico de Color.*

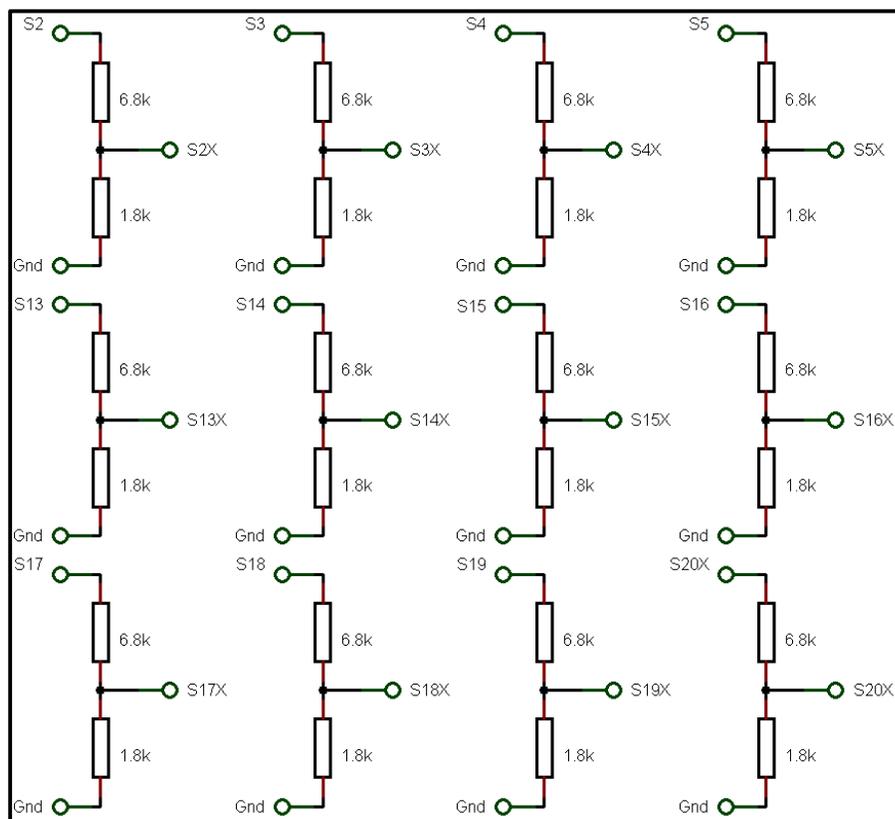
El sensor implementado para la detección del color de tapas es un sensor óptico TCRT5000. Este dispositivo se alimenta con 24 [Vdc] y trabaja enviando una señal del mismo valor cuando una tapa de color amarillo se encuentra en su rango de detección (aproximadamente 2 mm), mientras que; con tapas de color negro envía una señal en bajo de 0 [Vdc]. A este sensor se lo nombro como Sensor de Color B5 y su acondicionamiento para la señal de 5 [Vdc] a la que denominaremos B5X fue el siguiente:



**Figura 165. Acondicionamiento de la Señal B5**

### 3.3.2.5. Finales de Carrera, Pulsadores e Interruptores.

El acondicionamiento para los interruptores, pulsadores manuales y de tipo mecánico (como Finales de carrera), al ser exclusivamente contactos que estarán N.C o N.A. se los acondicionó conectado a uno de sus extremos las señales de 24 [Vdc] y realizando el mismo divisor de relación 24:5 implementado en el sensor fotoeléctrico B1. Se tendrá 4 finales de carrera, dos para detectar el posicionamiento del brazo, y dos para detectar el posicionamiento del envase a lo largo de la banda en el módulo 2, y además 3 pulsadores y 2 interruptores en cada módulo, a continuación se muestra el acondicionamiento de estas señales:



**Figura 166. Acondicionamiento de Señales de Pulsadores y Switchs**

### 3.3.3. Conexiones Externas de 5 [Vdc] y 24 [Vdc]

Una vez diseñado todos los acondicionamientos para que los actuadores y sensores puedan trabajar con señales de 5 [Vdc] y 24 [Vdc] se realizó el diseño completo de los circuitos de control de cada módulo y posteriormente

se lo implementó como placas de control en circuitos impresos. Los planos de las placas de control se encuentran en los Anexos 3 – 1, 3 – 2 y 3 – 3.

Cada módulo contará con dos paquetes de borneras, uno para las conexiones de 5 [Vdc] y otro para las de 24 [Vdc]. Estas conexiones vendrán de la placa de control de cada módulo y estarán enlazadas mediante cables DB25.

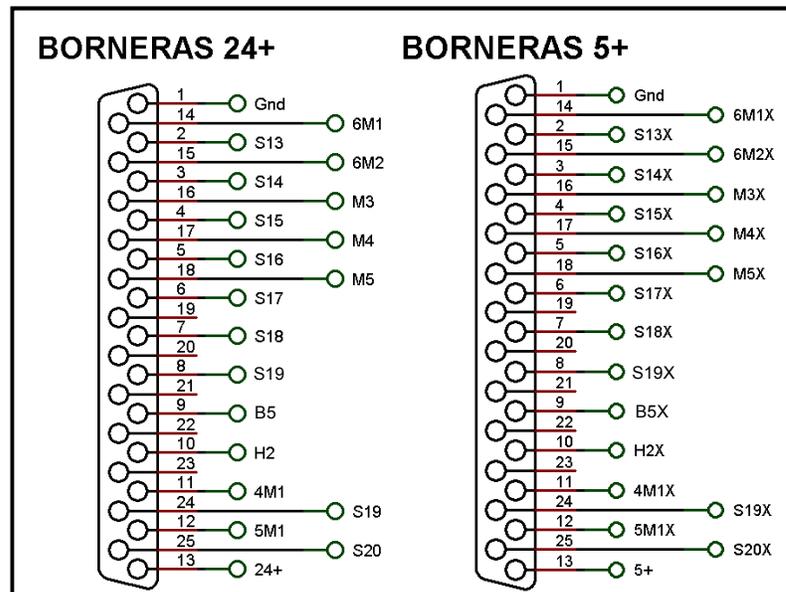


Figura 167. Conexiones de Salida para las Borneras – Módulo 2

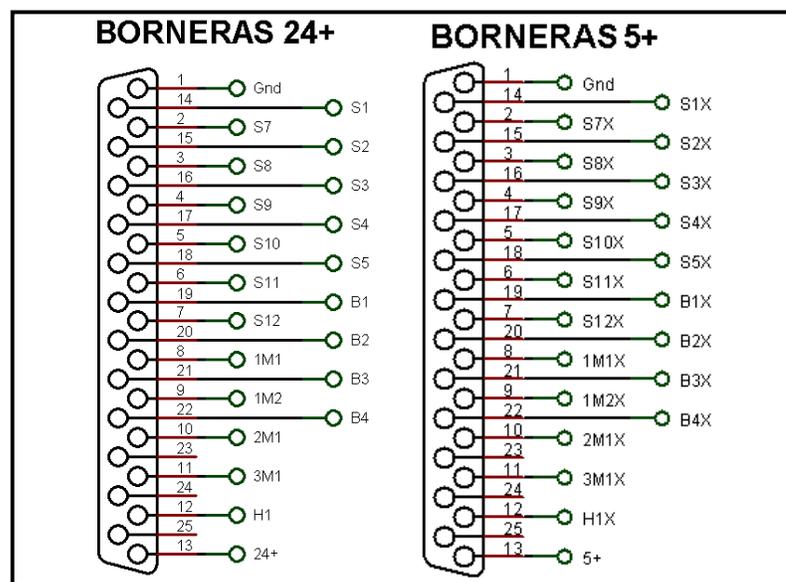


Figura 168. Conexiones de Salida para las Borneras – Módulo 1

### 3.3.4. Selección de Fuentes de alimentación.

Una vez que se ha diseñado todos los circuitos de acondicionamiento para cada componente eléctrico, se procede a analizar qué tipo de fuente de voltaje se necesitará para abastecer a todos los sistemas electrónicos. Es necesario tener en cuenta cuál sería el consumo de potencia total estimado en cada módulo para que de esta manera se pueda acoplar una fuente adecuada.

#### MÓDULO DIDÁCTICO 1.

**Tabla 34.**

**Tabla de Consumo por Elementos – Módulo 1**

Elemento	Cantidad	Voltaje	Corriente
<b>Motores DC:</b>	2	12 [V]	1.81 [A]
<b>Electroválvulas 3/2:</b>	2	24 [V]	1.2 [A]
<b>Electroválvulas 5/2:</b>	1	24 [V]	0.7 [A]
<b>S. Fotoeléctrico:</b>	1	24 [V]	0.03 [A]
<b>S. Infrarrojo</b>	2	5 [V]	0.4 [A]
<b>S. Capacitivos:</b>	1	24 [V]	0.005 [A]
<b>Relés a 24 [Vdc]:</b>	6	24 [V]	0.42 [A]
<b>Relés a 5 [Vdc]:</b>	13	5 [V]	1.182 [A]
<b>Pulsadores, Switchs:</b>	5	24 [V]	0.015 [A]
<b>Otros Elementos:</b>	Varios	5 [V]	1 [A]

El consumo de corriente es el siguiente:

**Tabla 35.**

**Tabla de Consumo de Energía – Módulo 1**

Voltaje	Corriente	Potencia
5 [V]	2.58 [A]	12.91 [W]
12 [V]	1.81 [A]	21.72 [W]
24 [V]	2.37 [A]	56.88 [W]
<b>Total:</b>		<b>91.51 [W]</b>

Se requerirá una fuente que posea los voltajes de 5, 12, y 24 [Vdc] con una potencia promedio de 100 [W] para el módulo didáctico 1.

MÓDULO DIDÁCTICO 2.

**Tabla 36.**

**Tabla de Consumo por Elementos – Módulo 2**

Elemento	Cantidad	Voltaje	Corriente
<b>Motor DC:</b>	1	12 [V]	1.36 [A]
<b>Servomotores:</b>	2	5 [V]	0.08 [A]
<b>Motor a pasos</b>	1	24 [V]	2.8 [A]
<b>Electroválvulas 3/2:</b>	2	24 [V]	1.2 [A]
<b>Electroválvulas 5/2:</b>	1	24 [V]	0.7 [A]
<b>S. Óptico de Color:</b>	1	24 [V]	0.06 [A]
<b>Relés a 24 [Vdc]:</b>	3	24 [V]	0.21 [A]
<b>Relés a 5 [Vdc]:</b>	7	5 [V]	0.637 [A]
<b>Pulsadores, Switchs:</b>	8	24 [V]	0.024 [A]
<b>Otros Elementos:</b>	Varios	5 [V]	1 [A]

El consumo de corriente es el siguiente:

**Tabla 37.**

**Tabla de Consumo de Energía – Módulo 2**

Voltaje	Corriente	Potencia
5 [V]	1.717 [A]	8.585 [W]
12 [V]	1.360 [A]	16.32 [W]
24 [V]	4.994 [A]	119.86 [W]
<b>Total:</b>		<b>144.76 [W]</b>

Se requerirá una fuente que posea los voltajes de 5, 12 y 24 [Vdc] con una potencia promedio de 150 [W]. Para este módulo, se utilizarán dos fuentes de alimentación, una de 120 [W] a 24 [Vdc] y otra de 5 y 12 [Vdc] capaz de abastecer una potencia promedio de 30 [W].

## **CAPÍTULO 4**

### **4. MANUAL DE USUARIO**

El manual de usuario está compuesto con especificaciones generales de cada uno de los módulos didácticos. Cuenta con tablas de componentes, tablas de sistemas, tablas de conexiones, diagramas de conexiones eléctricas y neumáticas, dimensiones generales de las estructuras, especificaciones técnicas, modo de operación del brazo electromecánico y algunas precauciones al momento de utilizar los módulos.

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES**

Cada uno de los módulos didácticos cuenta con un conjunto de elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos que influyen directamente en el proceso, siendo estos elementos, los actuadores, sensores y señales de control que se especifican a continuación.

Los actuadores son los elementos encargados de generar un efecto dinámico en cada uno de los sistemas que componen a las estaciones, como por ejemplo el sistema de dosificación, de bandas transportadoras, de almacenaje, de transporte entre módulos y de tapado. Entre los actuadores que poseen los módulos tenemos: motores DC, servomotores, motores a paso, cilindros neumáticos de simple y de doble efecto.

Los sensores son los elementos encargados de detectar ciertos parámetros que intervienen en la secuencia del proceso, como por ejemplo el nivel de llenado, color de la tapa o la presencia de algún envase o componente mecánico. Entre los sensores que poseen los módulos tenemos sensores capacitivos, infrarrojos, fotoeléctricos, finales de carrera y sensores ópticos de color.

Las señales de control también se pueden generar indirectamente ya sea mediante electroválvulas y luces indicadoras como señales de salida, o mediante pulsadores e interruptores como señales de entrada.

## MÓDULO DIDÁCTICO 1

A continuación se especifican los componentes principales de la estación de trabajo 1 y su respectiva nomenclatura.

**Tabla 38.**

**Tabla de Componentes en el Módulo 1**

NOMENC.	SEÑAL TTL	ELEMENTO
<b>ACTUADORES Y SEÑALES DE SALIDA</b>		
M1		MOTOR DC BANDA TRANSPORTADORA
S10	S10X	PULSADOR (+ 20 RPM M1)
S11	S11X	PULSADOR (– 20 RPM M1)
S12	S12X	PULSADOR (HABILITADOR M1)
M2		MOTOR DC DISCO GIRATORIO
S7	S7X	PULSADOR (+ 5 RPM M2)
S8	S8X	PULSADOR (– 5 RPM M2)
S9	S9X	PULSADOR (HABILITADOR M2)
1A		PISTÓN DOBLE EFECTO CONTROL DE DOSIFICADO
1V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 1A)
1V2		ELECTROVÁLVULA (ENTRADA 1A)
1M1	1M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 1V1)
1M2	1M2X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 1V2)
2A		PISTÓN SIMPLE EFECTO CLASIFICADO
2V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 2A)
2M1	2M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 2V1)
3A		PISTÓN SIMPLE EFECTO CLASIFICADO
3V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 3A)
3M1	3M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 3V1)
H1	H1X	LUZ INDICADORA
<b>SENSORES Y SEÑALES DE ENTRADA</b>		
S1	S1X	SENSOR CAPACITIVO (DETECTOR POSICIÓN DISCO)
S2	S2X	SWITCH MODO COMPLETO (N.A.)
S3	S3X	PULSADOR START (N.A.)
S4	S4X	PULSADOR STOP (N.C.)
S5	S5X	PULSADOR FIN DE LLENADO (N.C.)
B1	B1X	SENSOR FOTOELÉCTRICO (DETECCIÓN DE ENVASE)
B2	B2X	SENSOR INFRARROJO (DETECCIÓN DE ENVASE)
B3	B3X	SENSOR CAPACITIVO (DETECCIÓN DE NIVEL)
B4	B4X	SENSOR INFRARROJO (DETECCIÓN DE ENVASE)

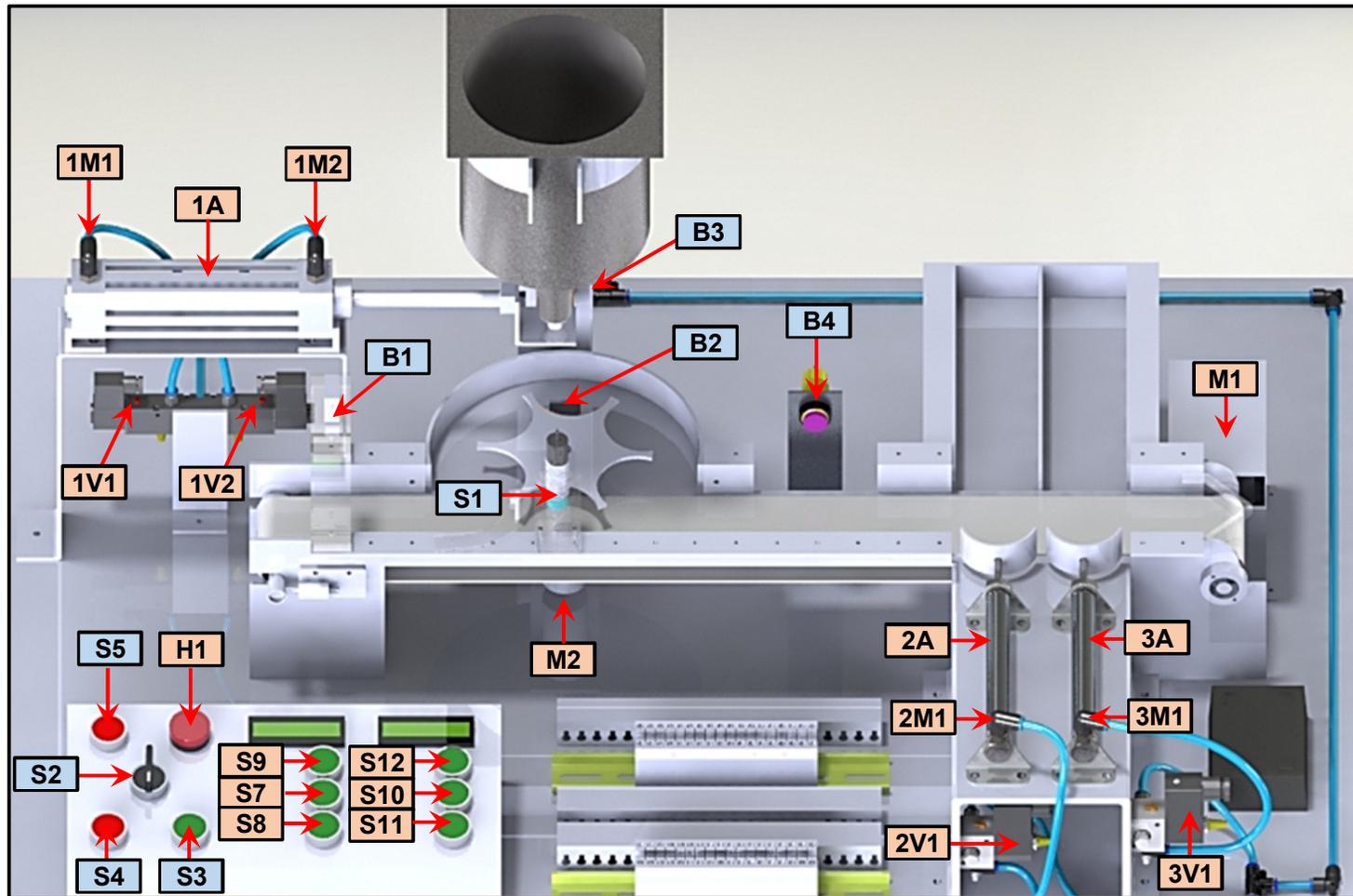


Figura 169. Elementos del Módulo Didáctico 1

## MÓDULO DIDÁCTICO 2

A continuación se especifican los componentes principales de la estación de trabajo 2 y su respectiva nomenclatura.

**Tabla 39.**

**Tabla de Componentes en el Módulo 2**

NOMENC.	SEÑAL TTL	ELEMENTO
<b>ACTUADORES Y SEÑALES DE SALIDA</b>		
M3	M3X	MOTOR DC AJUSTE DE LA TAPA
M4	M4X	MOTOR DC BANDA TRANSPORTADORA
M5	M5X	SISTEMA: BRAZO ELECTROMECAÁNICO
4A		PISTÓN SIMPLE EFECTO SUJECIÓN BOTELLA
4V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 4A)
4M1	4M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 4V1)
5A		PISTÓN SIMPLE EFECTO SEPARADO
5V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 5A)
5M1	5M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 5V1)
6A		PISTÓN DOBLE EFECTO PRESIÓN DE TAPADO
6V1		ELECTROVÁLVULA (SALIDA 6A)
6V2		ELECTROVÁLVULA (ENTRADA 6A)
6M1	6M1X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 6V1)
6M2	6M2X	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 6V2)
H2	H2X	LUZ INDICADORA
<b>SENSORES Y SEÑALES DE ENTRADA</b>		
S13	S13X	PULSADOR STOP (N.C.)
S14	S14X	PULSADOR START (N.A.)
S15	S15X	PULSADOR INICIO (N.C.)
S16	S16X	MICROSWITCH DETECTOR DE ENVASE (N.A.)
S17	S17X	MICROSWITCH DETECTOR DE ENVASE (N.A.)
S18	S18X	FINAL DE CARRERA DERECHO: BRAZO (N.A.)
S19	S19X	SWITCH MODO COMPLETO (N.A.)
S20	S20X	FINAL DE CARRERA IZQUIERDO: BRAZO (N.A.)
B5	B5X	SENSOR DE COLOR (DETECCIÓN COLOR DE TAPA)

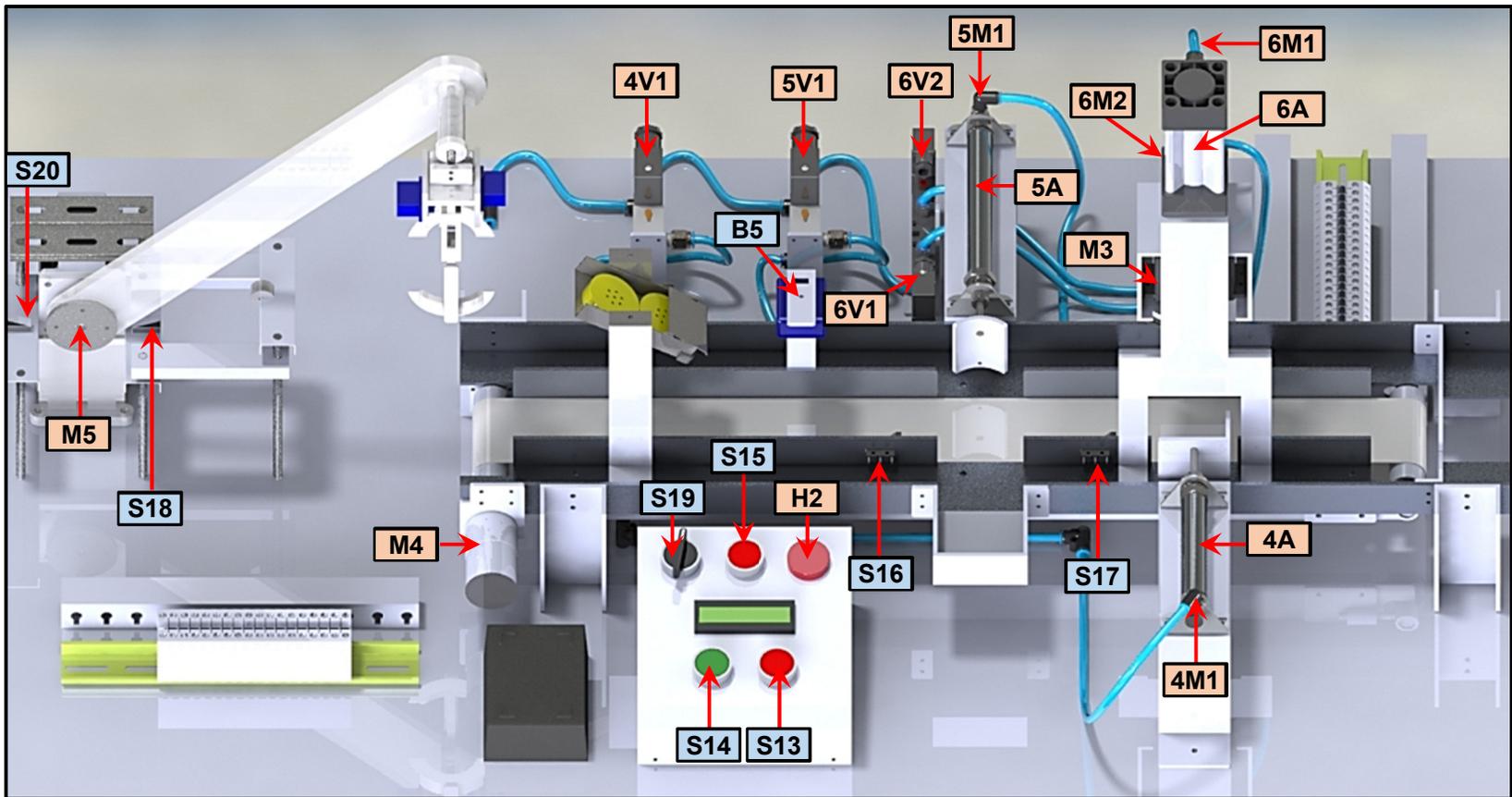


Figura 170. Elementos del Módulo Didáctico 2

## 4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

Cada estación de trabajo se encuentra dividida en sectores en donde se realiza una actividad específica. Estos sectores están compuestos por un conjunto de actuadores, sensores y componentes mecánicos que influyen directamente en la función de cada sistema.

### MÓDULO DIDÁCTICO 1

Los sistemas que componen este módulo cumplen el proceso de dosificación de sólidos y de clasificación por nivel de llenado. A continuación se especifican todos los sistemas que componen a la estación de trabajo:

**Tabla 40.**

**Tabla de Sistemas en el Módulo 1**

Sector	Sistema	Actuadores	Sensores	Componentes Mecánicos
1	Punto Inicial del Sistema	-	Fotoeléctrico <b>B1</b>	Estructura Principal
2	Banda Transportadora	Motor Eléctrico <b>M1</b>	-	Cinta Transportadora
3	Zona de Dosificación	Pistón <b>1A</b> Electroválvula <b>1V1 (1M1 – 1M2)</b>	Capacitivo <b>S1</b>	Disco Rotatorio
		Motor Eléctrico <b>M2</b>	Infrarrojo <b>B2</b> Capacitivo <b>B3</b>	Tolva
4	Zona de Almacenaje	Pistón <b>2A</b> Electroválvula <b>2V1 (2M1)</b>	Infrarrojo <b>B4</b>	Almacenador
		Pistón <b>3A</b> Electroválvula <b>3V1 (3M1)</b>		
5	Panel de Control	Luz Indicadora <b>H1</b>	Switch <b>S2</b>	Estructura de Soporte del Panel
			Start <b>S3</b>	
		Pulsadores: <b>S7 – S12</b>	Stop <b>S4</b>	
			Fin de Llenado <b>S5</b>	
6	Borneras de Conexión	Señales de Salida	Señales de Entrada	Regletas

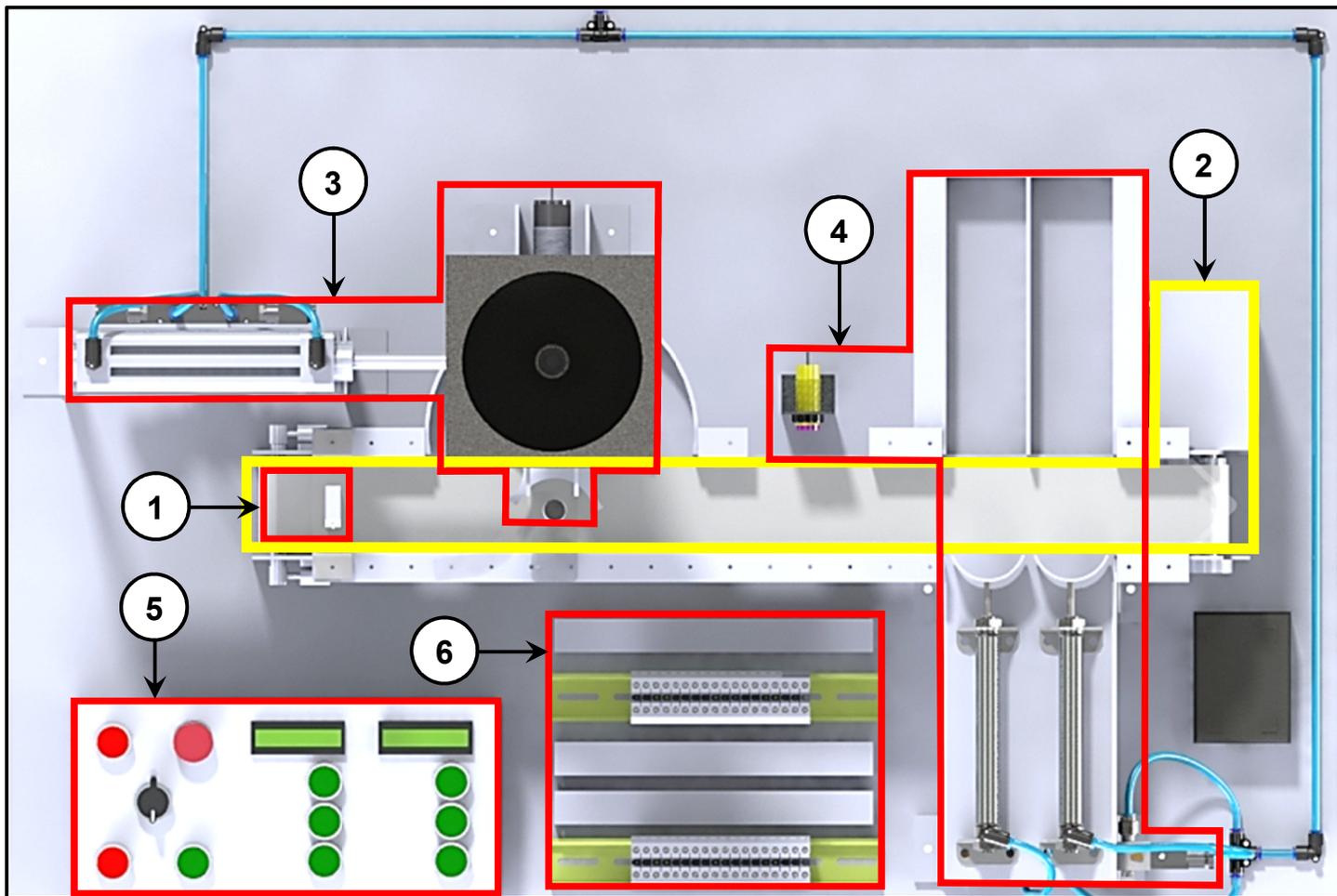


Figura 171. Sectores del Módulo Didáctico 1

## MÓDULO DIDÁCTICO 2

Los sistemas que componen este módulo cumplen el proceso de transporte de envases entre módulos, clasificación por color de tapa y de tapado. A continuación se especifican todos los sistemas que componen a la estación de trabajo:

**Tabla 41.**

**Tabla de Sistemas en el Módulo 2**

Sector	Sistema	Actuadores	Sensores	Componentes Mecánicos
1	Transporte entre Módulos	Motor a Pasos <b>M5</b>	Microswitch <b>S17</b>	Eslabón Principal
		Servomotores	Microswitch <b>S20</b>	Gripper
2	Punto Inicial del Sistema	-	-	Estructura Principal
3	Banda Transportadora	Motor Eléctrico <b>M4</b>	-	Cinta Transportadora
4	Zona de Detección y Clasificación por Color de Tapa	Pistón <b>5A</b> Electroválvula <b>5V1 (5M1)</b>	S. de Color <b>B5</b>	Dispensador de Tapas
			Microswitch <b>S16</b>	
5	Zona de Tapado	Pistón <b>4A</b> Electroválvula <b>4V1 (4M1)</b>	Microswitch <b>S18</b>	Soporte del Sistema de Tapado
		Pistón <b>6A</b> Electroválvula <b>6V1 (6M1 – 6M2)</b>		
		Motor Eléctrico <b>M3</b>		
6	Panel de Control	Luz Indicadora <b>H2</b>	Stop <b>S13</b>	Estructura de Soporte del Panel
			Start <b>S14</b>	
			Inicio <b>S15</b>	
			Switch <b>S19</b>	
7	Borneras de Conexión	Señales de Salida	Señales de Entrada	Regletas

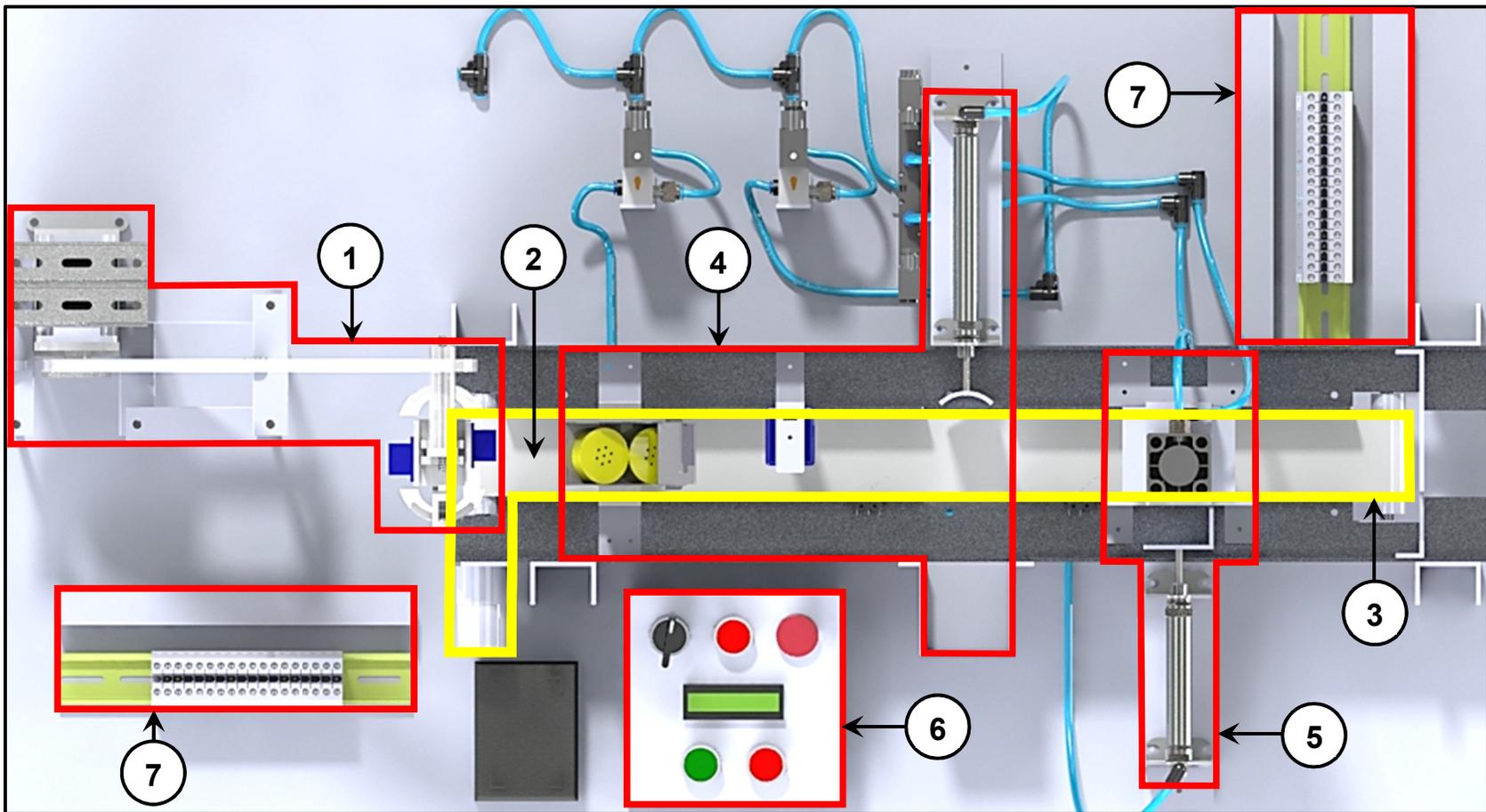


Figura 172. Sectores del Módulo Didáctico 2

### 4.3. ESQUEMAS DE CONEXIÓN

A continuación se representan las conexiones neumáticas y eléctricas de la siguiente manera:

#### 4.3.1. Esquemas neumáticos

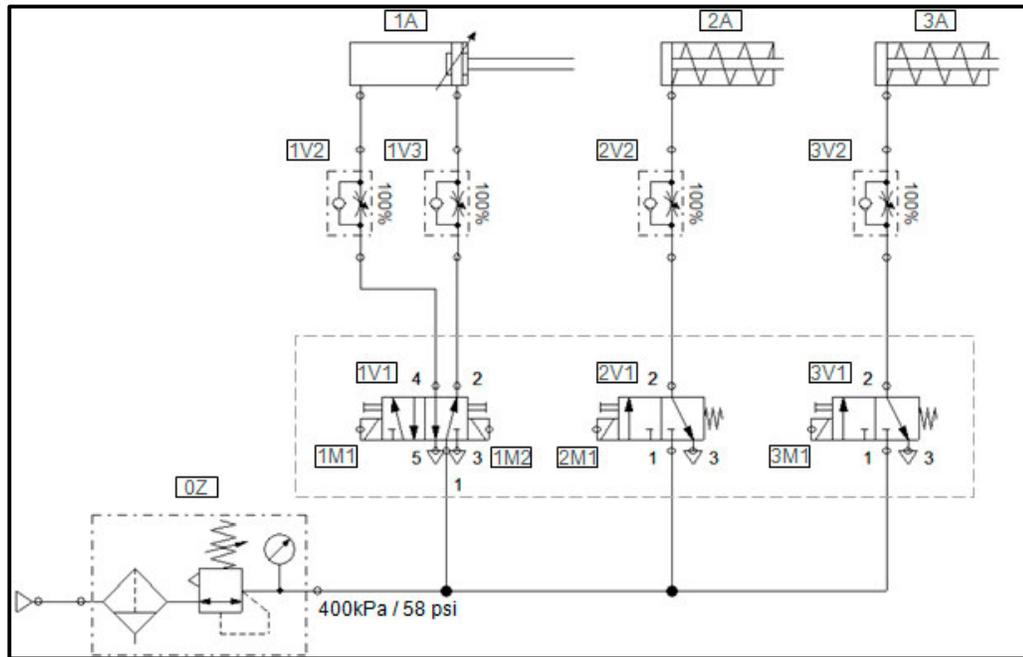


Figura 173. Esquema neumático del Módulo Didáctico 1

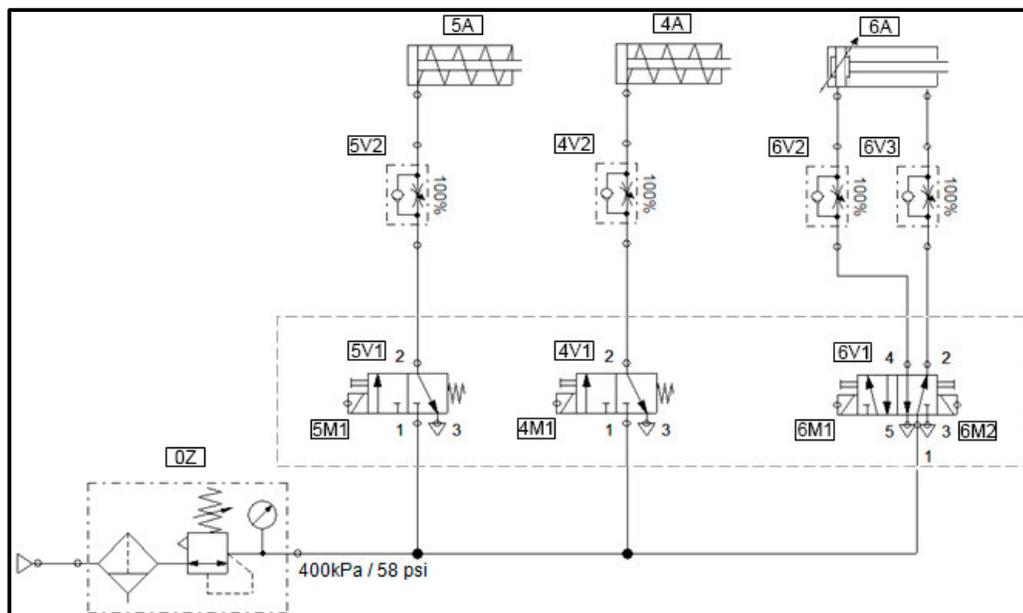


Figura 174. Esquema neumático del Módulo Didáctico 2

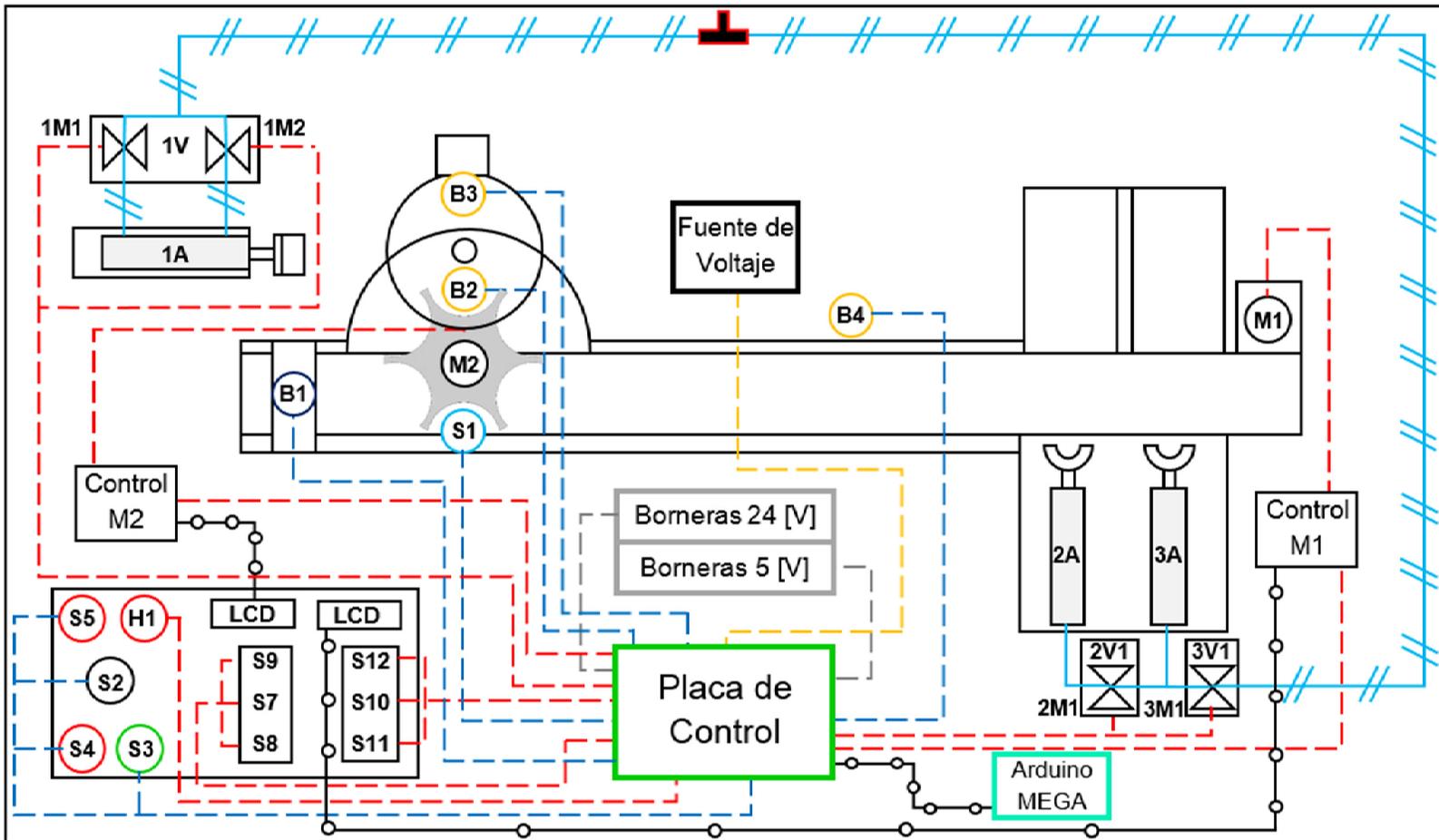


Figura 175. Diagrama P&ID del Módulo Didáctico 1

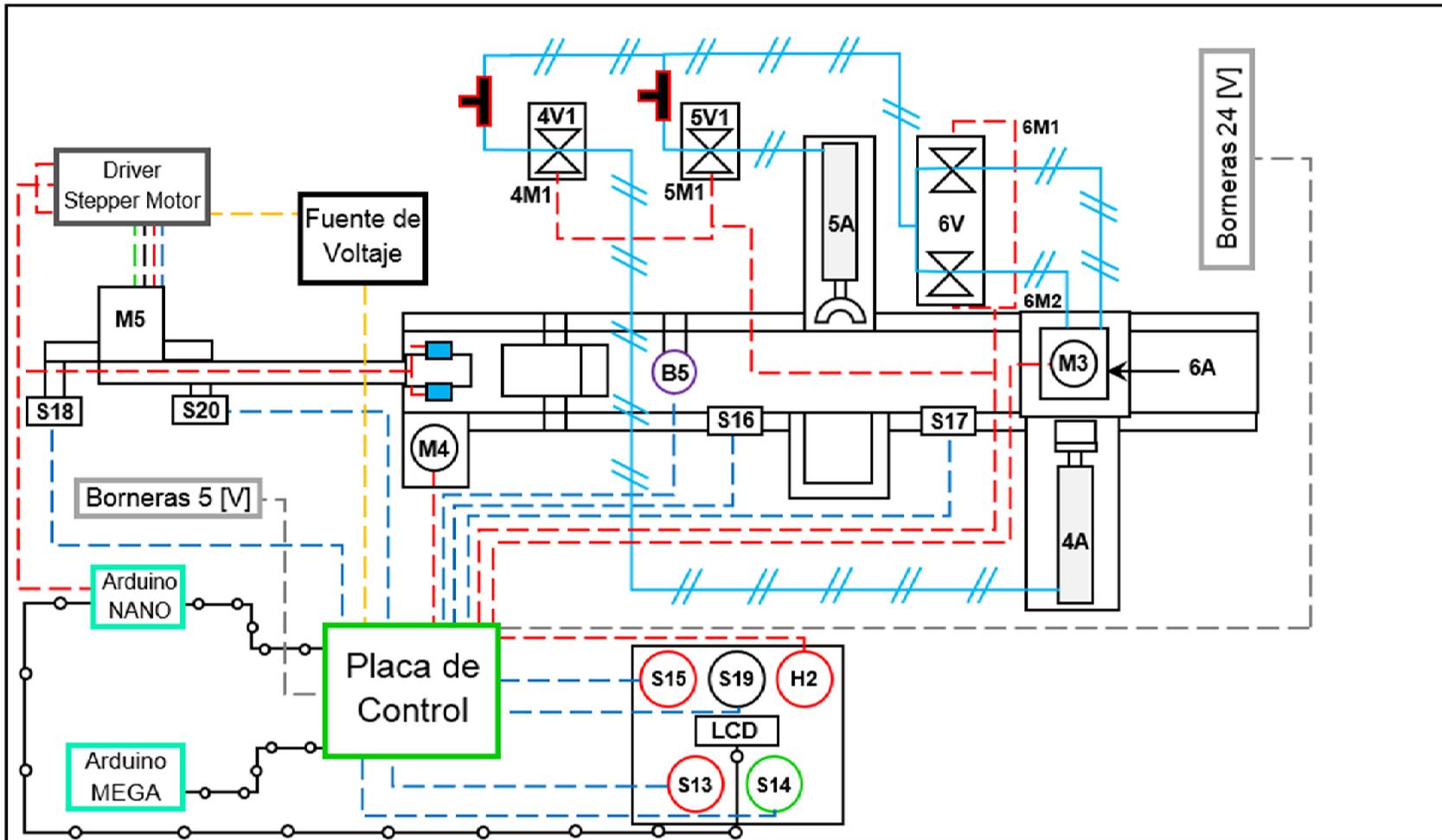


Figura 176. Diagrama P&ID del Módulo Didáctico 2

## 4.3.3. Conexiones hacia el PLC

Tabla 42.

## Entrada/Salidas hacia el PLC – Módulo 1

PLC	NOMENCL.	ELEMENTO
Q0.1	S7	PULSADOR (+ 5 RPM M2)
Q0.2	S8	PULSADOR (- 5 RPM M2)
Q0.3	S9	PULSADOR (HABILITADOR M2)
Q0.4	S10	PULSADOR (+ 20 RPM M1)
Q0.5	S11	PULSADOR (- 20 RPM M1)
Q0.6	S12	PULSADOR (HABILITADOR M1)
Q0.7	1M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 1V1)
Q1.0	1M2	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 1V2)
Q1.1	2M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 2V1)
Q1.2	3M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 3V1)
Q1.3	H1	LUZ INDICADORA
I0.0	S1	SENSOR CAPACITIVO (DETECTOR POSICIÓN DISCO)
I0.1	S2	SWITCH MODO COMPLETO (N.A.)
I0.2	S3	PULSADOR START (N.A.)
I0.3	S4	PULSADOR STOP (N.C.)
I0.4	S5	PULSADOR FIN DE LLENADO (N.C.)
I0.5	B1	SENSOR FOTOELÉCTRICO (DETECCIÓN DE ENVASE)
I0.6	B2	SENSOR INFRARROJO (DETECCIÓN DE ENVASE)
I0.7	B3	SENSOR CAPACITIVO (DETECCIÓN DE NIVEL)
I1.0	B4	SENSOR INFRARROJO (DETECCIÓN DE ENVASE)

Tabla 43.

## Tabla de Entrada/Salidas hacia el PLC – Módulo 2

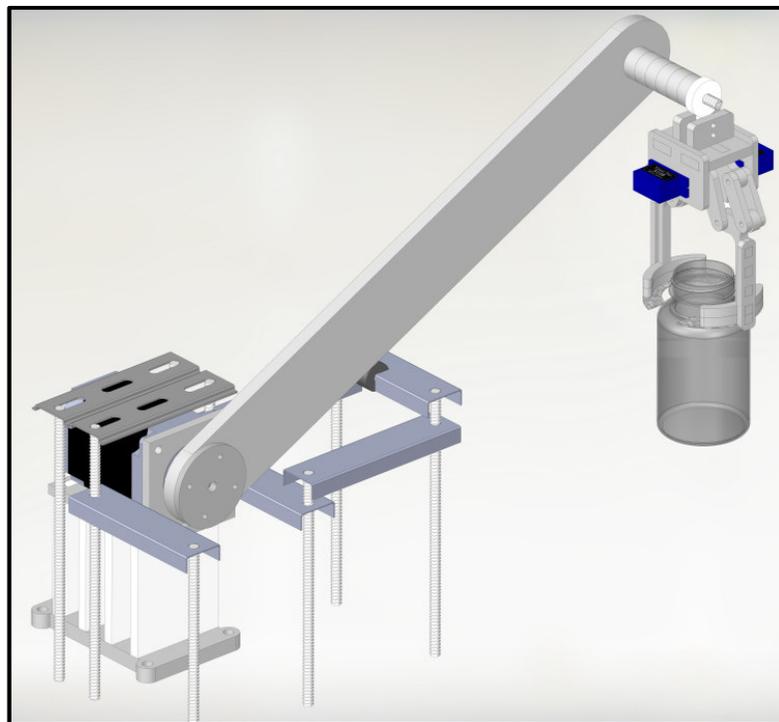
PLC	NOMENCL.	ELEMENTO
Q0.1	M3	MOTOR DC AJUSTE DE LA TAPA
Q0.2	M4	MOTOR DC BANDA TRANSPORTADORA
Q0.3	M5	SISTEMA: BRAZO ELECTROMECAÁNICO
Q0.4	4M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 4V1)
Q0.5	5M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 5V1)
Q0.6	6M1	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 6V1)
Q0.7	6M2	SOLENOIDE (ACTIVACIÓN 6V2)
Q1.0	H2	LUZ INDICADORA
I0.0	S13	PULSADOR STOP (N.C.)
I0.1	S14	PULSADOR START (N.A.)
I0.2	S15	PULSADOR INICIO (N.C.)
I0.3	S16	MICROSWITCH DETECTOR DE ENVASE (N.A.)
I0.4	S17	MICROSWITCH DETECTOR DE ENVASE (N.A.)
I0.5	S18	FINAL DE CARRERA DERECHO: BRAZO (N.A.)
I0.6	S19	SWITCH MODO COMPLETO (N.A.)
I0.7	S20	FINAL DE CARRERA IZQUIERDO: BRAZO (N.A.)
I1.0	B5	SENSOR DE COLOR (DETECCIÓN COLOR DE TAPA)

#### 4.4. OPERACIÓN DEL BRAZO ELECTROMECAÁNICO

El brazo electromecánico es el mecanismo encargado del transporte de los envases entre estaciones. El sistema solo transportará las botellas del módulo 1 hacia el módulo 2. Jamás en sentido contrario.

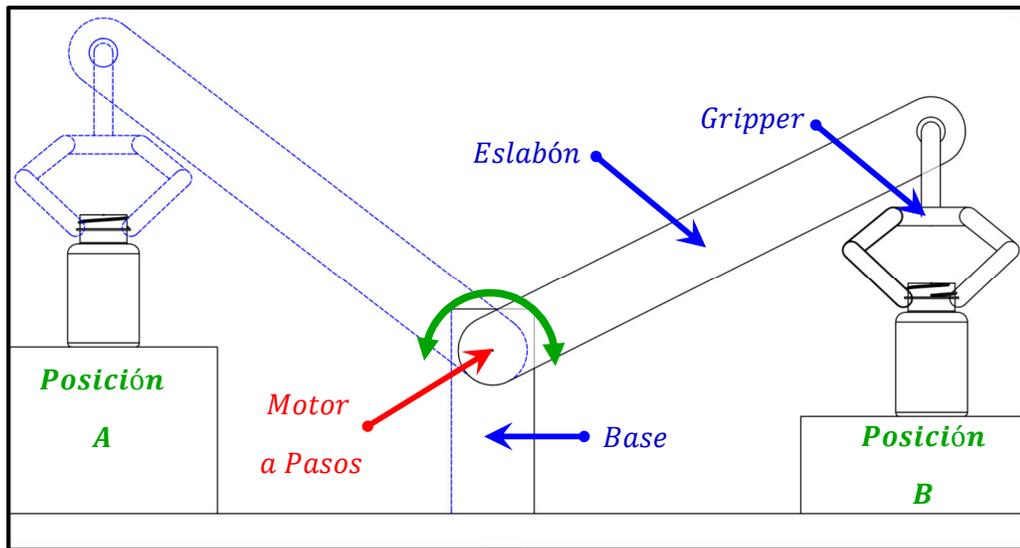
El brazo cuenta con tres actuadores: dos servomotores SG90 encargados del control del mecanismo de apertura y cierre del gripper y un motor a pasos Nema 23 encargado del posicionamiento angular del eslabón principal del brazo.

El mecanismo cuenta además, con dos sensores mecánicos de final de carrera los cuales permiten ubicar al brazo en las posiciones necesarias. A continuación se muestra un esquema general del brazo:



**Figura 177. Brazo Electromecánico**

El control del brazo se lo realizará mediante una plataforma de Arduino NANO. Esta plataforma estará encargada de simplificar el control de todos los actuadores que intervienen en el mecanismo del brazo a una sola señal denominada M5, la cual nos permitirá realizar una secuencia preestablecida.



**Figura 178. Bosquejo general del Brazo Electromecánico**

La señal de control M5 (o M5X para señales de 5 [Vdc]) deberá ser continua mientras se realice la secuencia del brazo. Previamente el eslabón principal deberá colocarse en el soporte mecánico de apoyo implementado en la estación de trabajo 2.

Una vez que esta señal llegue al Arduino NANO, el brazo partirá de la posición B en el módulo 2 hacia la posición A en el módulo 1 en donde el mecanismo del gripper se encargará de sujetar al envase. Posteriormente el brazo regresará a la posición B en donde se liberará al envase y se lo dejará en la posición inicial del módulo 2 para que continúe con el proceso de tapado.

Después de haber concluido con un ciclo, el controlador esperará 3 segundos y; si la señal M5 permanece en alto, se reiniciará la secuencia. Cabe resaltar que; si la señal M5 se ve interrumpida en el trayecto del brazo, este se detendrá en el punto en el que se encuentre.

#### 4.4.1. Programación del Controlador

La programación del Arduino NANO encargado del control del brazo electromecánico se la realizó en el software ARDUINO IDE. El algoritmo de cada paso cumple con la secuencia establecida para este sistema y se encuentra en el anexo 4 – 01.

#### 4.5. PRECAUCIONES

Las precauciones que se deben tener al momento de utilizar los módulos son las siguientes:

- Antes de poner en funcionamiento las estaciones de trabajo, se debe verificar que no estén conectados dos o más controladores al mismo tiempo en las borneras de 5 [Vdc] y 24 [Vdc] de cada módulo.
- Se debe comprobar que no se encuentre algún tipo de elemento a lo largo de las bandas transportadoras que pueda interferir en el proceso.
- Solo se podrán utilizar los envases plásticos especificados por los fabricantes en el capítulo 3.
- Para la dosificación de sólidos, utilizar únicamente granos finos como por ejemplo azúcar, gelatina o sal.
- Se deberán realizar ensayos previos de la secuencia programada en el controlador sin llenar la tolva con el material a dosificar con el objetivo de no verter por equivocación dicho sólido en la estación de trabajo.
- Antes de energizar el módulo didáctico 2, se deberá apoyar al brazo electromecánico en el soporte implementado para su posición inicial.
- Por ningún motivo se debe obstruir la trayectoria del brazo electromecánico mientras este ejecute su función.
- Retirar manualmente cada envase rechazado en el proceso de tapado antes iniciar otro ciclo.
- Para las pruebas de funcionamiento en el módulo de tapado de botellas, es necesario tener ubicadas tres tapas en el dispensador.
- Para el correcto funcionamiento del módulo didáctico 2, se deberán utilizar envases que se encuentren llenos del material que se esté dosificando (con un peso aproximado de entre 100 a 150 gramos), restringiendo el uso de envases vacíos.

## CAPÍTULO 5

### 5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO 'DEMO'

Una vez concluido el rediseño y construcción de cada uno de los componentes que conforman los módulos didácticos, se requiere implementar un controlador capaz de exponer todas las capacidades del proceso de dosificación y tapado de botellas. Para la implementación de este modo automático, se considerarán tres tipos de controladores de alta y baja gama. Las tres opciones de controlador que se plantean utilizar son las siguientes:

#### OPCIÓN 1 – ARDUINO NANO.

El Arduino nano es un microcontrolador pequeño, completo y fácilmente adaptable a diferentes tipos de plataformas de control. Funciona con un circuito integrado ATmega 328P o ATmega 168P. Cuenta con las mismas características electrónicas de un Arduino UNO, pero en un empaque diferente. Sus principales especificaciones técnicas son las siguientes:

**Tabla 44.**

#### **Especificaciones Técnicas del Arduino NANO**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>Voltaje de Operación:</b>	5 [V]
<b>E/S Digitales :</b>	14 pines (6 PWM)
<b>E/S Análogas :</b>	8 pines
<b>Corriente por E/S:</b>	40 [mA]
<b>Frecuencia de Reloj:</b>	16 [MHz]
<b>Costo:</b>	7.50 \$

Fuente: (Arduino, 2015)

#### OPCIÓN 2 – ARDUINO MEGA.

El Arduino mega es una plataforma electrónica conformada por un microcontrolador ATmega1280. Su principal característica es el poseer 54 Pines digitales. Funciona con un cristal oscilador de 16 MHz y es un tipo de

controlador adaptable a cualquier sistema que trabaje con señales TTL. Sus principales especificaciones técnicas son las siguientes:

**Tabla 45.**

**Especificaciones Técnicas del Arduino MEGA**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>Voltaje de Operación:</b>	5 [V]
<b>E/S Digitales :</b>	54 pines (14 PWM)
<b>E/S Análogos :</b>	16 pines
<b>Corriente por E/S:</b>	40 [mA]
<b>Frecuencia de Reloj:</b>	16 [MHz]
<b>Costo:</b>	43.81 \$

*Fuente: (Arduino, 2015)*

OPCIÓN 3 – PLC SIEMENS LOGO ELC18-DC.

El PLC siemens logo ELC18 es un controlador industrial lo suficientemente robusto para el control de los módulos didácticos, posee el grado de protección IP51 (Contra polvo y goteos), y además, es un PLC compacto y económico en comparación a las demás gamas de PLCs de Siemens. Su principal inconveniente es la cantidad de entradas y salidas con las que cuenta, se necesitará implementar un Rack de salidas para poder contar con todas las necesarias, Sus características eléctricas son las siguientes:

**Tabla 46.**

**Especificaciones Técnicas del Arduino NANO**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>Voltaje de Operación:</b>	12 – 24 [V]
<b>E/S Digitales :</b>	6 E / 6 S
<b>E/S Análogos :</b>	8 pines
<b>Corriente por E/S:</b>	2 [A]
<b>Frecuencia de Reloj:</b>	64 [MHz]
<b>Costo:</b>	200.00 \$
<b>Rack de Salidas Adicionales:</b>	6 OUTPUT
<b>Costo Total:</b>	350.00 \$

*Fuente: (Catálogo Siemens LOGO ELC18, 2015)*

Para la selección adecuada del controlador que se instalará en los módulos didácticos, se realizan tablas de decisión, con el objetivo de comparar las características más importantes:

**Tabla 47.**

**Ponderación en E/S Digitales**

E/S Digitales:		$n$	$n + 1$	Porcentaje
<b>Arduino NANO</b>	14 E/S	0	1	22.22%
<b>Arduino MEGA</b>	54 E/S	1	2	44.44%
<b>Siemens LOGO</b>	6E / 12 / S	0.5	1.5	33.33%
		$\Sigma=$	4.5	100.00%

**Tabla 48.**

**Ponderación en Corriente por E/S**

Corriente por E/S:		$n$	$n + 1$	Porcentaje
<b>Arduino NANO</b>	40 mA	0.5	1.5	30.00%
<b>Arduino MEGA</b>	40 mA	0.5	1.5	30.00%
<b>Siemens LOGO</b>	2 A	1	2	40.00%
		$\Sigma=$	5	100.00%

**Tabla 49.**

**Ponderación en Corriente por E/S**

Costo:		$n$	$n + 1$	Porcentaje
<b>Arduino NANO</b>	10.00 \$	1	2	44.44%
<b>Arduino MEGA</b>	43.81 \$	0.5	1.5	33.33%
<b>Siemens LOGO</b>	350.00 \$	0	1	22.22%
		$\Sigma=$	4.5	100.00%

**Tabla 50.**

**Ponderación de Parámetros**

Parámetros	$n$	$n + 1$	Porcentaje	
<b>E/S Digitales:</b>	1	2	40.00%	
<b>Corriente por E/S:</b>	0.5	1.5	30.00%	
<b>Costo:</b>	0.5	1.5	30.00%	
		$\Sigma=$	5	100.00%

Finalmente se realiza la tabla de decisión acumulada, en la que se determina que controlador será el más conveniente para la implementación del modo automático DEMO.

Tabla 51.

Tabla de Decisión

Controlador	E/S Digitales	Corriente por E/S	Costo	$\Sigma$	Porcentaje
<b>Arduino NANO</b>	0.222x0.4	0.3x0.3	0.444x0.3	0.3122	31.22%
<b>Arduino MEGA</b>	0.444x0.4	0.3x0.3	0.333x0.3	0.3677	<b>36.77%</b>
<b>Siemens LOGO</b>	0.333x0.4	0.4x0.3	0.222x0.3	0.3199	31.99%
			$\Sigma$ total =	1	100.00%

Como se puede apreciar en la tabla 51, el controlador adecuado para la implementación del modo automático DEMO es el Arduino MEGA.

### 5.1. CONEXIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

Una vez seleccionado el controlador, se procede a instalar un Arduino MEGA para cada una de las estaciones de trabajo. Este controlador se lo conectará al zócalo destinado para el modo automático demo en la placa de control de cada módulo. A continuación se detalla el tipo de conexión requerido para cada Arduino y se especifica mediante una tabla de datos, las señales que deberá controlar la plataforma.

#### 5.1.1. Conexiones en el módulo didáctico 1

La conexión del Arduino MEGA hacia la placa de control de cada módulo se la realizará mediante un cable plano de aproximadamente 20 cm. Este cable es ideal para enviar señales TTL con corrientes máximas de 20 mA. Se utilizará un cable plano de 20 pines debido a que se necesitan 11 conexiones para las entradas digitales y 9 conexiones más para las salidas digitales.

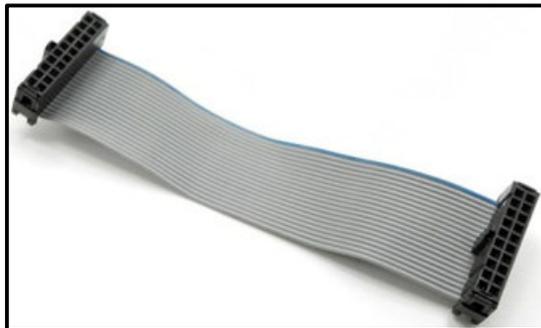


Figura 179. Cable plano de 20 pines



5.1.2. Conexiones en el módulo didáctico 2

El diagrama de conexión del módulo 2, es similar al implementado en el módulo didáctico 1, se utilizará de igual manera un cable plano de 20 pines desde la placa de control hacia el Arduino.

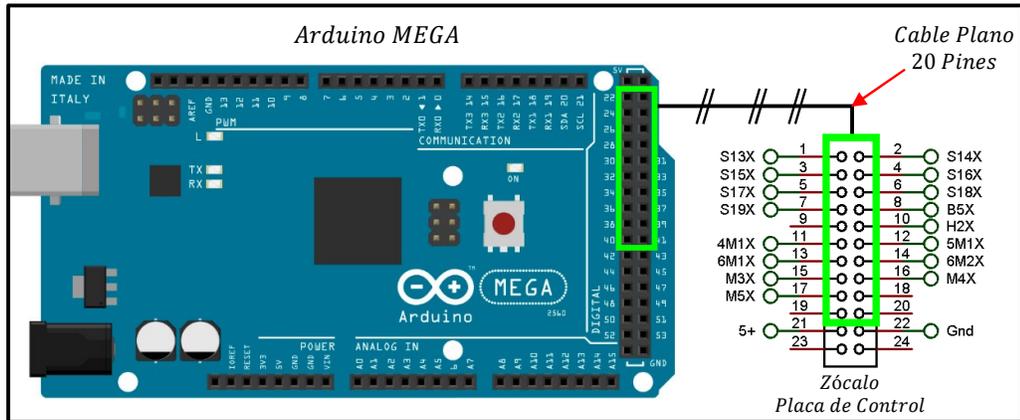


Figura 181. Diagrama de Conexión del modo DEMO – Módulo 2

A continuación, se especifican la relación de señales entre la placa de control y el Arduino MEGA:

Tabla 53.

Tabla de relación de Señales en el Módulo 2

E/S	PLACA	SEÑAL	ARDUINO	ELEMENTOS	ESTADO
ENTRADAS DIGITALES	1	S13X	22	B. STOP (N.C.)	ALTO
	2	S14X	23	B. START (N.A.)	BAJO
	3	S15X	24	B. INICIO (N.C.)	ALTO
	4	S16X	25	MICROSWITCH 1 (N.A.)	BAJO
	5	S17X	26	MICROSWITCH 2 (N.A.)	BAJO
	6	S18X	27	MICROSWITCH 3 (N.A.)	BAJO
	7	S19X	28	SWITCH (N.A.)	BAJO
	-	S20X	-	MICROSWITCH 4 (N.A.)	BAJO
8	B5X	29	S. DE COLOR (N.A)	BAJO	
SALIDAS DIGITALES	10	H2X	31	LUZ INDICADORA	BAJO
	11	4M1X	32	PISTON 4A (4V1)	
	12	5M1X	33	PISTON 5A (5V1)	
	13	6M1X	34	PISTON 6A (6V1)	
	14	6M2X	35	PISTON 6A (6V2)	
	15	M3X	36	M. AJUSTE (HABILITADOR)	
	16	M4X	37	M. BANDA (HABILITADOR)	
17	M5X	38	BRAZO (HABILITADOR)		

## 5.2. SECUENCIAS DEL PROCESO

### 5.2.1. Secuencia del Módulo Didáctico 1

Para el funcionamiento del modo automático demo en el módulo didáctico de dosificación se debe tener en cuenta que existen dos formas de trabajo, el individual y el completo. Para el modo individual el Switch **S2** deberá estar desactivado. A continuación se presiona el botón Start **S3** con el cual se configurarán las velocidades del motor de la banda **M1** y el motor del disco **M2** las cuales son 80 y 20 RPM respectivamente. Estas velocidades garantizarán el funcionamiento adecuado del sistema. Adicionalmente se tendrá una condición en la cual; si se presiona el botón Stop **S4**, el sistema se detendrá en el punto donde se encuentre.

#### PASO A1

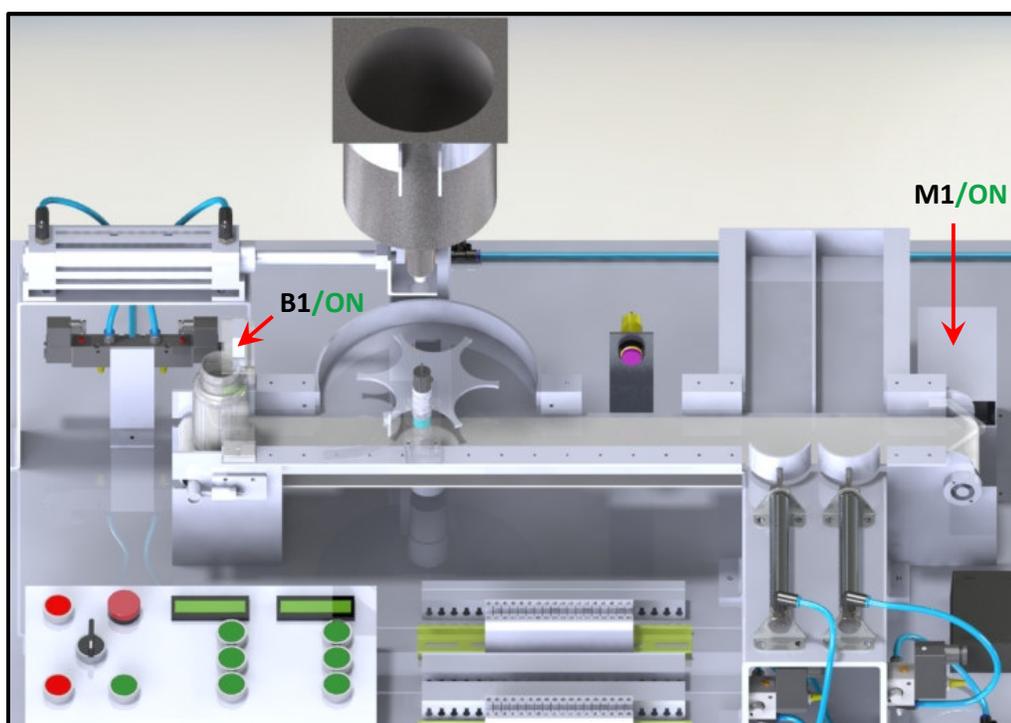


Figura 182. Paso A1 – Módulo Didáctico 1

Se coloca un envase vacío en el extremo izquierdo de la banda transportadora, el sensor fotoeléctrico **B1** detecta en **bajo** la presencia del mismo y activa el motor de la banda **M1**.

Tabla 54.

## Diagrama de estados – paso A1

SEÑAL	PASO A1	
	0 s	
<b>B1</b>	1	0
<b>M1</b>	0	1

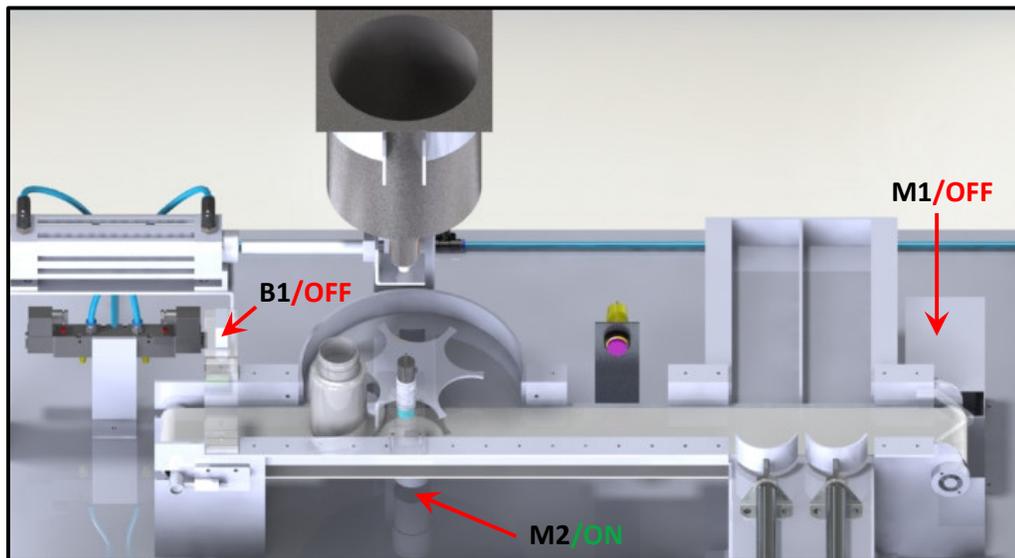
PASO A2

Figura 183. Paso A2 – Módulo Didáctico 1

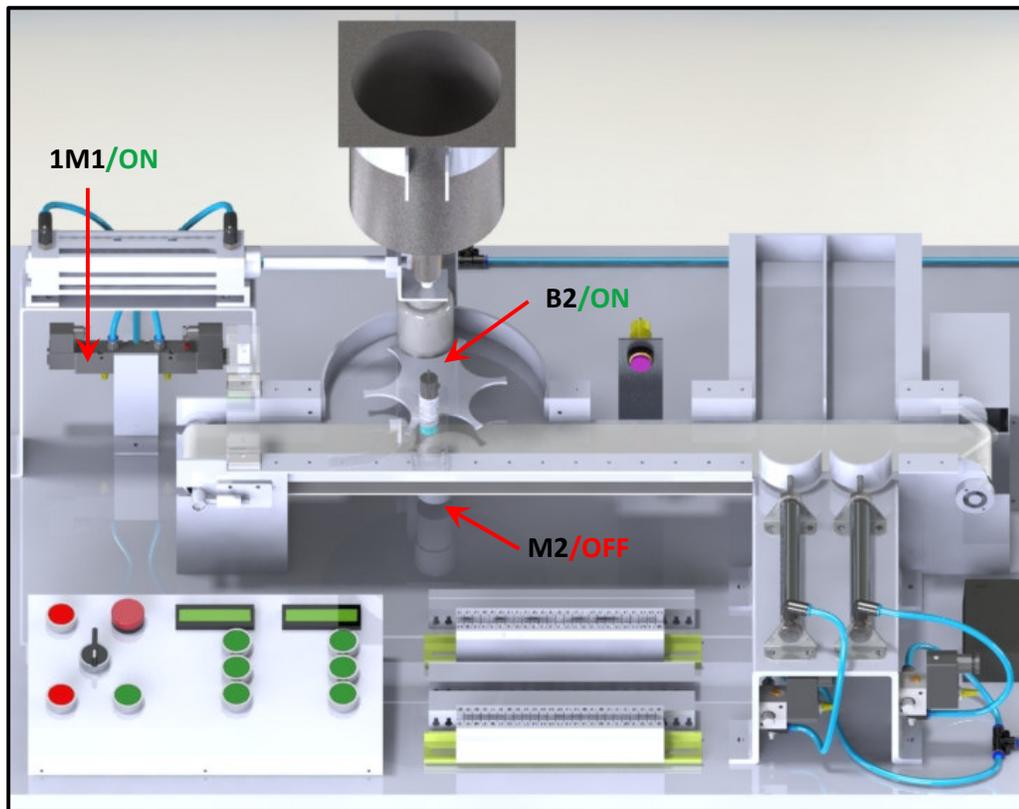
El sensor fotoeléctrico **B1** se desactiva en **alto** una vez que el envase empieza a desplazarse por la banda transportadora. Al cabo de dos segundos, el envase llega al disco rotatorio y se ubica en una de sus cavidades, listo para ser transportado hacia la zona de dosificación. En este punto, el motor de la banda **M1** se apaga y al mismo tiempo, el motor del disco **M2** se activa.

Tabla 55.

## Diagrama de estados – paso A2

SEÑAL	PASO A2		
		0.2 s	2 s
<b>B1</b>	0	1	1
<b>M1</b>	1	1	0
<b>M2</b>	0	0	1

## PASO A3



**Figura 184. Paso A3 – Módulo Didáctico 1**

El envase se desplaza mediante el disco rotatorio hasta la posición deseada por debajo de la tolva en donde el sensor infrarrojo **B2** detecta la presencia del envase, se activa en alto y envía una señal que desactiva al motor del disco **M2** ubicándolo en la zona de dosificación.

Consecuentemente se activará la señal **1M1** encargada de contraer el vástago del pistón **1A** dando paso a la dosificación de azúcar en la botella.

**Tabla 56.**

**Diagrama de estados – paso A3**

SEÑAL	PASO A3	
	<b>3 s</b>	
<b>B2</b>	0	1
<b>M2</b>	1	0
<b>1M1</b>	0	1

## PASO A4

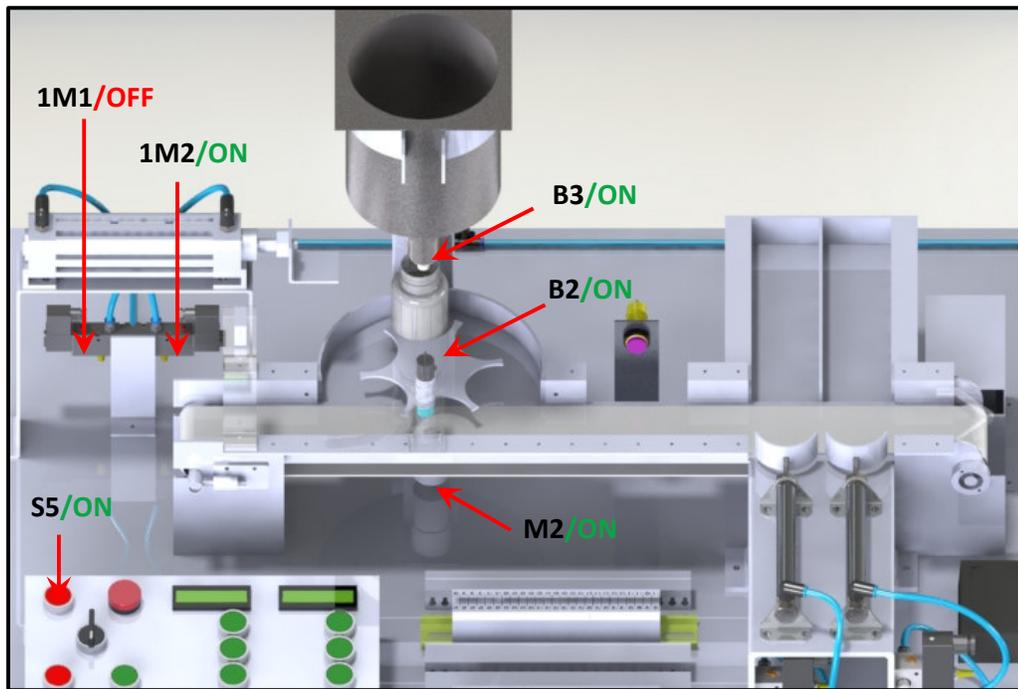


Figura 185. Paso A4 – Módulo Didáctico 1

El nivel de dosificación es controlado de forma automática mediante el sensor capacitivo **B3** o de forma manual mediante el botón fin de llenado **S5**. Si una de estas dos señales se activa en **bajo**, inmediatamente finaliza el llenado del envase extendiéndose el vástago del pistón **1A** mediante la señal **1M2**. A continuación se activa el motor del disco **M2** con el objetivo de desplazar a la botella hacia la banda.

Tabla 57.

Diagrama de estados – paso A4

SEÑAL	PASO A4		
	3.2 s	13 s	
<b>1M1</b>	1	0	0
<b>B2</b>	1	1	1
<b>B3 o S5</b>	1	1	0
<b>1M2</b>	0	0	1
<b>M2</b>	0	0	1

PASO A5

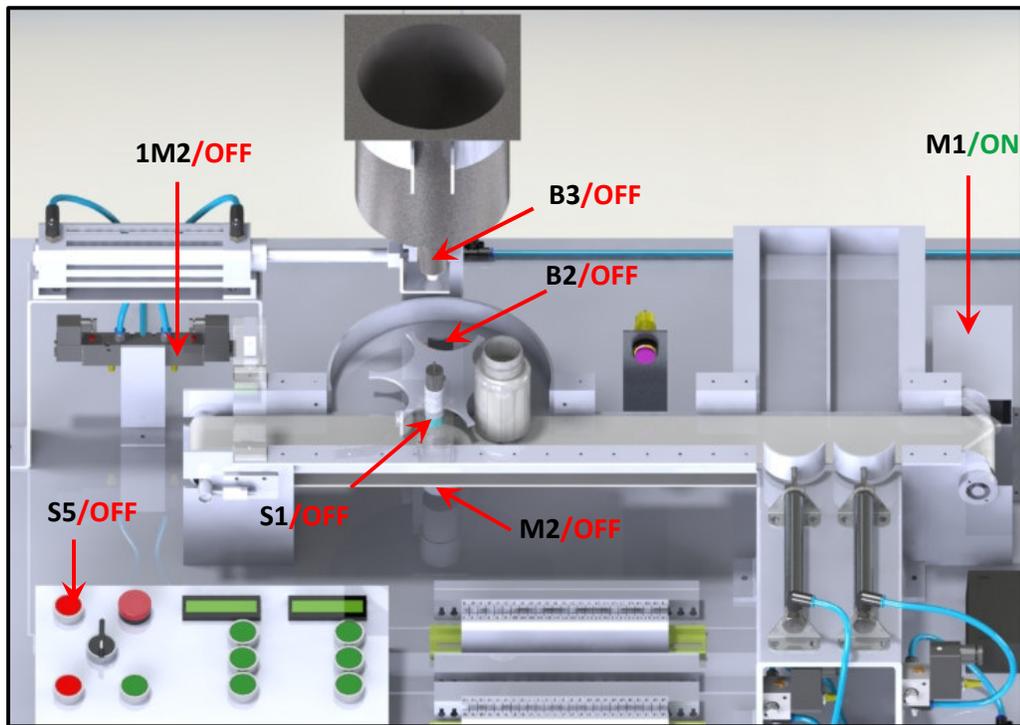


Figura 186. Paso A5 – Módulo Didáctico 1

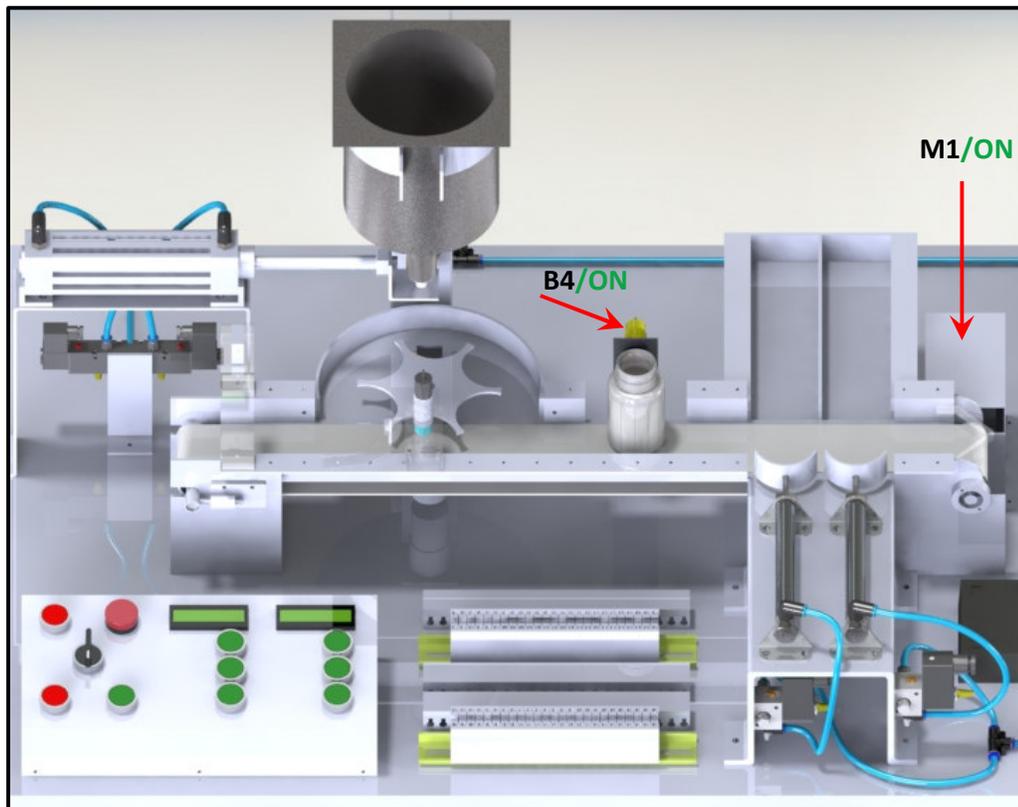
El disco rotatorio girará hasta que el sensor capacitivo **S1** haya contabilizado 10 pulsos y envíe una señal para que el motor **M2** se detenga. Una vez que la botella ya se encuentre en la banda, se activará el motor **M1** permitiendo así, que el envase se desplace hacia la zona de almacenaje.

Tabla 58.

Diagrama de estados – paso A5

SEÑAL	PASO A5																		
	13.2 s										16.5 s								
1M2	1	0																	
B2	1	0																	
B3 o S5	0	1																	1
S1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
M2	1	1																	0
M1	0	0																	1

## PASO A6



**Figura 187. Paso A6 – Módulo Didáctico 1**

En el transcurso del envase hacia la zona de almacenaje, el sensor infrarrojo **B4** es el encargado de detectar la presencia de la botella y, mediante una comparación lógica en el controlador entre las señales **S5** y **B3** (Encargadas de la finalización del proceso de llenado) se determinan las temporizaciones necesarias para las futuras activaciones de los pistones de separado **2A** y **3A**.

**Tabla 59.**

**Diagrama de estados – paso A6**

SEÑAL	PASO A6	
	17.5 s	
<b>M1</b>	1	1
<b>B4</b>	0	1

PASO A7.1

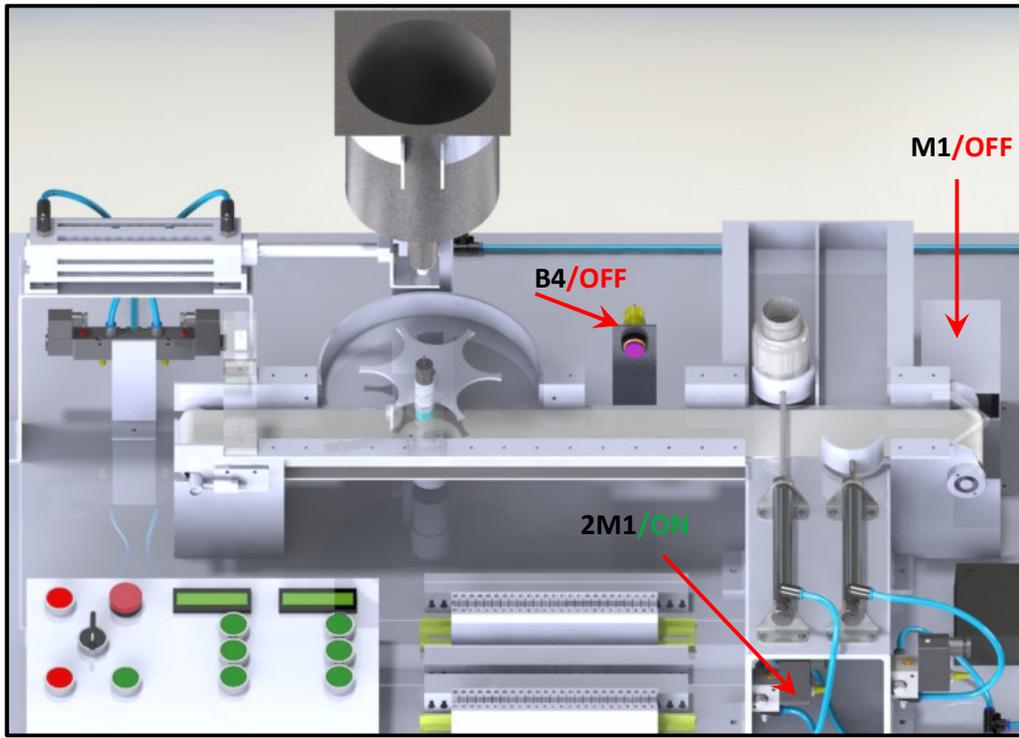


Figura 188. Paso A7.1 – Módulo Didáctico 1

Si en el paso A4, el fin de llenado se dio mediante el botón **S5**, se activará la señal **2M1** encargada de extender el vástago del pistón **2A** y de esta manera, separar la botella de la banda hacia el primer carril del clasificador.

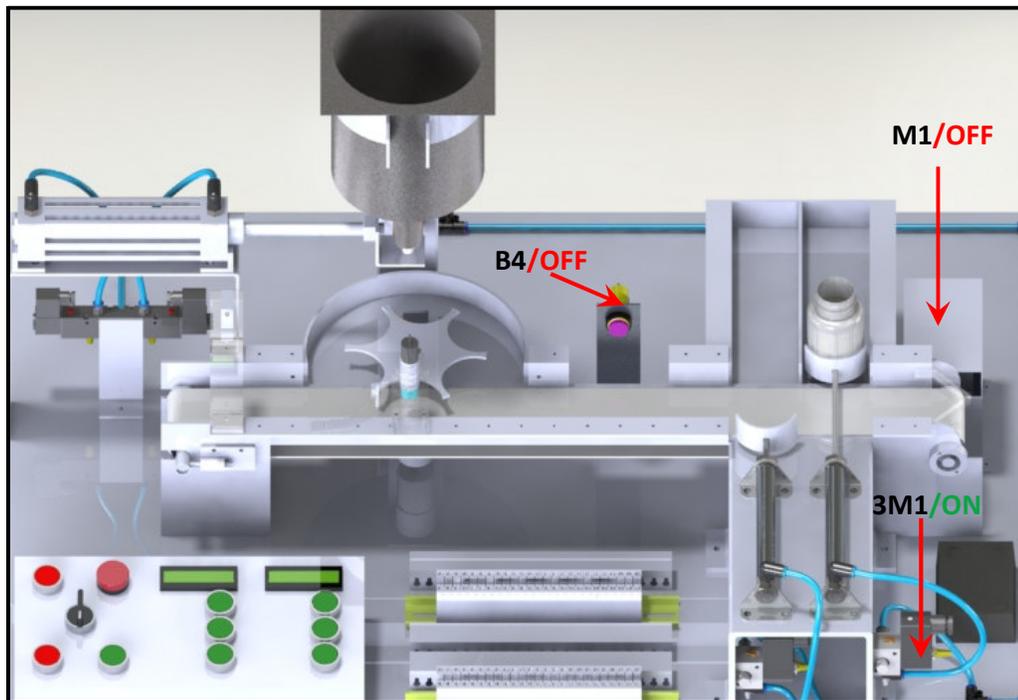
Una vez cumplida esta actividad, se desactivará la señal **2M1** dando paso a la contracción del vástago en el pistón **2A**. Por último, el motor de la banda **M1** se desactivará de igual manera, dando por finalizado el proceso de dosificación de sólidos.

Tabla 60.

Diagrama de estados – paso A7.1

SEÑAL	PASO A7.1			
	17.7 s	18.5 s	19.5 s	
<b>B4</b>	1	0	0	0
<b>2M1</b>	0	0	1	0
<b>M1</b>	1	1	1	0

## PASO A7.2



**Figura 189. Paso A7.2 – Módulo Didáctico 1**

Si en el paso A4, el fin de llenado se dio mediante el sensor capacitivo **B3**, se activará la señal **3M1** encargada de extender el vástago del pistón **3A** y de esta manera, separar la botella de la banda hacia el segundo carril del clasificador.

Una vez cumplida esta actividad, se desactivará la señal **3M1** dando paso a la contracción del vástago en el pistón **3A**. Por último, el motor de la banda **M1** se desactivará de igual manera, dando por finalizado el proceso de dosificación de sólidos.

**Tabla 61.**

**Diagrama de estados – paso A7.2**

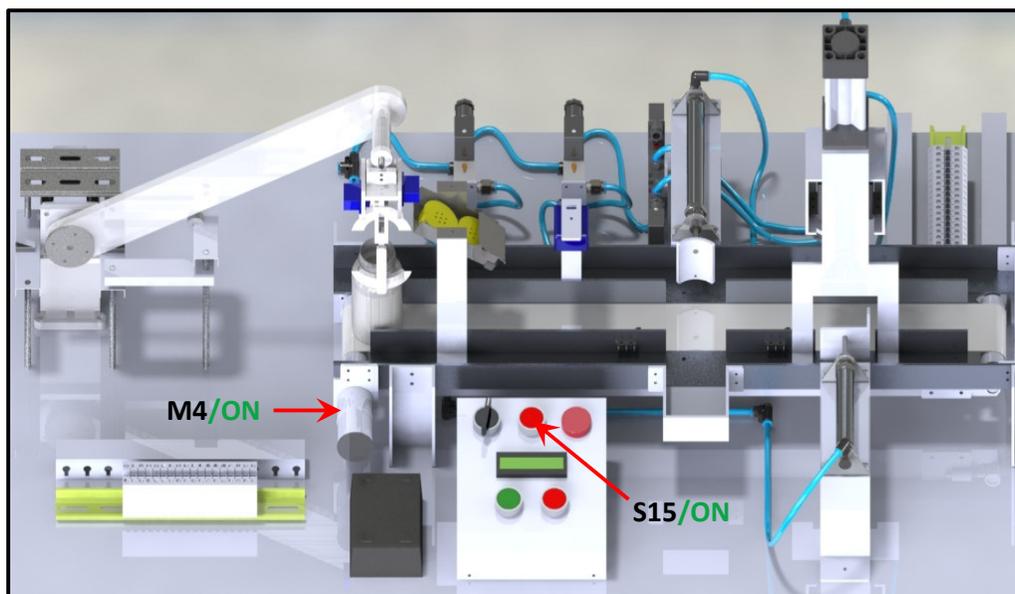
SEÑAL	PASO A7.2			
	17.7 s	19 s	20 s	
<b>B4</b>	1	0	0	0
<b>3M1</b>	0	0	1	0
<b>M1</b>	1	1	1	0

### 5.2.2. Secuencia del Módulo Didáctico 2

Para el funcionamiento del modo automático demo en el módulo didáctico de tapado se debe tener en cuenta que existen dos formas de trabajo al igual que la primera estación. Para el modo individual el Switch **S19** deberá estar desactivado. A continuación se presiona el botón Start **S14** para habilitar todas las señales en el sistema de control. Se tendrá una luz indicadora que nos permitirá saber cuándo el sistema se encuentra listo para trabajar.

Adicionalmente se tendrá una condición en la cual; si se presiona el botón Stop **S13**, el sistema se detendrá en el punto donde se encuentre.

#### PASO B1



**Figura 190. Paso B1 – Módulo Didáctico 2**

Se coloca un envase lleno en el extremo izquierdo de la banda transportadora y posteriormente se presiona el botón de inicio **S15** con el objetivo de activar el motor de la banda **M4**.

La botella deberá tener un nivel de llenado superior a la mitad del envase debido a que si no es así, se tendrá problemas al momento de retirar la tapa en el dispensador.

Tabla 62.

## Diagrama de estados – paso B1

SEÑAL	PASO B1	
	0 s	
<b>S15</b>	1	0
<b>M4</b>	0	1

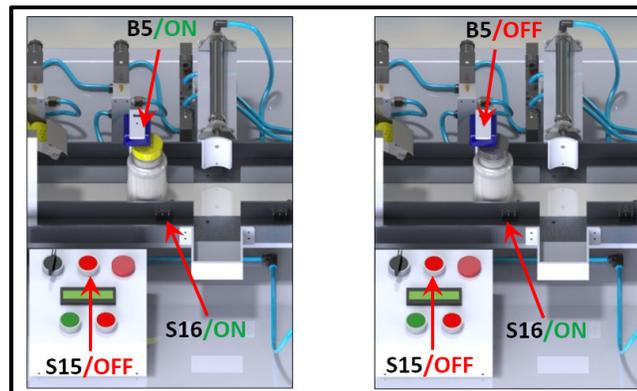
PASO B2

Figura 191. Paso B2 – Módulo Didáctico 2

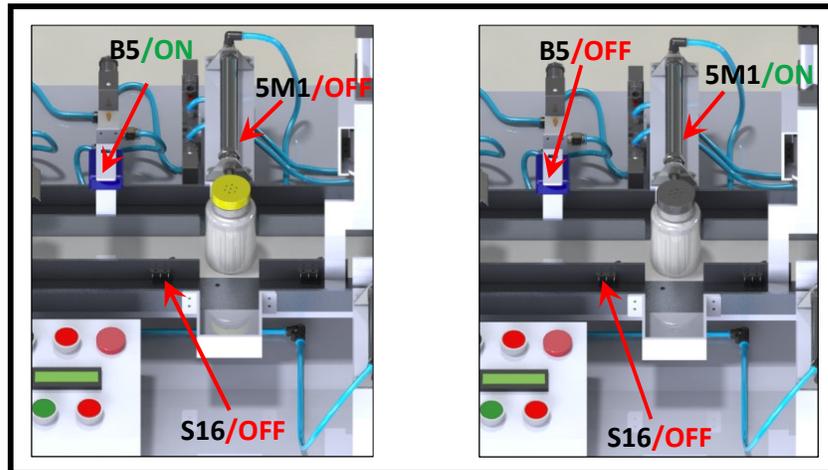
El envase empieza a desplazarse por la banda transportadora hasta llegar al dispensador de tapas. Una vez que llega a esta posición el envase puede recoger una tapa negra o amarilla colocada previamente por el operario. Si el envase recogió una tapa negra, cuando este llegue a la posición del sensor de color, la señal **B5** permanecerá en bajo. Por el contrario, si el envase recogió una tapa amarilla, cuando este llegue a la misma posición, el sensor de color **B5** se activará.

Tabla 63.

## Diagrama de estados – paso B2

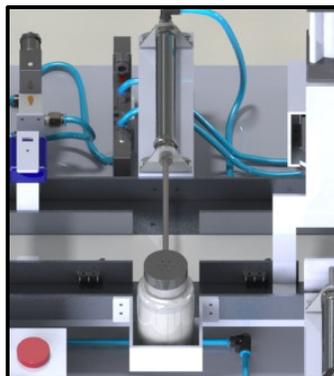
SEÑAL	PASO B2		
	0.2 s	2 s	
<b>M4</b>	1	1	1
<b>S15</b>	0	1	1
<b>B5</b>	Tapa <b>amarilla</b>	0	1
	Tapa <b>negra</b>	0	0

## PASO B3



**Figura 192. Paso B3 – Módulo Didáctico 2**

El microswitch **S16** es el encargado de detectar al envase una vez que haya pasado por el sensor de color **B5**, este interruptor mecánico nos permitirá temporizar el desplazamiento de la botella desde su activación hasta la posición del pistón de separado **5A**, en donde se tendrá una comparación lógica en el controlador con el objetivo de verificar que color de tapa lleva el envase. Si el color de la tapa es negro, el motor de la banda **M4** se detendrá y posteriormente se activará la señal **5M1** encargada de extender al vástago del pistón **5A** dejando el envase en la zona de separado tal como se muestra en la figura 193:



**Figura 193. Zona de Separado**

Caso contrario, si el color de la tapa es amarillo, el envase continuará con su recorrido a través de la banda y la señal **5M1** no será activada.

Tabla 64.

## Diagramas de estados – paso B3

SEÑAL		PASO B3					
		2.2 s	3 s	3.2 s	4 s	5 s	
B5	Tapa amarilla	1	0	0	0	0	0
	Tapa negra	0	0	0	0	0	0
S16		0	0	1	0	0	0
5M1	Tapa amarilla	0	0	0	0	0	0
	Tapa negra	0	0	0	0	1	0
M4	Tapa amarilla	1	1	1	1	1	1
	Tapa negra	1	1	1	1	1	0

## PASO B4

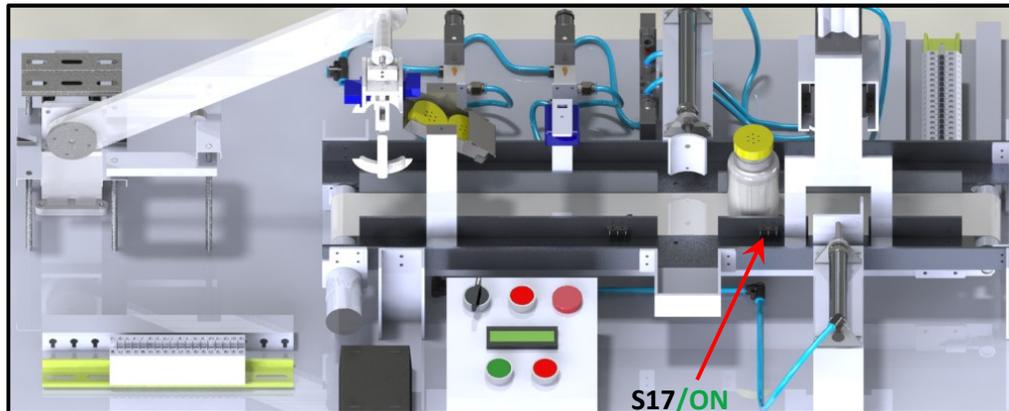


Figura 194. Paso B4 – Módulo Didáctico 2

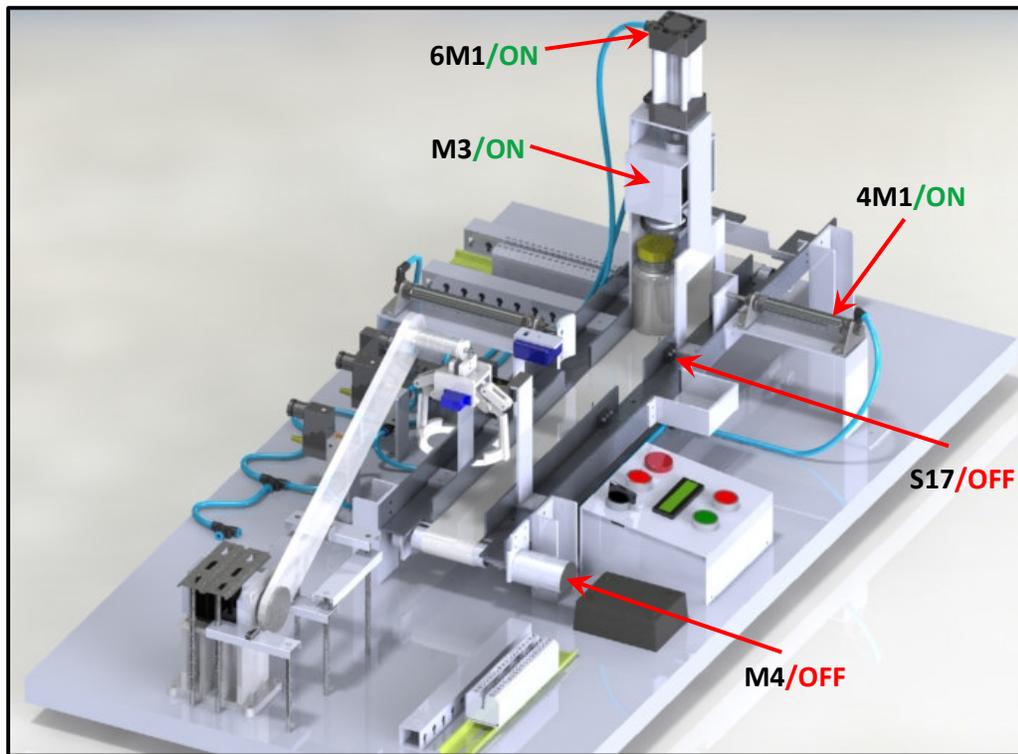
El envase con tapa amarilla se desplazará por la banda hasta llegar a la posición del microswitch y activar la señal **S17**. A partir de aquí se temporizará el desplazamiento de la botella hasta llegar a la zona de tapado.

Tabla 65.

## Diagrama de estados – paso B4

SEÑAL	PASO B4		
	6 s	6.2 s	
M4	1	1	1
S17	0	1	0

## PASO B5



**Figura 195. Paso B5 – Módulo Didáctico 2**

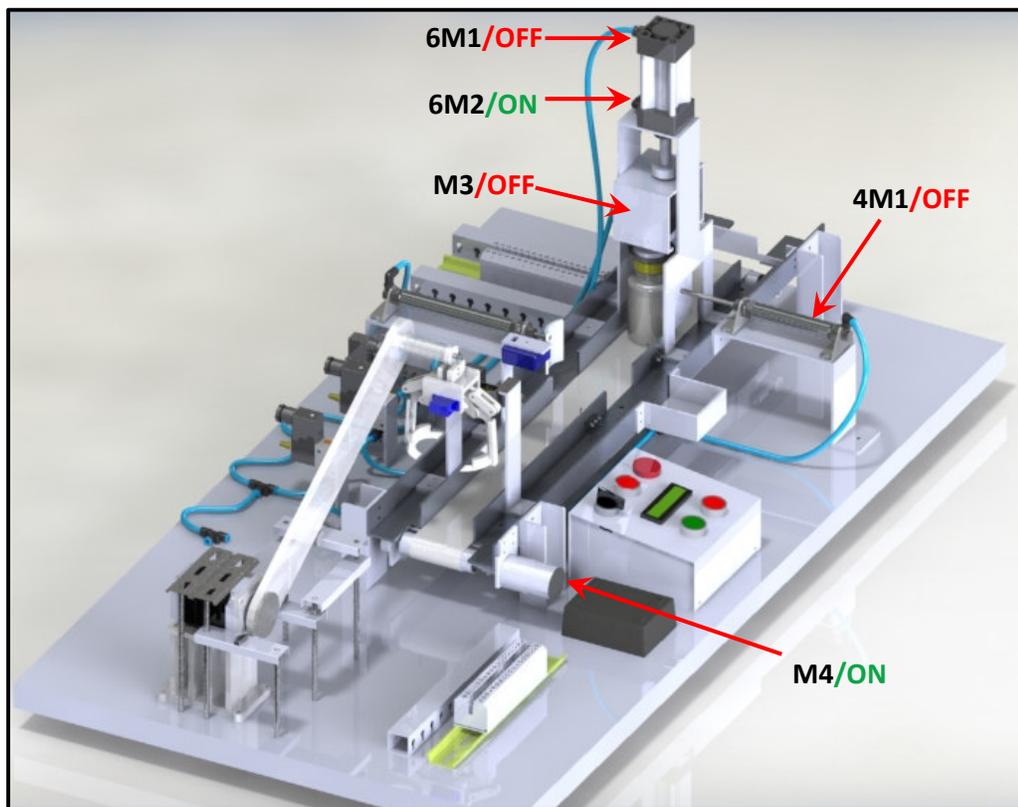
Una vez que el envase haya llegado a la zona de tapado, se detendrá la banda transportadora y se activarán: la señal **4M1** encargada de extender el vástago del pistón **4A** y de esta manera sujetar contra el soporte del sistema al envase, la señal **M3** encargada de activar el motor de roscado y finalmente la señal **6M1** encargada de extender el vástago del pistón **6A** para producir el apriete necesario en el roscado de la tapa.

**Tabla 66.**

**Diagrama de estados – paso B5**

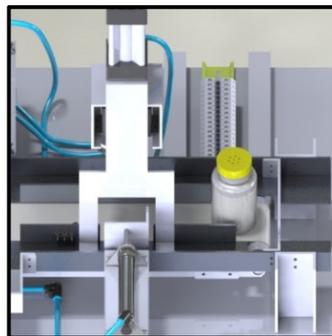
SEÑAL	PASO B5		
	7 s		8 s
<b>M4</b>	1	0	0
<b>4M1</b>	0	1	1
<b>M3</b>	0	0	1
<b>6M1</b>	0	0	1

## PASO B6



**Figura 196. Paso B6 – Módulo Didáctico 2**

Una vez transcurrido 5 segundos, se procede a desactivar todas las señales que controlaban a los 3 actuadores que intervenían en el proceso de tapado (**4M1**, **M3** y **6M1**). Para el pistón **6A**, se activará la señal **6M2** con el objetivo de contraer el vástago del mismo. A continuación se activará el motor de la banda transportadora **M4** para llevar a la botella hacia el final del proceso, como se muestra en la figura 197.



**Figura 197. Final del proceso de tapado botellas**

Tabla 67.

## Diagrama de estados – paso B6

SEÑAL	PASO B6					
	8.2 s	13 s	13.2 s	14 s	15 s	
6M1	1	0	0	0	0	0
4M1	1	1	0	0	0	0
M3	1	1	0	0	0	0
6M2	0	0	1	0	0	0
M4	0	0	0	0	1	0

## 5.2.3. Secuencia entre Módulos Didácticos

Los módulos didácticos tienen la capacidad de trabajar en conjunto mediante el uso del brazo electromecánico instalado en la estación de trabajo 2. Este modo de funcionamiento nos permite tener una secuencia completa desde el inicio del proceso de dosificación hasta el final del proceso de tapado. Para lo cual, se incorporará una secuencia extra para el transporte del envase hacia el módulo 2.

Para activar esta secuencia, los switch **S2** y **S19** deberán estar en la posición de 'módulo completo', de esta manera se tendrán los siguientes cambios en los pasos de cada módulo.

MÓDULO 1:

El único paso que se alterará en la secuencia de este módulo será el A7.2, la botella se desplazará hacia el extremo derecho de la banda ubicándose en la posición necesaria para ser transportada hacia la estación de trabajo 2.

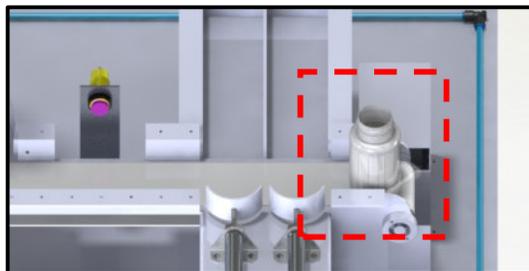


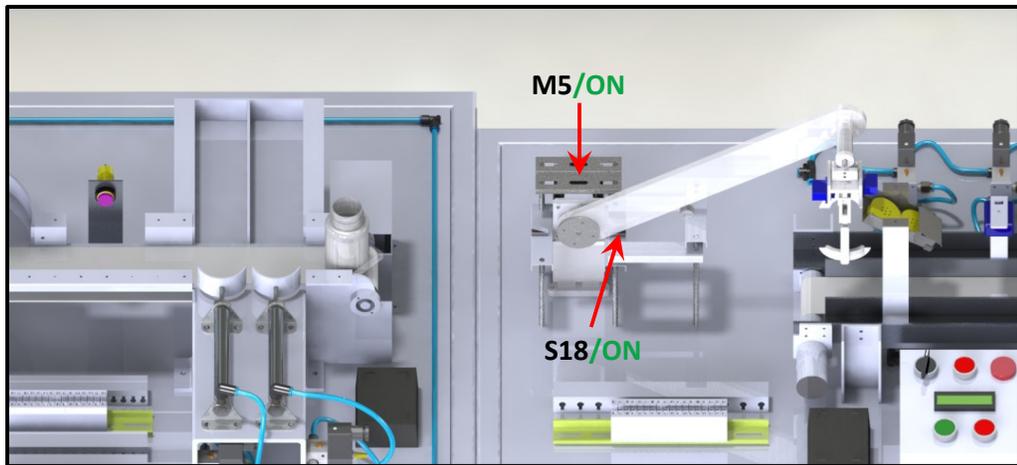
Figura 198. Posición inicial – Secuencia entre Módulos

## MÓDULO 2:

La secuencia de este módulo se verá afectada únicamente en el paso **B1**, en donde el inicio del proceso se dará mediante la activación de la señal **S15** o de la señal de comunicación transmitida desde el controlador del módulo 1 hacia el controlador del módulo 2. Cualquiera de estas dos señales activará la señal **M5**, encargada del control del brazo electromecánico.

La secuencia para el transporte de las botellas es la siguiente:

### PASO C1



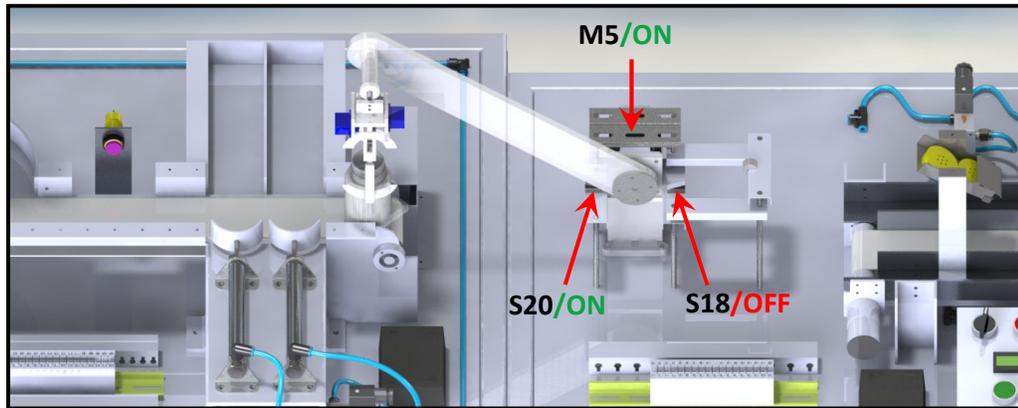
**Figura 199. Paso C1 – Brazo Electromecánico**

Una vez activada la señal **M5**, el controlador verifica si la señal del microswitche **S18** se encuentra activada y energiza el motor a pasos encargado de mover al brazo rotacionalmente hacia la posición inicial donde se encuentra la botella.

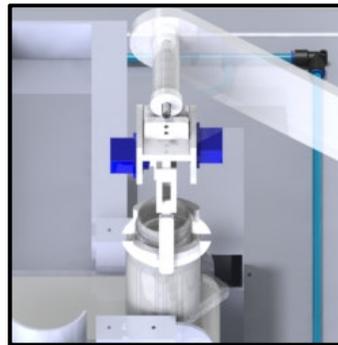
**Tabla 68.**

**Diagrama de estados – paso C1**

SEÑAL	PASO C1		
		0 s	0.2 s
<b>M5</b>	0	1	1
<b>S18</b>	1	1	0
<b>MOTOR A PASOS (anti-horario)</b>	0	1	1

PASO C2**Figura 200. Paso C2 – Brazo Electromecánico**

Cuando el brazo electromecánico llega a la posición inicial, se activa la señal del microswitch **S20**, encargada de detener el movimiento del brazo, y de posicionar angularmente a los motores del gripper para que el mecanismo sujete a la botella como se muestra en la figura 201:

**Figura 201. Sujeción de la Botella****Tabla 69.****Diagrama de estados – paso C2**

SEÑAL	PASO C2	
	5 s	
<b>M5</b>	1	1
<b>S20</b>	0	1
<b>MOTOR A PASOS (anti-horario)</b>	1	0
<b>GRIPPER</b>	0	1

PASO C3

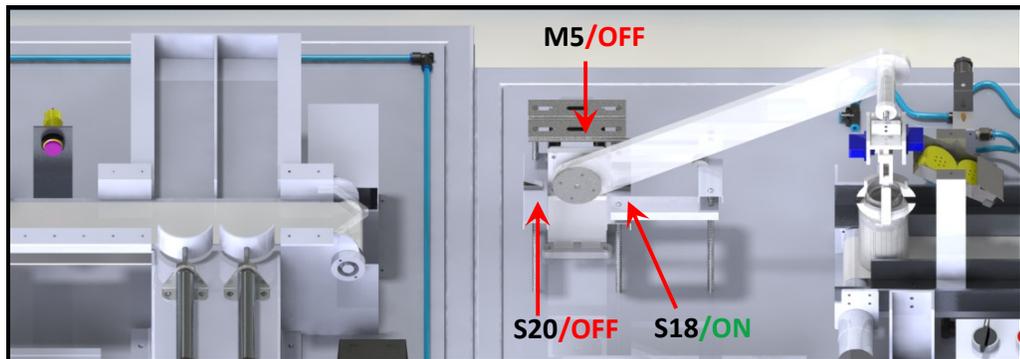


Figura 202. Paso C3 – Brazo Electromecánico

El brazo electromecánico desplaza la botella hacia la posición inicial del módulo 2, en donde continuará con el proceso de tapado. Al llegar a esta posición, el microswitch **S18** se activa y detiene el movimiento del brazo. Finalmente el gripper libera al envase y la señal **M5** se desactiva.

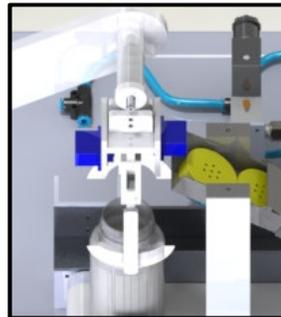


Figura 203. Posicionamiento del Envase en el módulo 2

Tabla 70.

Diagrama de estados – paso C3

SEÑAL	PASO C3				
	7 s	7.2 s	12 s	12.2 s	
<b>M5</b>	1	1	1	1	0
<b>MOTOR A PASOS (horario)</b>	0	1	1	1	0
<b>S20</b>	1	1	0	0	0
<b>S18</b>	0	0	0	1	1
<b>GRIPPER</b>	1	1	1	1	0

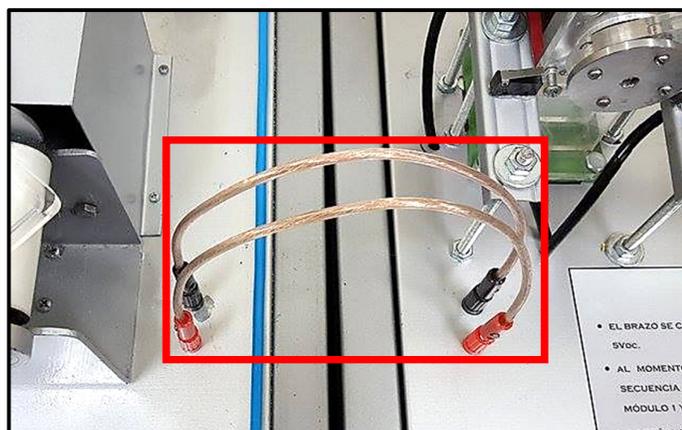
### 5.3. PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES

La programación de cada uno de los Arduino MEGA instalados en los módulos didácticos se la realizó en el software ARDUINO IDE. Los algoritmos de cada proceso cumplen con las secuencias establecidas para cada modo de funcionamiento y se encuentran en el anexo 5 – 01.

### 5.4. REQUERIMIENTOS PREVIOS

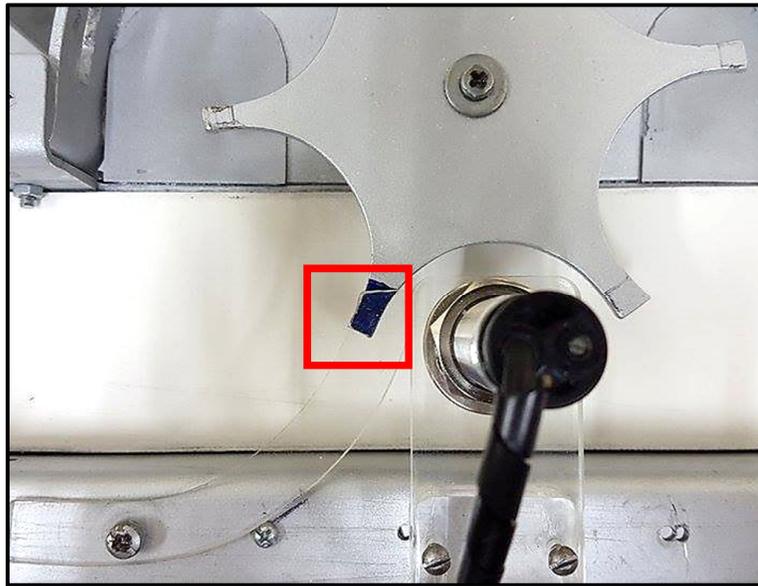
Para el correcto funcionamiento de los modos automáticos DEMO de cada una de las estaciones de trabajo, es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

- Conectar el cable plano de 20 pines entre el Arduino MEGA y la placa de control en cada uno de los módulos, recordar que la conexión en las plataformas Arduino se la realiza entre los pines 22 y 41.
- Por ningún motivo, se debe tener conectado algún otro controlador en las borneras de 5 [Vdc] ó 24 [Vdc], esto con el objetivo de evitar cortos eléctricos al tener más de una señal intentando controlar a los actuadores.
- Al momento de trabajar en Modo Completo, se deben conectar las 'señales de comunicación' entre los dos módulos didácticos como se muestra en la figura 204.



**Figura 204. Conexión de las señales de comunicación**

- Los envases deberán partir de la zona de dosificación con un nivel mínimo de llenado de la mitad de su capacidad para que puedan ser clasificadas por el primer carril en el módulo didáctico 1.
- Previamente para el inicio del sistema en el módulo didáctico 1, se deberá alinear al disco rotatorio como se muestra en la figura 205.



**Figura 205. Alineación en el disco rotatorio**

## CAPÍTULO 6

### 6. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 6.1. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos presentes en la construcción de los prototipos abarcan productos o servicios solicitados en cuanto al proceso de manufactura de ciertos elementos, los cuales están conformados como costos de mano de obra que se describen y detallan en cada tabla de elementos:

Los costos que implican el trabajo de ingeniería realizado por los ejecutores del presente prototipo suman una cantidad que se muestra a continuación:

**Tabla 71.**  
**Costo de ejecutores**

<b>Ingeniería de los ejecutores</b>	
<b>Costo Mensual:</b>	\$ 100,00
<b>Numero de Ejecutores:</b>	2
<b>Tiempo:</b>	8 meses
<b>Total:</b>	<b>\$ 1600,00</b>

Para el detalle de los costos directos mecánicos se toma en consideración todos los elementos estructurales y materiales necesarios que fueron usados para armar los módulos diseñados. Se procuró usar artículos de buena calidad que brinden seguridad, robustez y estabilidad a los prototipos, evitando así disminuir posibles fallas en los equipos.

Tabla 72.

## Costo de Elementos Mecánicos

Elementos Mecánicos			
Material	Cant.	Costo	Total
Perfil cuadrado	7	\$ 11,50	\$ 80,50
Lamina 2mm de espesor	5	\$ 24,50	\$ 122,50
Llantas	8	\$ 9,75	\$ 78,00
Pintura metálica	1	\$ 17,00	\$ 17,00
Mano de obra estructuras	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Cable plano 20 pines modo demo	2	\$ 2,50	\$ 5,00
Lamina de acrílico (espesor: 6 mm)	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Mano de obra corte acrílico	1	\$ 75,00	\$ 75,00
Acople de motor brazo	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Acople Sensor infrarrojo B4	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Rodamientos	5	\$ 0,40	\$ 2,00
Resina Epóxica	1	\$ 3,80	\$ 3,80
Pegamento Scotch	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Masilla	1	\$ 1,20	\$ 1,20
Cinta doble faz	3	\$ 1,70	\$ 5,10
Lija	4	\$ 0,70	\$ 2,80
Spray color Gris	2	\$ 2,80	\$ 5,60
Tiñer	1	\$ 1,85	\$ 1,85
Disco de corte	1	\$ 1,90	\$ 1,90
Cautín	1	\$ 1,60	\$ 1,60
Calibrador	1	\$ 4,40	\$ 4,40
Tuercas (1/8, 3/16, 1/4)	100	\$ 0,03	\$ 3,00
Arandelas	40	\$ 0,05	\$ 2,00
Tornillos 1/8	40	\$ 0,04	\$ 1,60
Tornillos 3/16	35	\$ 0,06	\$ 2,10
Tornillos 1/4	20	\$ 0,08	\$ 1,60
Tornillo sin fin	1	\$ 3,80	\$ 3,80
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 633,85</b>

Los costos directos eléctricos y electrónicos contemplan elementos y materiales necesarios que fueron usados para armar los módulos diseñados. Se procuró usar artículos de buena calidad que brinden seguridad y la mejor respuesta para el sistema de control.

Tabla 73.

## Costo de elementos eléctricos y electrónicos

<b>Elementos Eléctricos y electrónicos</b>			
<b>Material</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
Servo motor SG90	2	\$ 14,00	\$ 28,00
Motor a Pasos NEMA 23 (3 A)	1	\$ 65,00	\$ 65,00
Driver motor NEMA 23 (4.2 A)	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Fuente de voltaje: 24 Vdc	2	\$ 45,00	\$ 90,00
Fuente de voltaje: 5 – 12 Vdc	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Impresión placa motores	1	\$ 17,00	\$ 17,00
Impresión placa de control 1	1	\$ 83,00	\$ 83,00
Elementos placa de control 1	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Impresión placa de control 2	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Elementos placa de control 2	1	\$ 48,00	\$ 48,00
Arduino MEGA	2	\$ 40,00	\$ 80,00
Arduino NANO	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Sensor capacitivo	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Sensor infrarrojo	4	\$ 17,50	\$ 70,00
Pulsadores	11	\$ 2,35	\$ 25,85
Fin de carrera	3	\$ 0,85	\$ 2,55
Switch doble contacto	2	\$ 2,10	\$ 4,20
Dipswitch	4	\$ 1,00	\$ 4,00
Breakers 2 fases	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Conector DB25	4	\$ 2,00	\$ 8,00
Conectores 16 PIN	2	\$ 1,45	\$ 2,90
Borneras industriales	68	\$ 0,55	\$ 37,40
Cable Arduino	136	\$ 0,12	\$ 16,32
Cable par (metros)	62	\$ 0,40	\$ 24,80
Cable multifilar (metros)	34	\$ 0,60	\$ 20,40
Cable plano LCD	2	\$ 1,00	\$ 2,00
Conectores LCD	4	\$ 1,25	\$ 5,00
Espirales para cableado 5 mts	1	\$ 1,95	\$ 1,95
Espirales para cableado 10 mts	1	\$ 4,50	\$ 4,50
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 925,87</b>

En la siguiente tabla se evidencia el valor de los costos directos totales, el cual parte de la sumatoria de los subtotales de los puntos ya tomados en consideración dentro de la construcción del proyecto:

Tabla 74.

**Costo directos totales**

<b>Costos directos Totales</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Ingeniería de los ejecutores	\$ 1600,00
Subtotal parte mecánica	\$ 633,85
Subtotal parte eléctrica y electrónica	\$ 925,87
<b>Total</b>	<b>\$ 3159,72</b>

**6.2. COSTOS INDIRECTOS**

Los costos indirectos son gastos adquiridos en la ejecución de las actividades no consideradas en los costos directos, es decir son costos por administración de recursos, transporte de equipos, construcción y supervisión del proyecto.

En este análisis de costos de los prototipos se identifican costos indirectos como: transporte de los elementos mecánicos, planificación de elaboración de los módulos, impresión de datos técnicos y planos vitales para el seguimiento y correcto orden de las partes mecánicas en los prototipos diseñados dándonos un valor aproximado de \$ 200.

Además de lo mencionado en este apartado existe un costo que hace referencia a las tutorías por parte del Ingeniero director del proyecto.

Tabla 75.

**Costo indirectos totales**

<b>Costos indirectos Totales</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos indirectos por Tutorías	
<b>Costo por Hora:</b>	\$ 15,00
<b>Número de Horas:</b>	20 horas
<b>Subtotal:</b>	<b>\$ 300,00</b>
Costos indirectos Extras	
<b>Varios:</b>	<b>\$ 200,00</b>
<b>Total:</b>	<b>\$ 500,00</b>

### 6.3. COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO

Con la sumatoria de los costos ya descritos que en este caso son los costos directos totales y los costos indirectos totales, se puede obtener la suma final de costes de la construcción, partes que se incluyen en los módulos propuestos y desarrollados en el proyecto.

**Tabla 76.**

#### **Costos totales del Proyecto**

<b>Costo final del proyecto</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos directos totales	\$ 3159.72
Costos indirectos totales	\$ 500,00
<b>Total</b>	<b>\$ 3659,72</b>

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

- Se rediseñó y automatizó dos módulos didácticos para la dosificación de sólidos y tapado de botellas, en donde se aplicó conocimientos mecánicos en el dimensionamiento de las estructuras, electrónicos con la selección de sensores y de control con la implementación de una plataforma Arduino, dando solución a varios aspectos técnicos que se presentaron durante la ejecución del proyecto, con la finalidad de mostrar un plan acorde a las necesidades que requiere un laboratorio con gran influencias en el aprendizaje de los alumnos que cursan la carrera de ingeniería mecatrónica.
- Los elementos estructurales presentan una demanda de capacidad de 36.1% para el módulo uno y 37.8% para el módulo dos, los cuales se aprecian en sus respectivos análisis estáticos, producto del uso de materiales comerciales en el mercado nacional que en conjunto con el diseño, nos dan seguridad que pueden trabajar en ambientes de incertidumbre sin presentar ningún tipo de falla considerable.
- Para la implementación de un envase que pueda ser utilizado en ambos módulos se incorporó y readequo varios soportes, en su mayoría se encontraban en el módulo de dosificación los cuales no contaban con las dimensiones adecuadas para el avance del envase.
- Se fabricó un brazo electromecánico que consta de un controlador Arduino Nano, en el cual se encuentra una secuencia preestablecida que le permite interactuar con ambos módulos mediante una sola señal de control que la hemos denominado M5.

- La posibilidad de trabajar con señales de 5 [Vdc] y 24 [Vdc], que se encuentran definidas en las borneras de cada una de las estaciones de trabajo da apertura al uso de una gran variedad de controladores que estará a la disposición del tutor dando propuestas más específicas a los objetivos que pretenda desarrollar en la práctica.
- Los módulos didácticos presentan un funcionamiento automático (Modo Demo) el cual nos demuestra la interacción de todos los elementos que componen las estaciones de trabajo en los cuales tenemos sensores de color, infrarrojos, fotoeléctricos, capacitivos y finales de carrera con actuadores como son motores a pasos, servo motores, moto reductores, cilindros simple efecto y doble efecto, dando solución a una de las necesidades más demandadas en carreras técnicas, en donde el estudiante puede ratificar conocimientos teóricos con el uso de elementos tangibles, desarrollando por completo el aprendizaje que se desea obtener.
- Cada elemento que influye en la secuencia de las estaciones de trabajo tanto sensores como actuadores tienen su fundamento teórico que se analizó previamente a su uso, ya que existe una combinación de componentes industriales y didácticos que manejan parámetros completamente diferentes entre sí y el acondicionamiento que tiene cada uno de ellos está en base al estudio de sus capacidades.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Los módulos didácticos fueron readecuados tomando en cuenta la posibilidad de futuras implementaciones hacia otras estaciones de trabajo en secuencia, pudiendo enfocarse en la ubicación del envase vacío en la etapa inicial, remoción de envase rechazado en la zona de tapado o el de clasificación del envase final debido a que en la actualidad se puede observar que dichos procesos se los realiza manualmente.

- Para el acople de nuevas estaciones de trabajo tener en cuenta al altura de la estructura de soporte ya que es punto de partida para el cálculo del mecanismo de traslado de producto final.
- La secuencia del brazo electromecánico está a disposición del encargado del laboratorio ya que dicha programación se la puede cambiar solo en el controlador Arduino Nano al cual no tienen acceso los alumnos por motivos de salvaguardar los elementos mecánicos que componen el mismo.
- Se recomienda seguir el orden específicos de pasos que se indican en el manual antes del uso de las estaciones de trabajo, en el cual encontraremos los diferentes modos de funcionamiento entre ellos están: el automático demo, modo 5 [Vdc] y modo 24 [Vdc] al igual que algunas precauciones y recomendaciones necesarias para el funcionamiento óptimo del equipo.
- Se debe tener en cuenta que la secuencia que se ejecuta en el modo automático demo no es la única secuencia que puede realizar las estaciones de trabajo ya que al ser didácticas se pretende dar apertura que los estudiantes puedan utilizar todos los elementos de forma indistinta de acuerdo a la secuencia que deseen mostrar.
- Para el uso de las estaciones en cada uno de sus modos verificar cada elemento que se va a manipular con la documentación presentada, ya que existe una gran variedad de componentes que pueden ejecutar varias funciones de acuerdo a la aplicación que se le quiera dar.
- Se puede mejorar cualquier tipo de proceso a lo largo de toda la trayectoria del envase si el caso lo requiera con la implementación de diversos tipos de controladores que por motivos de ser didácticos no fueron implementados directamente, pudiendo enfocarse al control de la velocidad de los motores o el proceso de dosificación en la tolva.

# **ANEXOS**

# Referencias

- Arduino. (s.f.). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/>
- Budynas, R. y. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill.
- Conti, F. (2003). *Motores paso a paso*. ALSINA.
- Didactic, F. (s.f.). *Festo*. Obtenido de <http://www.festo-didactic.com>
- Fenner&Dunlop. (2009). *Conveyor Handbook*. Obtenido de [http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/dangnh/file/5\\_Fenner\\_Dunlop\\_2009\\_Conveyor Handbook.pdf](http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/dangnh/file/5_Fenner_Dunlop_2009_Conveyor_Handbook.pdf)
- Habasit. (2009). *Catálogo y tipos de Bandas Transportadoras*. Obtenido de <http://www.habasit.com>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas (Segunda edición)*. México: Pearson.
- Phoenix. (2015). *Phoenix Conveyor Belts, Design Fundamentals*. Obtenido de <http://www.phoenix-ag.com>
- Policarbonato, A. y. (2015). *Propiedades del Acrílico*. Obtenido de [http:// www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico-propiedades.html](http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico-propiedades.html)
- Rojas, G. (s.f.). *Diseño Estructural de acero. Armaduras de acero. Instituto tecnológico de Costa Rica, Ingeniería en Construcción*. Costa Rica.
- Roldán, J. (2012). *Tecnología y circuitos de aplicación de neumática, hidráulica y electricidad*. Madrid: Parainfo.
- Solutions, A. M. (2015). The TIA Portal solution. *Supplement India 2015, Vol. 16, 45*.
- Viloria, J. R. (2014). *Motores de corriente DC S.A*. España: Parainfo.
- Yuliang., L. (2014). *Applied Mechanics & Materials*. Obtenido de <http://www.scientific.net/AMM.644-650.333>.