

Tecnológico de Costa Rica

Área académica de Ingeniería en Mecatrónica



Diseño de un Sistema Mecatrónico que permita automatizar el proceso de ensamble  
del conector macho Lynx S2S

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica  
con el grado académico de Licenciatura

Alonso Gerardo Obando Venegas

Cartago 26 de junio 2018

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Alonso Gerardo Obando Venegas  
Cartago, junio de 2018  
Céd: 1-1581-0421

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Proyecto de Graduación  
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



---

Ing. Ignacio del Valle Granados  
Profesor Lector



---

Ing. Paula Monge Chanto  
Profesora Lectora



---

Ing. Ana Lucía Morera Barquero  
Profesora Asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 26 de junio de 2018

## Resumen

En la línea de producción para la empresa de MilliporeSigma, cuyos servicios subcontrata Medplast Medicial se realiza el ensamble del conector Lynx S2S. El proceso de ensamble del conector macho cuenta con 4 estaciones entre la que destaca la de prensas neumáticas, la cual realiza un primer ensamble de tres de las piezas del componente.

Actualmente el componente posee un cuello de botella muy grande en la estación de prensas neumáticas, el cual debe ser reducido sin variar la cantidad de operarios que laboran en la línea de producción.

Por esto se ve en la necesidad de diseñar un sistema mecatrónico con la capacidad de realizar el ensamble del conector macho Lynx S2S, operado por una sola persona, sin afectar la productividad de la línea y asegurando la seguridad de esta.

En este documento se detalla todo el diseño del sistema mecatrónico propuesto como solución. Se seleccionan todos los componentes, actuadores, sensores y demás elementos requeridos, se diseña la estructura mecánica de la máquina, así como sus conexiones eléctricas y neumáticas.

**Palabras clave:** Automatización, mecatrónica, seguridad, neumática, control eléctrico.

## **Abstract**

In the production line for the MilliporeSigma company, whose services Medplast Medical subcontracts, the Lynx S2S connector its assembly. The assembly process of the male connector has 4 stations among which stands out the pneumatic press, which makes a first assembly of three of the parts of the component.

Currently the component has a very large bottle neck in the pneumatic press station, which must be reduced without changing the number of operators working in the production line.

Therefore, it is necessary to design a mechatronic system with the capacity to assemble the Lynx S2S male connector, operated by a single person, without affecting the productivity of the line and ensuring its safety.

This document details the entire design of the proposed mechatronic system as a solution. All the components, actuators, sensors, and other required elements are selected, the mechanical structure of the machine is designed, as well as its electrical and pneumatic connections.

**Key words:** Automation, mechatronics, security, pneumatics, electrical control.

*A mis queridos padres,*

## **Agradecimientos**

Primero, agradecer a mis padres, no solo por creer en mí, sino por darme todas las herramientas necesarias para que completar este proceso fuera posible, sin ellos, nada de esto hubiera sido posible.

A mis amigos de la universidad, quienes han recorrido este camino a mi lado, agradezco por nunca dejarme atrás y darme el apoyo necesario para seguir adelante, aún en los momentos más difíciles. Oscar, Luis, Esteban, Rigo, Tonteras, Daniel, Luis M, Roberto, Diego, José Andrés, Fabricio, Juan José, Mario, Raquel, Kathy, Silvia, Anna, gracias por convertirse en personas incondicionales, que ya son parte de mi familia. Gracias a Auri, porque sin vos, sencillamente no lo hubiera logrado.

A mis compañeros de trabajo en la empresa Medplast Medical, quienes me abrieron las puertas y me hicieron sentir parte de su familia, porque gracias a su apoyo pude concluir esta etapa con éxito.

Finalmente agradecer a todos los que de una u otra manera me ayudaron durante este proceso. A la profesora Ana Lucía por el seguimiento y la paciencia que me tuvo durante toda esta etapa. A los profesores Ignacio del Valle y Paula Monge por sus consejos para hacer de este un proyecto exitoso. Al profesor Julio Rojas, quien dedicó gran parte de su tiempo en ser guía durante toda la realización del proyecto. A todos, gracias.

# 1 INDICE

2	Introducción .....	15
2.1	Entorno del Proyecto.....	15
2.2	Definición del Problema .....	17
2.3	Objetivos del Proyecto .....	19
2.3.1	Objetivo General.....	19
2.3.2	Objetivos Específicos .....	19
3	Marco Teórico.....	21
3.1	Sensores.....	21
3.1.1	Tipos de Sensores.....	22
3.1.2	Características Estáticas y Dinámicas de los Sistemas de Medida.....	25
3.2	Controlador Lógico Programable .....	27
3.3	Neumática.....	30
3.3.1	Unidades de Presión .....	32
3.3.2	Elementos Activos .....	33
3.3.3	Elementos Pasivos .....	34
3.3.4	Vacío .....	39
4	Situación Actual.....	41
4.1	Conector Lynx S2S .....	41
4.1.1	Beneficios .....	41
4.1.2	Aplicaciones .....	42
4.1.3	Accionamiento de los Conectores .....	42
4.2	Conector Macho Lynx S2S .....	45
4.3	Equipo de ensamble actual del Conector Macho Lynx S2S.....	47
4.4	Proceso de Ensamble Actual del Conector Macho Lynx S2S.....	48
5	Diseño y Selección de Componentes del Sistema Mecatrónico.....	51
5.1	Solución Propuesta.....	51
5.2	Diagrama neumático.....	52
5.3	Diseño y selección de partes .....	54
5.4	Ensamble de la máquina.....	102
6	Diseño del Sistema de Control de la Máquina.....	104
6.1	Entradas y Salidas del Sistema.....	104

6.2	Controlador del Sistema.....	106
6.3	Diagrama Eléctrico.....	110
6.4	Programación del LOGO Soft Comfort V8 .....	112
7	Análisis de la Solución.....	123
7.1	Validación del Sistema.....	123
7.2	Análisis de Esfuerzos.....	129
7.3	Análisis Financiero .....	132
8	Conclusiones.....	137
9	Recomendaciones.....	138
10	Bibliografía .....	139
11	Anexos .....	140
11.1	Anexo A: Planos de la máquina .....	140

# INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONECTOR LYNX S2S. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE. ....	16
FIGURA 2. CONECTOR LYNX S2S. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE.....	16
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL CONECTOR MACHO LYNX S2S. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	17
FIGURA 4. DIAGRAMA DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN. FUENTE: SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL.....	21
FIGURA 5. DIFERENCIA ENTRE LAS SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES. FUENTE: SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL.....	23
FIGURA 6. DIFERENCIA ENTRE LOS TÉRMINOS PRECISIÓN Y EXACTITUD. FUENTE: SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL.....	26
FIGURA 7. EJEMPLO DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE. FUENTE: PÁGINA WEB DE FABRICANTE. ....	27
FIGURA 8. COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PLC. FUENTE: SIEMENS AUTOMATION.....	28
FIGURA 9. EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN POR EL MÉTODO DE GRAFCET. FUENTE: AUTÓMATAS. ....	29
FIGURA 10. EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN POR EL MÉTODO DE LÓGICA DE ESCALERA. FUENTE: AUTÓMATAS. ....	30
FIGURA 11. CIRCUITO NEUMÁTICO BÁSICO. FUENTE: INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA.....	30
FIGURA 12. RELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE PRESIÓN ABSOLUTA, RELATIVA Y ATMOSFÉRICA. FUENTE: INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA.....	32
FIGURA 13. CONCEPTO DE PRESIÓN. FUENTE: FÍSICA UNIVERSITARIA.....	33
FIGURA 14. COMPRESOR. FUENTE: OLE HIDRÁULICA.....	33
FIGURA 15. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO. FUENTE: SISTEMAS NEUMÁTICOS: PRINCIPIOS Y MANTENIMIENTO.....	35
FIGURA 16. TUBERÍAS COMUNES. FUENTE: MANUAL DE ESTUDIO DE NEUMÁTICA FESTO.....	35
FIGURA 17. DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS POSICIONES Y VÍAS EN UNA VÁLVULA. FUENTE: INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA.....	37
FIGURA 18. CILINDRO DE SIMPLE EFECTO. FUENTE: INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA.....	38
FIGURA 19. CILINDRO DE DOBLE EFECTO. FUENTE: INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA.....	39
FIGURA 20. EYECTOR DE VACÍO. FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS.....	40
FIGURA 21. CONECTOR LYNX S2S COMPLETAMENTE ACTUADO. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE.....	45
FIGURA 22. CONECTOR MACHO LYNX S2S. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE.....	45
FIGURA 23. ENSAMBLAJE DE LAS PIEZAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	47
FIGURA 24. COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	51
FIGURA 25. COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	52
FIGURA 26. DIAGRAMA NEUMÁTICO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	54
FIGURA 27. EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AIRE SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	56
FIGURA 28. UNIDAD DE COMBINACIÓN FILTRO + REGULADOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	56
FIGURA 29. REGULADOR DE PRESIÓN SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	58
FIGURA 30. PRESOSTATO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59
FIGURA 31. UNIÓN DEL REGULADOR CON EL PRESOSTATO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	60
FIGURA 32. PRESOSTATO Y REGULADOR SELECCIONADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	60
FIGURA 33. VÁLVULA ESTRANGULADORA SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	62
FIGURA 34. VÁLVULA SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	64
FIGURA 35. VÁLVULA 5/2 MONOESTABLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	64
FIGURA 36. SILENCIADOR SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	65
FIGURA 37. DETECTORES MAGNÉTICOS SELECCIONADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	66
FIGURA 38. CUERPO DEL CILINDRO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
FIGURA 39. CABEZA DEL CILINDRO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	70
FIGURA 40. VISTA DE CORTE DE LA CABEZA DEL CILINDRO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	70

FIGURA 41. CILINDRO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	71
FIGURA 42. CUERPO DEL CILINDRO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	74
FIGURA 43. CABEZA DEL CILINDRO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	75
FIGURA 44. CORTE DE LA CABEZA DEL CILINDRO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	75
FIGURA 45. CODO ORIENTABLE ALLEN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	76
FIGURA 46. CILINDRO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	77
FIGURA 47. CORTE DE CILINDRO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	77
FIGURA 48. CARACTERÍSTICAS DE CONFIGURACIÓN DEL EYECTOR DE VACÍO. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE. ....	79
FIGURA 49. EYECTOR DE VACÍO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79
FIGURA 50. FILTRO DE VACÍO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	81
FIGURA 51. GUÍA PARA LA SELECCIÓN PROVISIONAL DEL MODELO DE CILINDRO. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE. ....	82
FIGURA 52. CARRO NEUMÁTICO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	83
FIGURA 53. BASE PARA BODY - STEM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	84
FIGURA 54. COLOCACIÓN DEL BODY SOBRE LA BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	84
FIGURA 55. CORTE DE LA COLOCACIÓN DEL BODY SOBRE LA BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	85
FIGURA 56. BASE PARA HANDLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	86
FIGURA 57. COLOCACIÓN DEL HANDLE SOBRE LA BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	86
FIGURA 58. CORTE DE LA COLOCACIÓN DEL HANDLE SOBRE LA BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	87
FIGURA 59. ADAPTADOR PARA BASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	87
FIGURA 60. CARRO NEUMÁTICO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	88
FIGURA 61. CILINDRO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	88
FIGURA 62. EMISOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	90
FIGURA 63. RECEPTOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	90
FIGURA 64. SENSORES FOTOELÉCTRICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	91
FIGURA 65. OJOS CHINOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	91
FIGURA 66. FUNCIONAMIENTO DE LOS OJOS CHINOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	92
FIGURA 67. BOTÓN INICIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	94
FIGURA 68. BOTÓN DE PARO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	96
FIGURA 69. CORTINAS DE SEGURIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	97
FIGURA 70. PARTE 1 DE LA CARCASA DE LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	98
FIGURA 71. PARTE 2 DE LA CARCASA DE LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	98
FIGURA 72. PARTE 3 DE LA CARCASA DE LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	99
FIGURA 73. CARCASA DE LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	99
FIGURA 74. UNIÓN DE LA CARCASA DE LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	100
FIGURA 75. TUBOS DE POLIURETANO. FUENTE: PÁGINA WEB DE SMC. ....	100
FIGURA 76. Y CUÁDRUPLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	101
FIGURA 77. Y TUBO - TUBO. FUENTE: REALIZACIÓN PERSONAL. ....	102
FIGURA 78. VISTA FRONTAL DEL ENSAMBLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	102
FIGURA 79. VISTA ISOMÉTRICO ENSAMBLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	103
FIGURA 80. VISTA ISOMÉTRICO 2 DEL ENSAMBLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	103
FIGURA 81. LOGO POWER 24 V / 1.3 A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	107
FIGURA 82. LOGO 24 RCEo. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	108
FIGURA 83. MÓDULO EXTRA DE ENTRADAS Y SALIDAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	109
FIGURA 84. LOGO DM16 24 R. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	110
FIGURA 85. DIAGRAMA ELÉCTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	112
FIGURA 86. CHEQUEO DE CONDICIONES INICIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	113
FIGURA 87. CONDICIONES QUE GENERAN PARO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	114

FIGURA 88. CONTROL DE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	115
FIGURA 89. POSICIÓN INICIAL DE LOS CILINDROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	115
FIGURA 90. PRIMERA MITAD DE LA SECUENCIA DE LOS CILINDROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	116
FIGURA 91. SEGUNDA MITAD DE LA SECUENCIA DE LOS CILINDROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	116
FIGURA 92. DIAGRAMA DE SECUENCIAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	118
FIGURA 93. CONTROL DE LA VÁLVULA DEL CILINDRO NEUMÁTICO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	119
FIGURA 94. CONTROL DE LA VÁLVULA DEL CILINDRO NEUMÁTICO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	120
FIGURA 95. CONTROL DE LA VÁLVULA DEL CILINDRO NEUMÁTICO C. FUENTE: REALIZACIÓN PERSONAL. ....	121
FIGURA 96. CONTROL DE LA VÁLVULA DE VACÍO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	122
FIGURA 97. SECCIÓN 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	124
FIGURA 98. SECCIÓN 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	124
FIGURA 99. SECCIÓN 3. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	125
FIGURA 100. SECCIÓN 4. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	125
FIGURA 101. SECCIÓN 5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	126
FIGURA 102. SECCIÓN 6. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	126
FIGURA 103. SECCIÓN 7. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	127
FIGURA 104. SECCIÓN 8. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	127
FIGURA 105. CARGAS AXIALES EN EL VÁSTAGO DEL CILINDRO NEUMÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	130
FIGURA 106. COLOCACIÓN DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL VÁSTAGO EN SOFTWARE DE SIMULACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	130
FIGURA 107. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AL CARBONO, MATERIAL DEL VÁSTAGO. FUENTE: SOFTWARE SOLIDWORKS .....	131
FIGURA 108. SIMULACIONES DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL COMPONENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	131

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIEMPOS DE ENSAMBLE PROMEDIO PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL CONECTOR MACHO LYNX S2S, EN LOS TURNOS A Y B CON 6 OPERARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	18
TABLA 2. TIEMPOS DE ENSAMBLE PROMEDIO PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL CONECTOR MACHO LYNX S2S, EN LOS TURNOS A Y B CON 7 OPERARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	18
TABLA 3. ACCIONAMIENTO DE LOS CONECTORES MACHO Y HEMBRA LYNX S2S. FUENTE: HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE. ....	42
TABLA 4. PARTES DEL CONECTOR MACHO LYNX S2S QUE INTERVIENEN EN EL ENSAMBLE EN LAS ESTACIONES 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	46
TABLA 5. EQUIPO QUE PARTICIPA EN LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ENSAMBLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	47
TABLA 6. PASOS PARA REALIZAR EL ENSAMBLE EN LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	48
TABLA 7. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS NEUMÁTICOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	53
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	55
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	57
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DEL PRESOSTATO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	58
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA ESTRANGULADORA SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	61
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	63
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DEL SILENCIADOR SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	65
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE LOS DETECTORES MAGNÉTICOS SELECCIONADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	66
TABLA 15. RANGOS DE FUERZA SOBRE LOS QUE SE DEBE REALIZAR EL ENSAMBLE A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	67
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	68
TABLA 17. RANGOS DE FUERZA DE TRABAJO PARA EL ENSAMBLE B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	71
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO SELECCIONADO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	73
TABLA 19. CARACTERÍSTICAS DEL CODO ORIENTABLE SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	76
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS DEL EYECTOR DE VACÍO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE VACÍO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	80
TABLA 22. CARACTERÍSTICAS DEL CARRO NEUMÁTICO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	82
TABLA 23. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES FOTOELÉCTRICOS SELECCIONADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	89
TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DEL BOTÓN INICIO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	93
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS DEL BOTÓN DE PARO SELECCIONADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	95
TABLA 26. CARACTERÍSTICAS DE LAS CORTINAS DE SEGURIDAD SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	96
TABLA 27. CARACTERÍSTICAS DE LA Y CUÁDRUPLE SELECCIONADA. FUENTE: REALIZACIÓN PERSONAL. ....	101
TABLA 28. CARACTERÍSTICAS DE LA Y TUBO - TUBO SELECCIONADA. FUENTE: REALIZACIÓN PERSONAL. ....	101
TABLA 29. ENTRADAS DEL SISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	105
TABLA 30. SALIDAS DEL SISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	106
TABLA 31. PARTES QUE CONFORMAN LA UNIDAD DE CONTROL LOGO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	106
TABLA 32. CARACTERÍSTICAS DEL LOGO POWER 24 V / 1.3 A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	107
TABLA 33. CARACTERÍSTICAS DEL LOGO 24 RCEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	108
TABLA 34. CARACTERÍSTICAS DEL LOGO DM16 24 R. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	109
TABLA 35. DESIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS EN EL DIAGRAMA ELÉCTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	111

TABLA 36. DESIGNACIÓN DE LAS SALIDAS EN EL DIAGRAMA ELÉCTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	111
TABLA 37. SECUENCIA DE LOS CILINDROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	117
TABLA 38. TIEMPOS ESTIMADOS DE DURACIÓN PARA LA MÁQUINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	128
TABLA 39. FUERZAS MÁXIMAS EN LOS CILINDROS NEUMÁTICOS A Y B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	129
TABLA 40. COSTO DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	132
TABLA 41. COSTOS DE DISEÑO, PROGRAMACIÓN, ENTRE OTROS, IGUAL AL SALARIO RECIBIDO POR PARTE DE LA EMPRESA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	134
TABLA 42. COSTOS DE PRODUCCIÓN EN TÉRMINOS DE PERSONAL UTILIZADO DE LA PRODUCCIÓN ACTUAL VS LA PRODUCCIÓN DE AUTOMATIZACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	135

## **2 Introducción**

### **2.1 Entorno del Proyecto**

Medplast es una empresa de dispositivos médicos fundada en el 2007 con su sede en Tempe, Arizona. Cuenta con diferentes instalaciones de fabricación a lo largo del mundo, por ejemplo, en Costa Rica. La compañía ofrece soluciones personalizadas en el procesamiento de plásticos para dispositivos médicos terminados.

La sede ubicada en el país, Medplast Medical Costa Rica, se encuentra en el Parque Zona Franca Metropolitana, en Barreal de Heredia. Tiene cuatro edificios dentro del parque, entre los cuales destacan tres ambientes controlados ISO clase 8 y un ambiente controlado ISO clase 7. La compañía se compone de aproximadamente ochocientos cincuenta empleados y se dedica en un cien por ciento al negocio de los dispositivos médicos.

Medplast Medical Costa Rica trabaja como subcontratista al producir los diseños de dispositivos de otras empresas médicas (moldeo y ensamble). Entre los dispositivos que se desarrollan destacan los catéteres de balón, torniquetes, conectores, entre otros mecanismos muy variados que dependen de la compañía para la cual sean trabajados.

Este proyecto se concentra específicamente en el dispositivo desarrollado para la empresa MilliporeSigma, la cual tiene como propósito resolver los problemas más complejos de las ciencias de la vida para acelerar el acceso a la sanidad de todo el mundo.

MilliporeSigma cuenta con gran presencia mundial y una cartera de trescientos mil productos, entre los que se encuentra el desarrollado por Medplast Medical Costa Rica, el conector Lynx S2S (estéril - estéril).



Figura 1. Conector Lynx S2S. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

Este conector es un dispositivo desechable de un solo uso, compatible con radiación gamma y esterilización en autoclave, sirve para conectar vías esterilizadas de fluido en procesos biofarmacéuticos. El conector S2S está compuesto de una conexión hembra y una conexión macho. Una vez que estos dos componentes se instalan juntos, la vía de fluido estéril está lista, los dos componentes ya no pueden desmontarse, disminuyendo el riesgo de pérdida de la esterilidad.



Figura 2. Conector Lynx S2S. Fuente: Hoja de datos del Fabricante.

## 2.2 Definición del Problema

La línea de producción del conector macho posee una distribución como la que se muestra en la figura 3, sin embargo, la cantidad de operarios que trabajan en ella produce un problema que afecta la capacidad de la línea de producción, para lo que se realiza un estudio de tiempos que muestre esta problemática.



Figura 3. Distribución de la línea de producción del conector macho Lynx S2S. Fuente: Elaboración propia.

Se realiza un estudio de tiempos en la línea de producción del conector macho, inicialmente con 6 operarios y luego con 7 operarios durante los turnos A y B y se obtienen los resultados promedio de los tiempos mostrados en las tablas 1 y 2. Las tablas solo muestran los resultados promedio de los tiempos debido a que los datos no pueden ser divulgados. Sin embargo, para realizar la captura de datos se tomaron 10 muestras por estación, se sacaron los promedios y se consideró un 12 % de descansos y una curva de aprendizaje de 100 % de los operarios.

Tabla 1. Tiempos de ensamble promedio para la línea de producción del Conector Macho Lynx S2S, en los turnos A y B con 6 operarios. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Operación	Tiempo promedio (s)	Comentarios
1	Ensamble en prensas 1 y 2	54,18	Cuello de botella
2	Tiempo de máquina de pruebas de integridad	26,78	
3	Inspección visual 1	33,51	
	Inspección visual 2	26,84	
4	Operación 1 de sellado	26,90	
	Operación 2 de sellado	19,17	

Tabla 2. Tiempos de ensamble promedio para la línea de producción del Conector Macho Lynx S2S, en los turnos A y B con 7 operarios. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Operación	Tiempo promedio (s)	Comentarios
1	Ensamble en prensa 1	28,22	
	Ensamble en prensa 2	22,51	
2	Tiempo de máquina de pruebas de integridad	26,5	
3	Inspección visual 1	30,99	Cuello de botella
	Inspección visual 2	27,95	
4	Operación de sellado 1	25,53	
	Operación de sellado 2	19,20	

Al analizar las tablas 1 y 2 se pueden obtener las siguientes conclusiones. Cuando la línea de producción es operada por 6 personas se produce un cuello de botella en la estación 1, al ser operada por 7 personas se elimina este cuello de botella, sin embargo,

los costos de producción aumentan pues se debe costear el trabajo de una persona más durante 3 turnos diarios. Según datos proporcionados por el departamento financiero un operario representa un costo de 11 000 dólares anuales para la empresa.

Por lo tanto, se propone, diseñar un sistema capaz de cumplir con las funciones de la estación 1 manteniendo la capacidad de la línea y el número de operarios que trabajan en esta.

## **2.3 Objetivos del Proyecto**

### **2.3.1 Objetivo General**

- Diseñar un sistema mecatrónico que permita automatizar el proceso de ensamble del conector macho Lynx S2S, utilizado en conexiones estériles, para sustituir dos estaciones de ensamble con la misma capacidad de producción de línea.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

1. Conocer y evaluar el proceso de ensamble actual del conector macho Lynx S2S.
  - a. Entregable: Resultados de la evaluación de la situación actual del ensamble.
  - b. Indicador de éxito: Conocer la situación actual del ensamble del conector macho Lynx S2S.
2. Diseñar el sistema mecánico que permita realizar el ensamble de los componentes.
  - a. Entregable: Planos mecánicos del sistema.
  - b. Indicador de éxito: Que el sistema sea capaz de ensamblar los componentes y sacar un conector macho como resultado.

3. Diseñar un sistema que garantice la seguridad de los operadores y técnicos que manipulen la máquina ensambladora.
  - a. Entregable: Planos neumáticos y programación del controlador del sistema que garantiza la seguridad.
  - b. Indicador de éxito: Garantizar la seguridad de los operarios.
4. Diseñar un sistema de control eléctrico que realice la ejecución y el estado del proceso.
  - a. Entregables: Planos eléctricos del sistema, programación de la secuencia en el controlador.
  - b. Indicador de éxito: Que el sistema sea capaz de seguir la secuencia de control.
5. Realizar un análisis financiero para determinar la viabilidad del proyecto.
  - a. Entregable: Resultados del análisis financiero del proyecto.
  - b. Indicador de éxito: Que el proyecto sea viable y no genere pérdidas.

### 3 Marco Teórico

Con el objetivo de entender mejor el diseño del sistema mecatrónico, el marco teórico presenta una serie de definiciones de los conceptos que forman parte de los componentes de la máquina.

#### 3.1 Sensores

Un transductor es todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente, pero de otra forma física correspondiente. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares, cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil. En la práctica, no obstante, se consideran transductores aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe al interés de este tipo de señales en la mayoría de los procesos de medida.

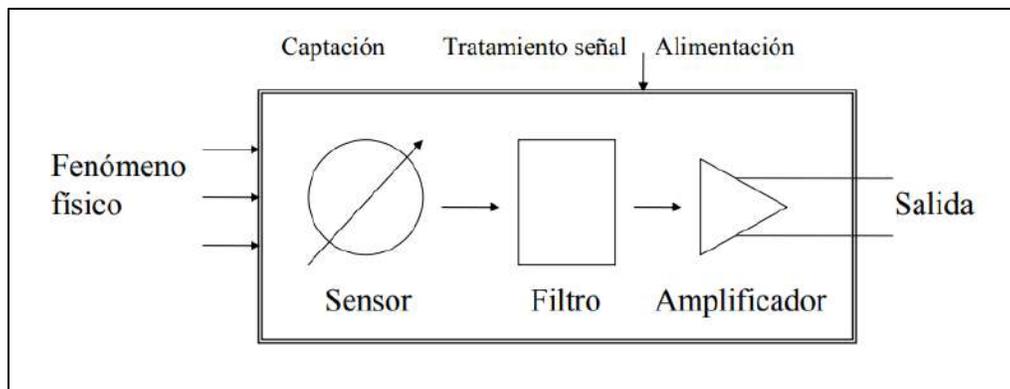


Figura 4. Diagrama de los sistemas de medición. Fuente: Sensores y acondicionadores de señal.

Los sistemas de medición electrónicos ofrecen, entre otras, ventajas como:

- Por la estructura electrónica de la materia, cualquier variación de un parámetro no eléctrico viene acompañada de la variación de un parámetro eléctrico. Eligiendo el material adecuado, se pueden generar transductores con salidas eléctricas para cualquier magnitud física.

- Permiten amplificar las señales de salida de los transductores. Con amplificadores electrónicos se pueden obtener fácilmente ganancias de potencia de  $10^{10}$  en una sola etapa, a baja frecuencia.
- Poseen una gran variedad de recursos, en forma de circuitos integrador, para acondicionar o modificar las señales eléctricas.
- También existen numerosos recursos para presentar o registrar información si se hace electrónicamente, pudiéndose manejar no solo datos numéricos, sino también textos, gráficos y diagramas.
- La transmisión de señales eléctricas es más versátil que la de señales mecánicas, hidráulicas o neumáticas.

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de medida transducible que es función de la variable medible. Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos. Pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos.

### 3.1.1 Tipos de Sensores

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificarlos previamente con algún criterio.

- Según el aporte de energía.
  - Moduladores.

La energía de la señal de salida procede, en su mayor parte, de una fuente de energía auxiliar. La entrada solo controla la salida.

- Generadores.

La energía de salida es suministrada por la entrada.

- Según la señal de salida.
  - Analógicos.

La salida varía, a nivel macroscópico, de forma continua. La información está en la amplitud.

- Digitales.

La salida varía en forma de saltos o pasos discretos. No requieren conversión A/D y la transmisión de su salida es más fácil. Tienen también mayor fidelidad y mayor fiabilidad, y muchas veces mayor exactitud, pero lamentablemente no hay modelos digitales para muchas de las magnitudes físicas de mayor interés.

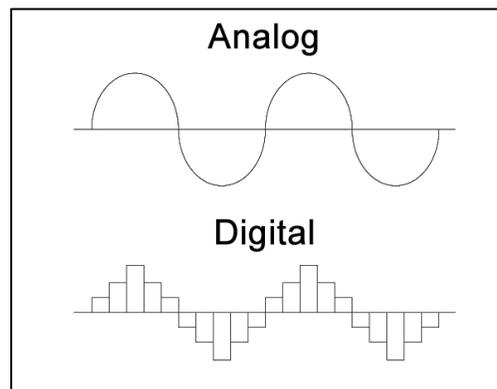


Figura 5. Diferencia entre las señales analógicas y digitales. Fuente: Sensores y acondicionadores de señal.

- Según el modo de funcionamiento.
  - Deflexión.

La magnitud medida produce algún efecto físico, que engendra algún efecto similar, pero opuesto, en alguna parte del instrumento, y que está relacionado con alguna variable útil.

Un dinamómetro para la medida de fuerzas es un sensor de este tipo en el que la fuerza aplicada deforma un muelle hasta que la fuerza de recuperación de este, proporcional a su longitud, iguala a la fuerza aplicada.

- Comparación.

Se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto bien conocido, opuesto al generado por la magnitud a medir. Hay un detector del desequilibrio y un medio para restablecerlo. En una balanza manual, por ejemplo, la colocación de una masa en un platillo provoca un desequilibrio, indicado por una aguja sobre una escala. El operario coloca entonces una o varias masas en el otro platillo hasta alcanzar el equilibrio, que se juzga por la posición de la aguja.

Las medidas por comparación suelen ser más exactas porque el efecto conocido opuesto se puede calibrar con un patrón o magnitud de referencia de calidad.

- Según la relación entrada – salida.
  - Orden cero.
  - Primer orden.
  - Segundo orden.
  - Orden superior.

El orden está relacionado con el número de elementos almacenadores de energía independientes que incluye el sensor, y repercute en su exactitud y velocidad de respuesta. Esta clasificación es muy importante cuando el sensor forma parte de un sistema de control en lazo cerrado.

Cualquiera de estas clasificaciones es exhaustivo, y cada una tiene interés particular para diferentes situaciones de medida. Ahora bien, para el estudio de un gran número de sensores se suele acudir a su clasificación de acuerdo con la magnitud medida. Se habla, en consecuencia, de sensores de temperatura, presión, caudal, humedad, posición, velocidad, aceleración, fuerza, par, etc. Sin embargo, esta clasificación difícilmente pueda ser exhaustiva ya que la cantidad de magnitudes que se pueden medir es prácticamente inagotable.

### 3.1.2 Características Estáticas y Dinámicas de los Sistemas de Medida

- Características Estáticas de los Sistemas de Medida.

El comportamiento del sistema de medida viene condicionado por el sensor empleado. Es por ello importante describir las características de los sensores. Sucede que, en la mayoría de los sistemas de medida, la variable de interés varía tan lentamente que basta con conocer las características estáticas del sensor. Ahora bien, las características estáticas influyen también en el comportamiento dinámico del sensor, es decir, en el comportamiento que presenta cuando la magnitud medida varía a lo largo del tiempo. No obstante, se suele evitar su consideración conjunta por las dificultades matemáticas que entraña, y se procede a la distinción entre características estáticas y dinámicas, estudiándose por separado. Los conceptos empleados para describir las características estáticas no son de aplicación exclusiva a los sensores, sino que son comunes a todo instrumento de medida.

- Exactitud.

Es la cualidad que caracteriza la capacidad de un instrumento de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. El valor exacto es el que se obtendrá si la magnitud se midiera con un método ejemplar. Se considera como tal aquel método de medida en el que los expertos coinciden que es suficientemente exacto para la finalidad pretendida con los resultados que se obtengan.

- Fidelidad.

Caracteriza la capacidad de un instrumento de medida de dar el mismo valor de la magnitud medida, al medir varias veces en unas mismas condiciones determinadas, prescindiendo de su concordancia o discrepancia con el valor real de dicha magnitud. La fidelidad implica que se tenga simultáneamente una conformidad en las sucesivas lecturas.

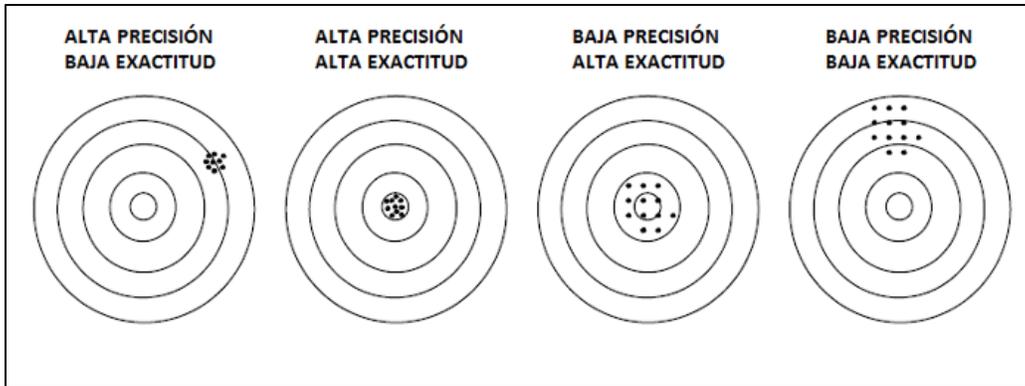


Figura 6. Diferencia entre los términos precisión y exactitud. Fuente: Sensores y acondicionadores de señal.

- Sensibilidad.

La sensibilidad o factor de escala es la pendiente de la curva de calibración, que puede ser o no constante a lo largo de la escala de medida.

- Características Dinámicas de los Sistemas de Medida.

La presencia de inercias, capacidades y, en general, de elementos que almacenan energía, hace que la respuesta de un sensor a señales de entrada variables sea distinta a la que presenta cuando las señales de entrada son constantes, descrita mediante las características estáticas.

La descripción del comportamiento del se hace en este caso mediante las denominadas características dinámicas.

- Error dinámico.

Es la diferencia entre el valor indicado y el valor exacto de la variable medida, siendo nulo el error estático. Describe la diferencia en la respuesta del sensor a una magnitud de entrada según que esta sea constante o variable en el tiempo.

- Velocidad de respuesta.

Indica la rapidez con que el sistema de medida responde a los cambios en la variable de entrada. En cuanto a la medida, no importa mucho que exista un retardo entre la magnitud aplicada a la entrada y la indicación correspondiente en la salida. Pero si el sensor forma parte de un sistema de control, este retardo puede dar lugar a oscilaciones.

## 3.2 Controlador Lógico Programable

Según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. La figura 7 muestra un ejemplo de un PLC comercial.



Figura 7. Ejemplo de un Controlador Lógico Programable. Fuente: Página web de fabricante.

Los componentes de la estructura básica de un PLC se pueden observar en la figura 8 y corresponden a:

- **Procesador:** Es el “cerebro” del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario.
- **Memoria:** Cuentan con ellas ya que deben ser capaces de almacenar y retirar información. Deben ser capaces de almacenar datos del proceso (señales de entrada y salida, variables internas, datos alfanuméricos y constantes) y datos de control (instrucciones del usuario y configuración del autómata).
- **Entradas y salidas:** Son las encargadas de realizar el intercambio como señales con los dispositivos de entrada (por ejemplo, sensores, pulsadores) y salida (por ejemplo, contactores de motor, electroválvulas o relés). Puede ser analógicos o digitales.

- Alimentación: Proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.
- Equipos o unidades de programación: El autómata debe disponer de alguna forma de programación, la cual suele realizarse utilizando ya sea una unidad de programación, una consola de programación (obsoleto actualmente) o una PC (forma más cómoda empleada en la actualidad).

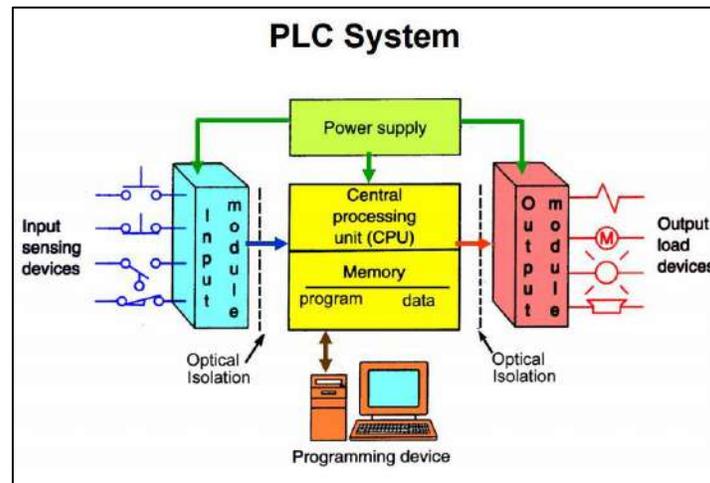


Figura 8. Componentes de la estructura básica de un PLC. Fuente: Siemens Automation

La creciente complejidad en la programación de los autómatas programables requiere más que nunca de la estandarización de esta. Bajo la dirección del IEC el estándar IEC 1131-3 (IEC 65) para la programación de PLC ha sido definido. Con la idea de hacer el modelo adecuado para un gran abanico de aplicaciones, cinco lenguajes han sido definidos en total:

- Gráfico secuencial de funciones (Grafcet): Lenguaje gráfico que proporciona una representación en forma de diagrama de las secuencias del programa. Un ejemplo se puede observar en la figura 9.
- Lista de instrucciones: Utiliza instrucciones derivadas de las operaciones del álgebra de Boole, combinadas con otras que permiten representar funciones.
- Texto estructurado: Lenguaje de alto nivel estructurado por bloques que posee una sintaxis parecida al PASCAL.

- Diagrama de flujo: Lenguaje gráfico que permite programar elementos que aparecen como bloques para ser cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito.
- Diagrama de contactos o Lógica de Escalera: Están compuestos por dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación, mientras que los renglones contienen los cableados, los arreglos de contactos y las bobinas de relés. Los símbolos están normalizados por NEMA y son empleados por todos los fabricantes. Un ejemplo se observar en la figura 10.

Los lenguajes de programación más empleados en la actualidad son el listado de instrucciones y el esquema de contactos o Ladder Logic.

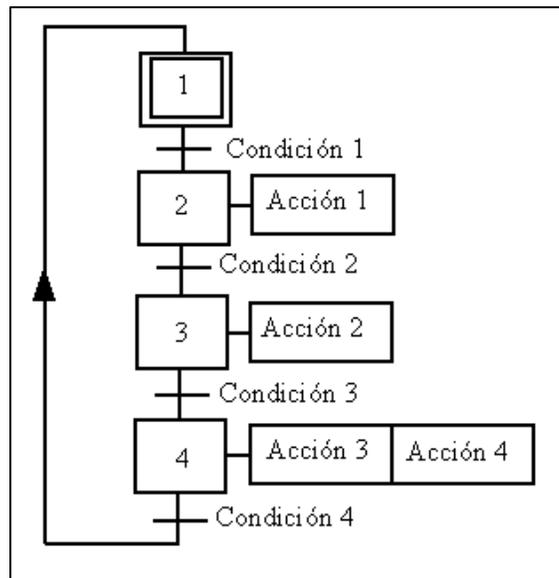


Figura 9. Ejemplo de programación por el método de GRAFCET. Fuente: Autómatas.

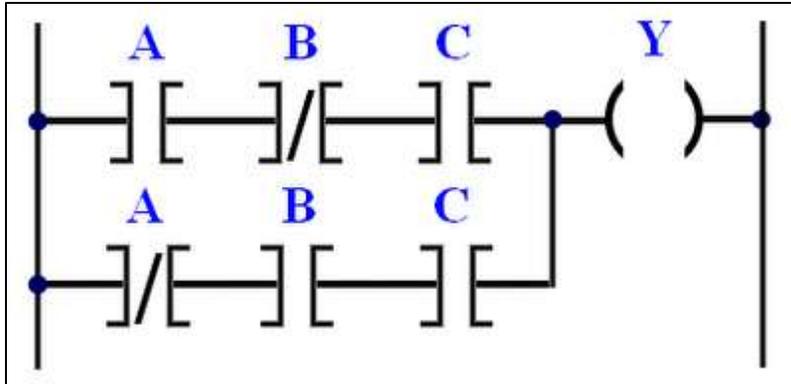


Figura 10. Ejemplo de programación por el método de lógica de escalera. Fuente: Autómatas.

### 3.3 Neumática

La tecnología neumática es aquella tecnología destinada a aprovechar las capacidades energéticas de los fluidos (gaseosos) a presión para obtener un trabajo útil y convertir los procesos manuales en automáticos o semiautomáticos. La figura 11 muestra el diagrama de un circuito simple neumático.

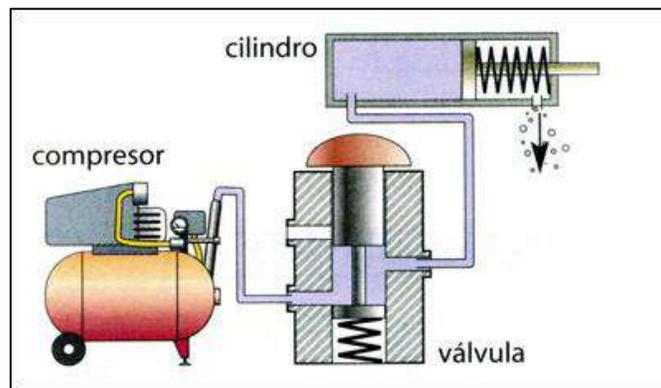


Figura 11. Circuito neumático básico. Fuente: Introducción a la neumática.

Puede estar presente en cualquier proceso industrial manual o semiautomático que requiera incrementar su producción, aumentar la calidad del producto y mejorar su calidad. La progresiva sustitución de la energía humana por energías como la neumática responde sobre todo a un intento de minimizar los costos de producción y conseguir la automatización de los diferentes procesos industriales.

La neumática emplea normalmente aire comprimido como fluido de trabajo. El empleo de aire presenta una serie de ventajas, tales como abundancia, facilidad de

transporte y almacenaje, no contaminación, seguridad, resistencia ante las variaciones de temperatura, facilidad de regulación de las fuerzas y velocidades de trabajo. Por ser un gas presenta alta compresibilidad, baja viscosidad y ocupa todo el recipiente que lo contiene.

El aire comprimido que se emplea en la industria procede del exterior. Se comprime hasta una presión de unos 6 bares, con respecto a la presión atmosférica, y se denomina presión relativa. El aire va a contener polvo, óxidos, entre otros que deben ser eliminados previamente.

A la hora de expresar la presión de un gas o líquido se distinguen tres tipos de presión:

- Presión atmosférica ( $P_{atm}$ ).

Presión ejercida por el aire que rodea la Tierra. Se mide con un barómetro.

- Presión absoluta ( $P_{abs}$ ).

Presión total en un punto referenciada al vacío (Presión del vacío = 0).

- Presión manométrica, relativa o de trabajo ( $P_r$ ).

Es la diferencia de presiones entre la presión absoluta y la presión atmosférica. Esta presión es la usada en neumática, midiéndose con un manómetro.

La figura 12 muestra la relación entre los tres tipos de presión existentes.

$$Presión\ Absoluta = Presión\ Atmosférica + Presión\ Relativa$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_r$$

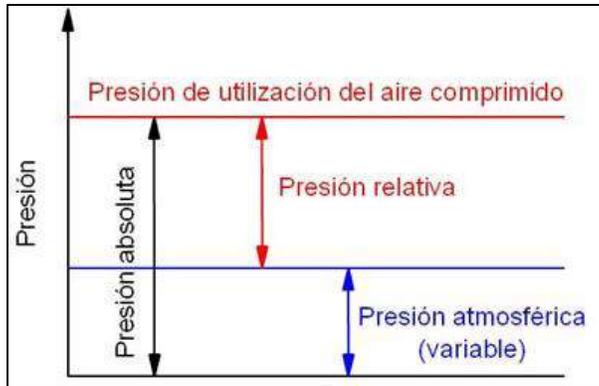


Figura 12. Relación entre los conceptos de presión absoluta, relativa y atmosférica. Fuente: Introducción a la neumática.

### 3.3.1 Unidades de Presión

Se define presión como el cociente entre el valor de la fuerza aplicada sobre una superficie y el área de esta. La figura 13 es una representación del concepto de presión.

$$Presion (P) = \frac{Fuerza (F)}{Superficie (A)}$$

En el sistema Internacional (SI), la presión se mide en Pascales. Sin embargo, por ser una unidad tan pequeña, es más práctico emplear otras unidades (bares, mm de Hg, atmósferas, etc.).

$$1 Pa = 1 N/m^2$$

Otras unidades son:

- El bar:

$$1 bar = 100\ 000 Pa$$

- La atmósfera:

$$1 atm = 101\ 325 Pa$$

- Los milímetros de mercurio:

$$1 atm = 750 mmHg$$

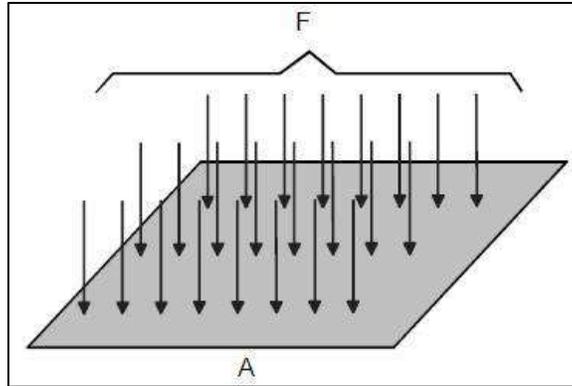


Figura 13. Concepto de presión. Fuente: Física universitaria.

### 3.3.2 Elementos Activos

Son aquellos que comunican energía al fluido. La energía externa que se comunica al elemento activo es principalmente eléctrica o térmica.

- Compresor.

Son máquinas destinadas a elevar la presión del aire que aspiran de la atmósfera. Se deben instalar en un lugar fresco y exento de polvo. En el funcionamiento de un compresor aparecen implicadas dos magnitudes: La presión que se comunica al aire y el caudal que es capaz de proporcionar. Existen dos grandes de tipos de compresores: volumétricos y dinámicos. La figura 14 muestra un compresor común.



Figura 14. Compresor. Fuente: OLE hidráulica.

- Refrigerador.

Cuando el aire que se ha comprimido alcanza una temperatura bastante alta, es necesario refrigerarlo hasta una temperatura ambiente, a la vez que se extrae el agua que contiene el aire.

### **3.3.3 Elementos Pasivos**

Son los elementos que consumen energía, la transportan, administran o controlan.

- Acumulador.

Depósito que se coloca a continuación del refrigerador. Su objetivo es almacenar aire comprimido para suministrarlo en los momentos de mayor consumo, además garantiza el caudal constante.

Generalmente el acumulador lleva un sensor de presión, que activará el compresor cuando la presión disminuya hasta un cierto límite y que lo desconectará cuando la presión aumente.

- Elementos de Protección.

La figura 15 muestra una unidad de combinación con varios elementos de protección utilizada a las entradas de los circuitos neumáticos.

- Filtro: Elimina el agua que todavía pueda quedar en el aire y las partículas o impurezas que estén en suspensión.
- Lubricador: Inyecta unas gotas de aceite de tamaño muy fino dentro del flujo de aire. Tiene como finalidad evitar que el aire produzca un desgaste excesivo en los elementos del circuito.
- Regulador o limitador de presión: Se encarga de que la compresión en el circuito se mantenga por debajo de un cierto límite y a presión constante. Dispone de una válvula de escape que libera aire cuando la presión aumenta.

- Silenciador: Reduce el ruido cuando se expulsa aire a la atmósfera.

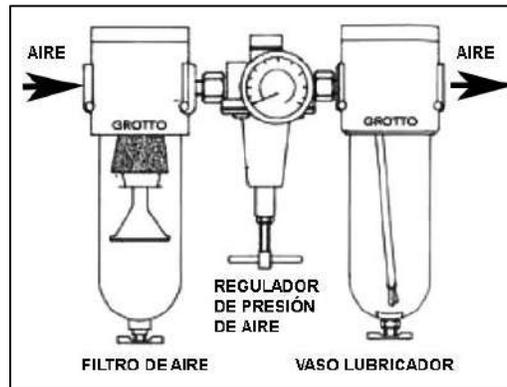


Figura 15. Elementos de protección de un circuito neumático. Fuente: *Sistemas neumáticos: principios y mantenimiento*.

- Elementos de Transporte.

Son los encargados de llevar el fluido en los circuitos hasta los puntos de consumo. Son las tuberías. El material debe ser lo suficientemente resistente como para soportar la presión del aire en su interior. Además, debe presentar una superficie lisa en su interior. La figura 16 muestra diferentes elementos de transporte que pueden ser encontrados en los circuitos neumáticos.



Figura 16. Tuberías comunes. Fuente: *Manual de estudio de neumática FESTO*.

- Elementos de Regulación y Control.

Son dispositivos que constan de un cuerpo rígido con orificios a través de los cuales fluye el fluido (vías) y un conjunto de elementos móviles sobre los que actuamos

para cambiar su posición; y que permiten distribuir, mandar, regular, controlar y bloquear el flujo del fluido de trabajo.

Según sus propiedades y la función que realiza dentro del sistema, las válvulas neumáticas se clasifican en los siguientes grupos:

- Válvula de dirección de flujo.

Las válvulas de dirección se definen según dos características: el número de vías y el número de posiciones. El número de vías corresponde al número de orificios controlados en la válvula, exceptuando los de pilotaje. Este número no puede ser menor a 2. El número de posiciones corresponde al número de posiciones estables del elemento de distribución. Este número no puede ser menor a 2. La figura 17 explica los dos conceptos presentados anteriormente.

Se consideran vías la conexión de entrada o alimentación de aire comprimido, las conexiones de utilización para el consumidor y los orificios de purga; y se llama posición a aquella maniobra que toman las partes móviles internas de una válvula tras incluirla en un equipo y establecer la presión de una red. Las válvulas direccionales se designan de acuerdo con el número de vías y posiciones de la siguiente manera:

*N° de vías/N° de posiciones*

En cuando al símbolo de la válvula direccional este representa la función de la válvula y su forma de accionamiento. El símbolo se compone de un bloque central, en el que se identifican las posiciones estables del elemento de conmutación y las vías de conexión para cada posición, y de dos bloques extremos que representan los modos de actuación.

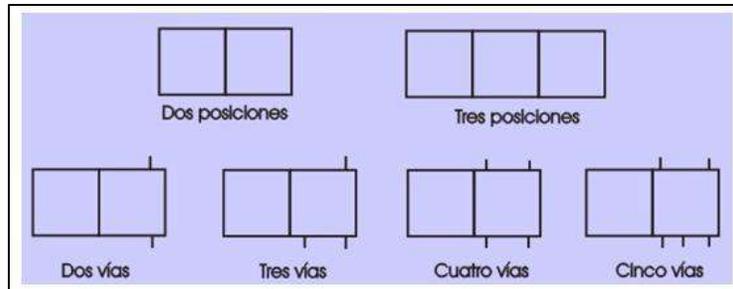


Figura 17. Definición de los términos posiciones y vías en una válvula. Fuente: Introducción a la neumática.

- Válvula antirretorno.

Tienen la misión de impedir el paso del aire en un sentido y dejar pasar el mismo en sentido opuesto. La obturación del paso puede lograrse con una bola impulsada por la propia presión de trabajo.

Las válvulas selectoras permiten la circulación de aire desde dos entradas opuesta a una salida en común. Esta válvula se utiliza para mandar una señal desde dos puntos distintos. Las válvulas de simultaneidad se utilizan cuando se necesitan dos o más condiciones para que una señal sea efectiva.

- Válvula de regulación de presión y caudal.

A veces es necesario el control de la velocidad de un cilindro para sincronizarlo con otros movimientos que se verifican en un sistema. Para conseguirlo se controla el caudal de fluido mediante las válvulas reguladoras de caudal. Existen dos tipos de reguladores: de un solo sentido (unidireccional) y de dos sentidos. De ellos, el primero tiene mayor interés y es el más utilizado. Los reguladores de presión controlan la fuerza que ejerce el cilindro.

- Cilindros Neumáticos.

Se da el nombre de actuadores a los dispositivos o elementos encargados de transformar la energía de presión del fluido de trabajo. Los cilindros se emplean cuando se desea un movimiento rectilíneo alternativo. Puede utilizarse para desplazar objetos, para mover brazos de robots, etc.

Los cilindros constan de un tubo cilíndrico llamado camisa, herméticamente cerrado por las tapaderas delantera y trasera con uno o varios orificios de entrada/salida del fluido; y en cuyo interior hay un émbolo contra el que el fluido ejerce presión provocando el movimiento de éste, y del vástago al que se encuentra unido. El movimiento lineal del vástago se transmite al elemento sobre el que actúa el cilindro.

Los diferentes tipos de cilindro se clasifican en dos grandes grupos:

- Cilindros de simple efecto.

Los cilindros de simple efecto poseen un único orificio de entrada/salida, como se muestra en la figura 18, realizando el trabajo en un único sentido (en el avance); pudiendo volver a la posición inicial (retroceso) por su propio peso, por una carga, o por la acción de un resorte o muelle. La fuerza ejercida por el cilindro en su avance en términos de la presión (P) y el diámetro del émbolo (D) despreciando la resistencia del muelle es:

$$F = P \cdot \pi \cdot D^2 / 4$$

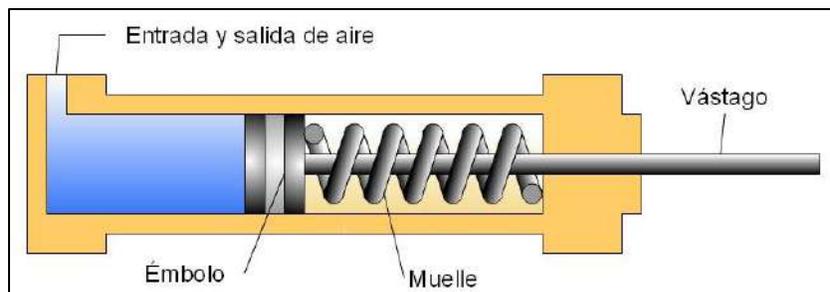


Figura 18. Cilindro de simple efecto. Fuente: Introducción a la neumática.

- Cilindros de doble efecto.

Disponen de dos orificios de entrada/salida, como se muestra en la figura 19, realizando el trabajo en ambos sentidos; es decir, durante el avance y durante el retroceso. El fluido penetra primero en una de las cámaras, moviendo el émbolo a medida que evacúa el fluido de la otra cámara. En el retroceso se invierte el proceso.

En un cilindro de doble, la fuerza de empuje en el avance será igual que en el caso de un cilindro de simple efecto. Sin embargo, durante el retroceso la superficie del émbolo sobre la que se ejerce la fuerza es menor que en el avance, ya que parte de la

superficie se encuentra ocupada por el vástago, en términos de la presión (P), el diámetro del émbolo (D) y el diámetro del vástago (d) la fuerza de empuje en el retroceso es:

$$F = P \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4$$

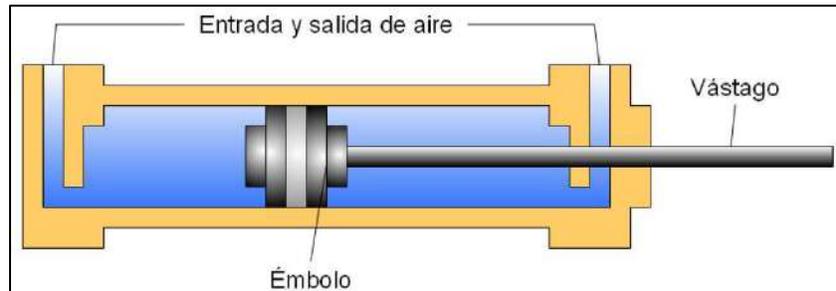


Figura 19. Cilindro de doble efecto. Fuente: Introducción a la neumática.

### 3.3.4 Vacío

Se llama vacío al campo de las presiones inferiores a la atmosférica. Es decir, a cuya densidad de aire y partículas es muy baja. El vacío se mide a partir del cero relativo (presión atmosférica) como una presión negativa.

Cuando un proceso de manipulación se automatiza, suele suceder que determinadas piezas o productos deben ser seleccionados, elevados, sujetados, girados, posicionados o fijados en su sitio exacto. Frecuentemente estos movimientos se realizan mediante aire comprimido y las diferentes piezas a manipular se cogen con pinzas neumáticas y con mucha frecuencia mediante la utilización del vacío y sus técnicas.

Los generadores de vacío operan basados en el Principio de Venturi y carecen, por lo tanto, de partes móviles. El aire comprimido pasa por una tobera o difusor a gran velocidad, generando de esta forma vacío en su sección más estrecha. Su funcionamiento puede ser gobernado simplemente interrumpiendo o habilitando la circulación de aire comprimido. Lo anterior se muestra en la figura 20.

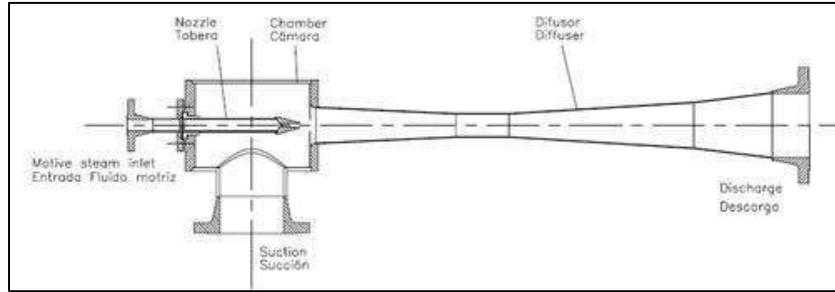


Figura 20. Ejector de vacío. Fuente: Mecánica de fluidos.

## **4 Situación Actual**

El proyecto de graduación se basa en el conector macho de los conectores Lynx S2S, por consiguiente, se presenta una breve introducción general a los conectores. Seguidamente se aborda el conector macho más a profundidad para analizar su ensamblaje actualmente y poder desarrollar una solución acorde a los objetivos.

### **4.1 Conector Lynx S2S**

Como se dijo anteriormente, el conector Lynx S2S (estéril – estéril) es un dispositivo de un solo uso compatible con gama y autoclave utilizado para conectar trayectorias de fluidos esterilizados en procesos biofarmacéuticos.

El conector Lynx S2S se encuentra construido por un acoplamiento hembra y un acoplamiento macho. Una vez que estos dos componentes se ensamblan juntos, se habilita la trayectoria de fluido estéril. Una vez montados, los dos componentes no se pueden desmontar, reduciendo el riesgo de pérdida de la esterilidad.

#### **4.1.1 Beneficios**

- Al ser de un solo uso, no es necesario limpiar antes de reutilizarlo por lo que se reduce el riesgo de contaminación.
- La integridad de los conectores es probada en un 100 % durante la manufactura, asegurando una conexión estéril aún en ambientes no controlados.
- Una serie de simples pasos unen los acoplamientos macho y hembra, alineando ambos flujos y creando un flujo continuo, que no ha sido expuesto a contaminación y ha sido previamente esterilizado con irradiación gama o autoclave.
- Se puede utilizar en ambientes controlados o no controlados. No es necesario que sea utilizado en un cuarto limpio.
- Aplicable en un rango de configuraciones al encontrarse en diferentes diámetros de un cuarto de pulgada, tres octavos de pulgada y media pulgada.

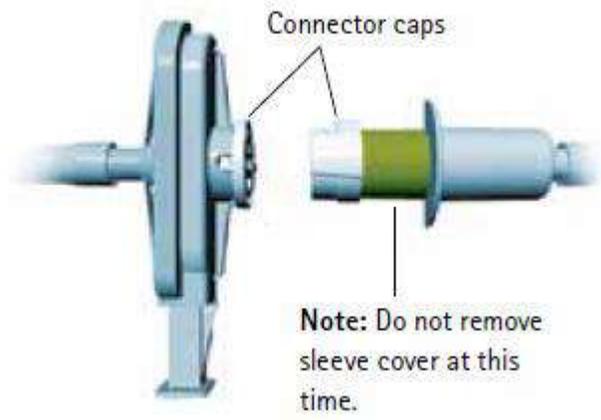
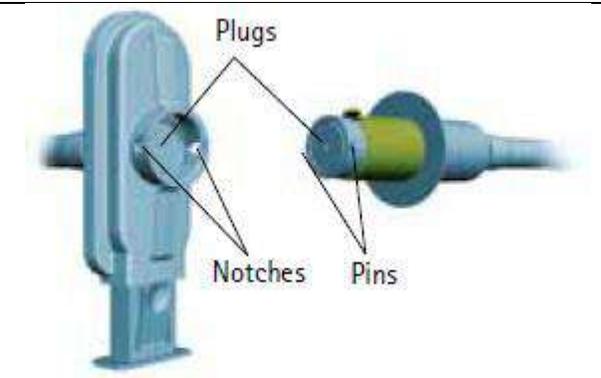
### 4.1.2 Aplicaciones

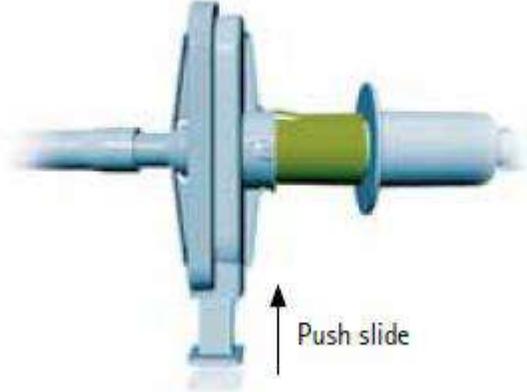
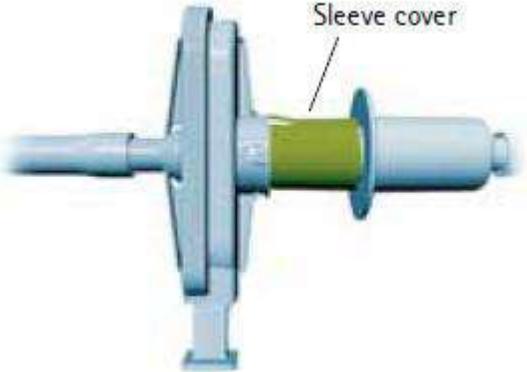
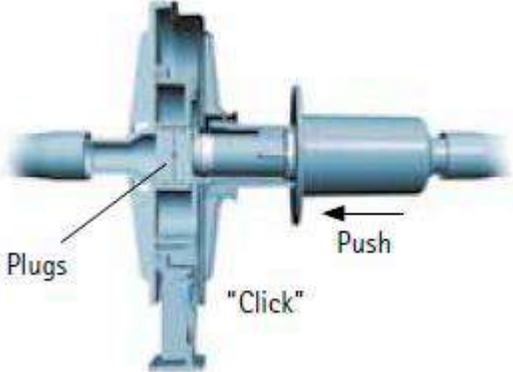
Ideal para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la transferencia de líquidos estériles y el muestreo microbiológico, el conector Lynx S2S proporciona la solución óptima para realizar conexiones seguras mediante dos ensambles esterilizados de un solo uso.

### 4.1.3 Accionamiento de los Conectores

Para el funcionamiento de los conectores se necesitan acoplar el conector macho con el hembra y accionarlos para generar el canal por el que pueda pasar el fluido, la tabla 3 muestra los pasos que se deben realizar para poder accionar los conectores entre sí. La figura 21 muestra el resultado de actuar completamente juntos ambos conectores.

Tabla 3. Accionamiento de los conectores macho y hembra Lynx S2S. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

Paso	Acción	Ilustración
1	Quite las tapas de los conectores (connector caps).  Nota: No retire el "sleeve cover" en este momento.	 <p>Connector caps</p> <p>Note: Do not remove sleeve cover at this time.</p>
2	Alinee las muescas (notches) con los pasadores (pins) e inserte el acoplamiento macho hasta escuchar un clic.	 <p>Plugs</p> <p>Notches</p> <p>Pins</p>

<p>3</p>	<p>Presione el "slide" hasta que este se detenga.</p>	
<p>4</p>	<p>Retire el "sleeve cover".</p>	
<p>5</p>	<p>Presione más hacia adentro el acople macho hasta escuchar un clic.</p>	

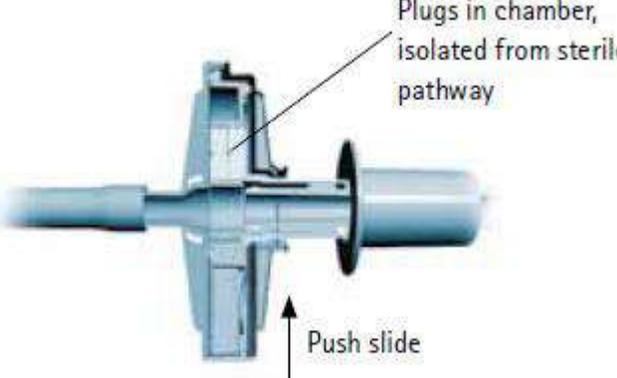
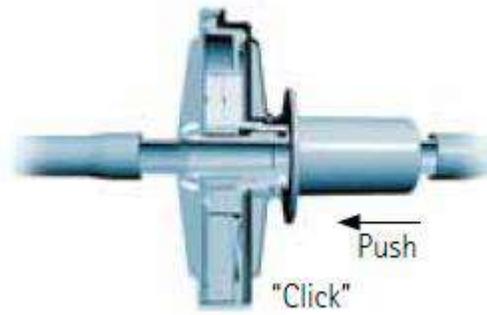
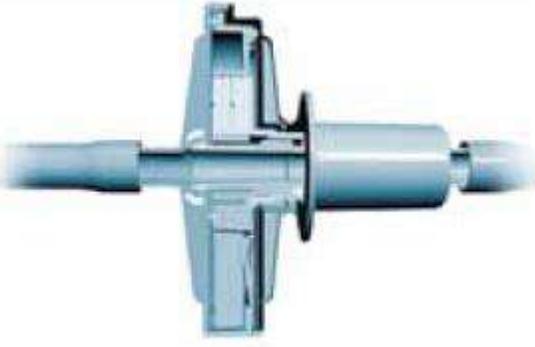
<p>6</p>	<p>Presione el "slide" completamente hasta adentro.</p>	 <p>Plugs in chamber, isolated from sterile pathway</p> <p>Push slide</p>
<p>7</p>	<p>Presione el acople masculino completamente dentro del acople femenino hasta escuchar un clic final.</p>	 <p>Push</p> <p>"Click"</p>
<p>8</p>	<p>El conector Lynx S2S se encuentra listo para flujo de fluido estéril.</p>	



Figura 21. Conector Lynx S2S completamente actuado. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

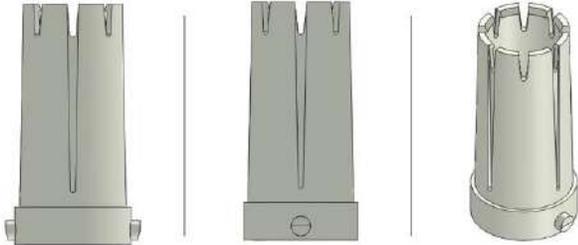
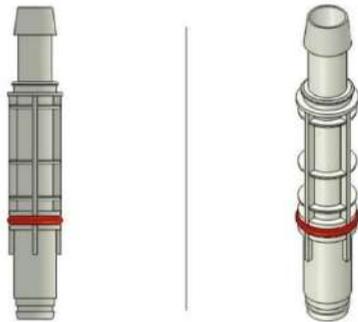
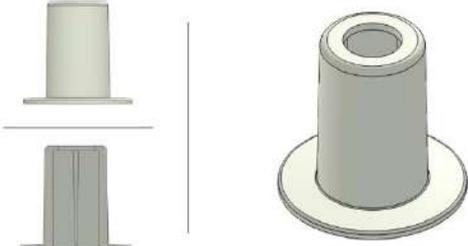
## 4.2 Conector Macho Lynx S2S

Como este proyecto se centra en el ensamble del conector macho se analiza un poco más a fondo las características de este componente. La tabla 4 muestra las partes a ser ensambladas para producir un conector macho. La figura 22 muestra un conector macho Lynx S2S.



Figura 22. Conector Macho Lynx S2S. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

Tabla 4. Partes del conector macho Lynx S2S que intervienen en el ensamble en las estaciones 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Parte	Ilustración
Body	
Stem	
Handle	

El ensamble de las partes anteriores se debe realizar como en la figura 23, donde primero se ensamblan el Body con el Stem y luego el Handle con el subensamble creado.

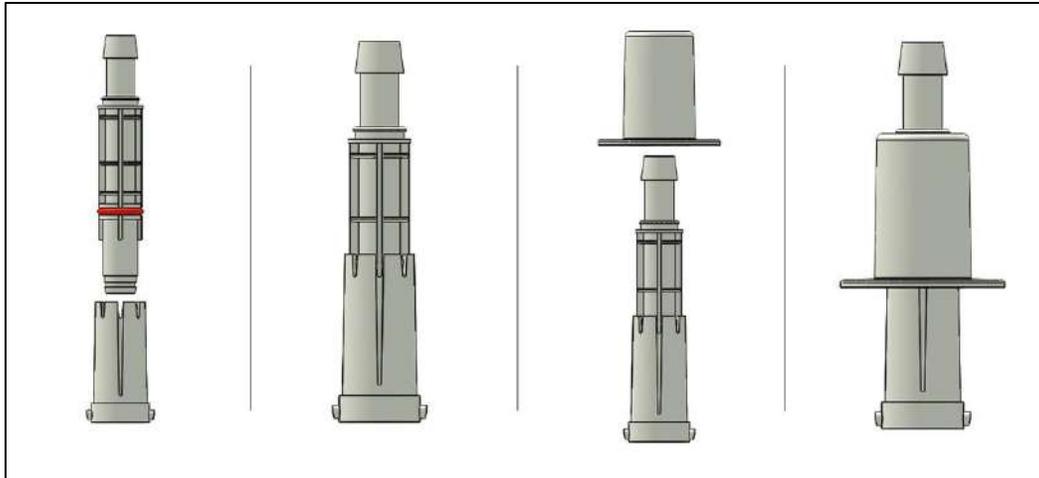


Figura 23. Ensamblaje de las piezas. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Equipo de ensamble actual del Conector Macho Lynx S2S

Antes de proponer un diseño que cumpla con los requerimientos solicitados se debe analizar la forma en la que se realiza el ensamble actualmente, para esto la tabla 5 muestra el equipo utilizado en la línea de ensamble del conector macho Lynx S2S.

Tabla 5. Equipo que participa en la situación actual del ensamble. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del Equipo	Descripción	Ilustración
Prensa Neumática	Estación de ensamble número uno, donde se realiza el ensamble del “body-sleeve” con el “stem”.	

<p>Prensa Neumática</p>	<p>Estación de ensamble número dos, en esta se ensambla el ensamble de la estación número uno con “handle”.</p>	
-----------------------------	---	--

#### 4.4 Proceso de Ensamble Actual del Conector Macho Lynx S2S

Prosiguiendo con el estudio del proceso de ensamble actual, la tabla 6 muestra los pasos que realizan los operarios para ensamblar los componentes actualmente.

Tabla 6. Pasos para realizar el ensamble en la situación actual del proceso. Fuente: Elaboración propia.

Paso	Descripción	Ilustración
1	<p>Realizar la limpieza de línea de producción.</p> <p>Nota: Solo realizar este paso una vez por turno.</p>	N/A
2	<p>Encender todos los equipos.</p> <p>Nota: Solo realizar este paso una vez por turno.</p>	N/A

<p>3</p>	<p>Revise que los componentes no estén dañados.</p>	
<p>4</p>	<p>Ensamble manualmente el “body” con el “sleeve” y colóquelo junto con el “stem” en la prensa uno.</p>	
<p>5</p>	<p>Accione la prensa mediante los sensores.</p>	
<p>6</p>	<p>Coloque el ensamble anterior junto con el “handle” en la prensa dos.</p>	

7	Accione la prensa mediante los sensores.	
8	El ensamble está listo para ingresar a la máquina siguiente.  Repetir de 4 – 7 para las siguientes piezas.	

## 5 Diseño y Selección de Componentes del Sistema Mecatrónico

### 5.1 Solución Propuesta

Se propone diseñar un sistema mecatrónico que pueda ser utilizado por un solo operario y cumplir con los requerimientos de diseño, garantice la capacidad de la línea y la seguridad de los operarios.

La solución que se propone se muestra en las figuras 24 y 25 en conjunto con sus componentes, corresponde a un sistema neumático con tres cilindros de doble efecto controlados por electroválvulas monoestables y un LOGO para la secuencia.

El funcionamiento del sistema se da de la siguiente manera, el operario debe ingresar las piezas en la máquina en sus bases correspondientes, seguido a esto, debe iniciar la máquina y esta al realizar sus operaciones, devuelve el componente ensamblado.

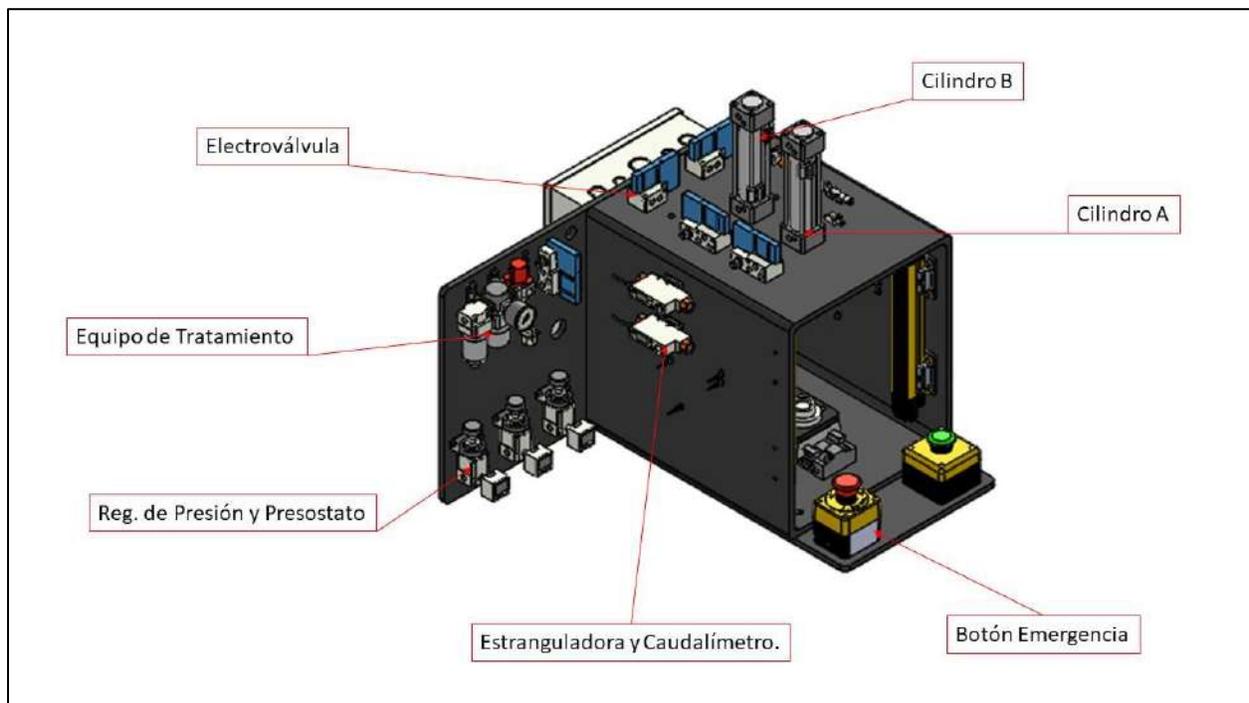


Figura 24. Componentes de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

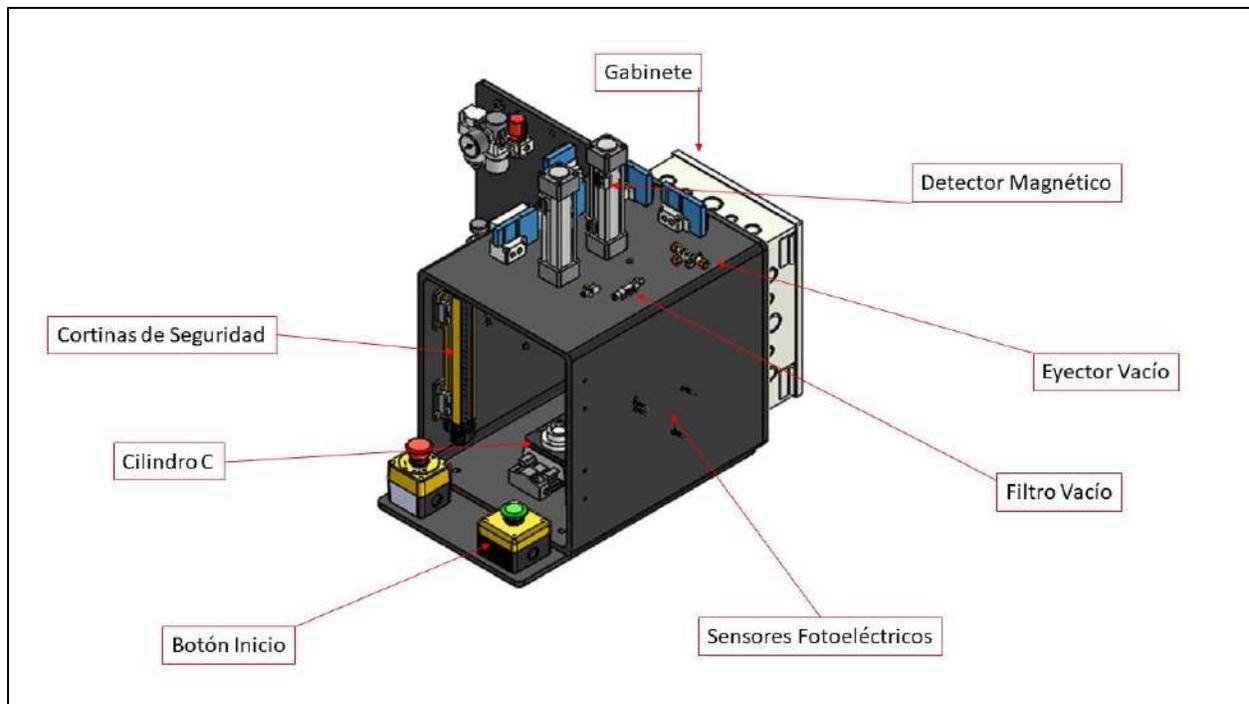


Figura 25. Componentes de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

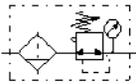
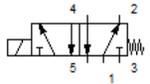
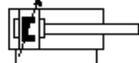
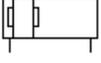
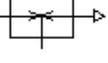
## 5.2 Diagrama neumático

El diseño neumático de la solución propuesta se muestra en la figura 26, donde se pueden observar las conexiones entre los dispositivos neumáticos que forman parte del circuito.

El aire comprimido es tratado antes de entrar al circuito, ingresa al sistema por medio de una válvula que se encarga de controlar la seguridad del sistema ya que es capaz de quitar la presión de las líneas cuando sea necesario. Antes de llegar a los cilindros neumáticos el aire comprimido pasa por sensores y reguladores que controlan tanto la presión como el caudal de las líneas donde es necesario, así como una válvula que controla la posición de los cilindros. También se cuenta con un eyector de vacío con el objetivo de generar vacío para sujetar componentes.

En la tabla 7 se muestra la descripción de los elementos presentes en el diagrama neumático anterior.

Tabla 7. Descripción de los elementos neumáticos de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Descripción
	Fuente de Alimentación
	Unidad de Mantenimiento
	Electroválvula 5/2 Monoestable
	Válvula Reguladora de Presión, Ajustable
	Presostato
	Válvula Antirretorno Estranguladora
	Caudalímetro
	Cilindro Doble Efecto
	Cilindro sin Vástago
	Eyector de Vacío
	Filtro

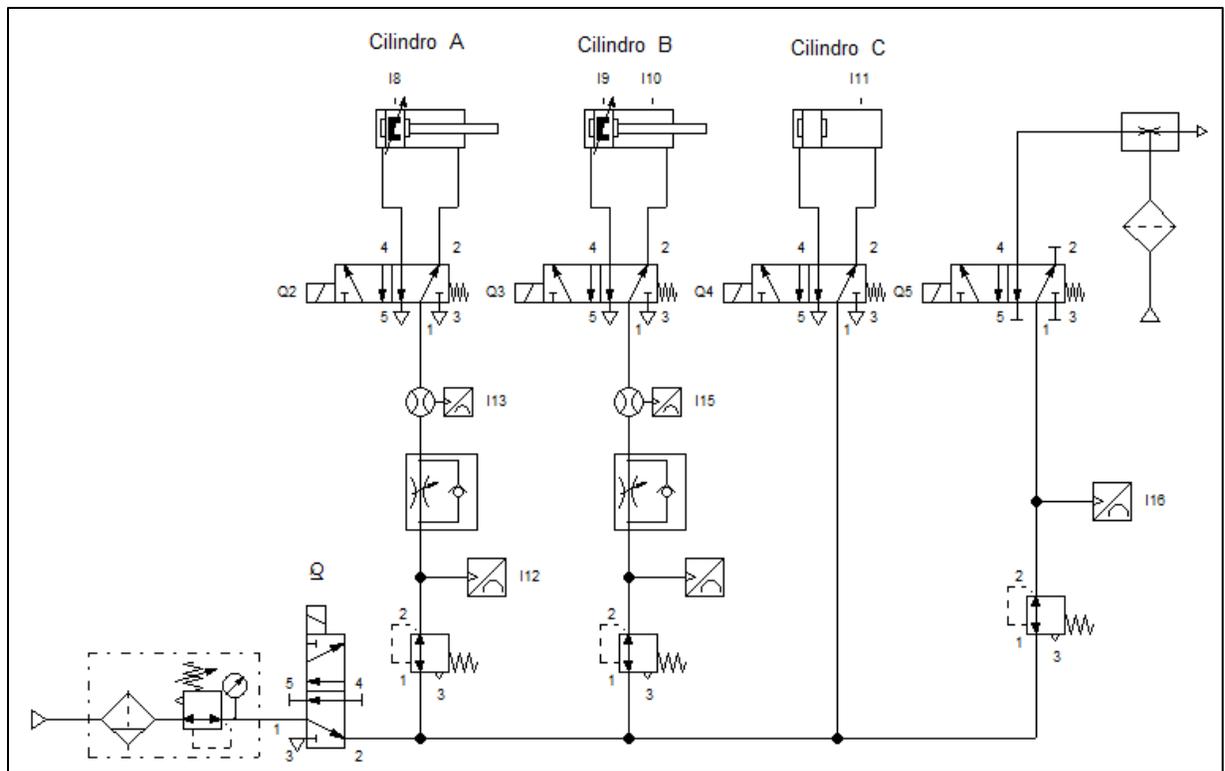


Figura 26. Diagrama neumático de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Diseño y selección de partes

Las características y criterios de diseño de las partes seleccionadas se muestran a continuación.

- Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación se toma directamente de la tubería que tiene preparada la empresa para alimentar las máquinas presentes en los cuartos limpios, la cual posee una presión de 120 psi (0,8 MPa), suficiente para cumplir con los requerimientos de la máquina ya que la máxima presión necesaria en las líneas corresponde a 0,7 MPa

- Equipo de tratamiento de aire.

Los dispositivos conectados en los diferentes puntos de un circuito neumático necesitan recibir aire con una presión uniforme y libre de impurezas. Si bien el aire comprimido que va a ser alimentado a la máquina no proviene directamente de la atmósfera y ya ha sido previamente tratado, es necesaria una unidad de tratamiento de

aire para proteger las partes neumáticas de la máquina y facilitar el mantenimiento de esta. En este caso el aire comprimido debe ser filtrado para evitar el ingreso de partículas a la máquina y regulado para evitar que una subida en la presión puede afectar los componentes, sin embargo, no debe ser lubricado pues los elementos que componen la máquina no requieren de esta función según lo indican sus hojas de datos. Es por esta razón que el sistema que está siendo diseñado posee una unidad de combinación con filtro y regulador. Además, se añade una válvula de tres vías para la evacuación de la presión residual.

Las características del equipo de tratamiento seleccionado se muestran en la tabla 8.

*Tabla 8. Características del equipo de tratamiento seleccionado. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	AC20B-N01G-V-A
Fluido	Aire
Temperatura ambiente y del fluido	-5 a 60 °C
Presión máxima de trabajo	1,0 MPa
Presión de regulación	0,05 a 0,7 MPa
Tipo Rosca	NPT
Diámetro de la conexión	1/8
Manómetro	Redondo con indicador de límite
Extras	Válvula de escape de tres vías
Dirección del caudal	Izquierda a Derecha

Como se dijo previamente la razón principal para la selección de este equipo de tratamiento se basa en sus partes y su capacidad de filtrado y regulación de aire. Su presión máxima de trabajo es de 1 MPa, superior a la presión entregada por la fuente de 0,8 MPa. Se selecciona el tipo de rosca NPT para mantener un estándar de trabajo y comúnmente este tipo de rosca es el más utilizado. Se coloca un manómetro en el regulador del equipo de tratamiento con el objetivo de poder medir y tener control sobre

la presión de la línea. La dirección del caudal de izquierda a derecha es la más acorde con el diseño propuesto para la máquina, debido a que por el acomode de los componentes, la conexión de la tubería queda más cómoda en esta configuración.

Las figuras 27 y 28 muestran el equipo de tratamiento de aire elegido.

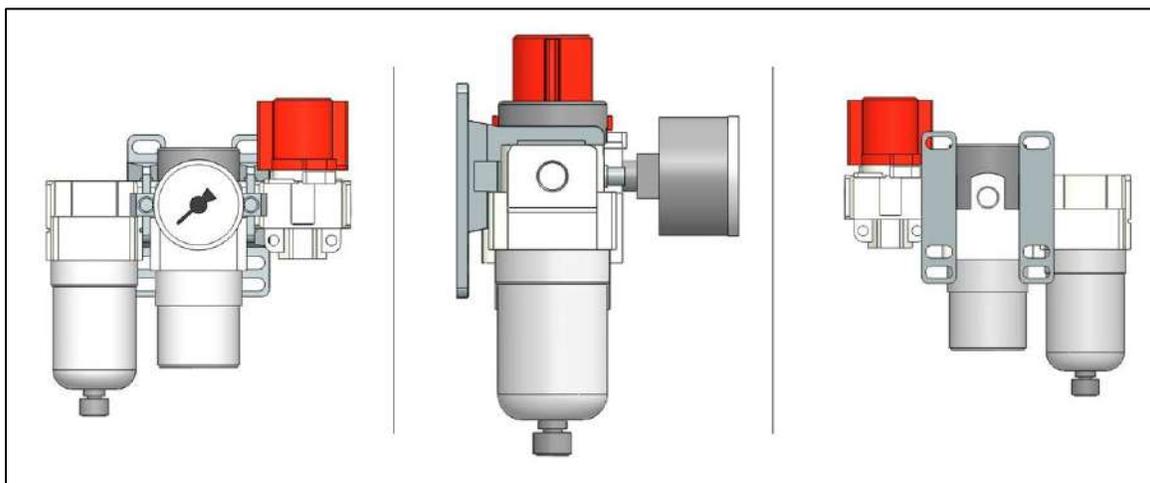


Figura 27. Equipo de tratamiento de aire seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

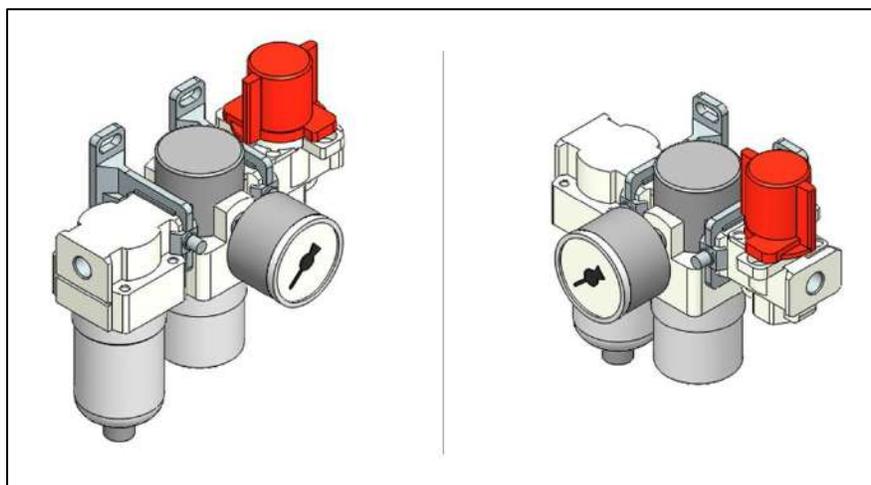


Figura 28. Unidad de combinación Filtro + Regulador. Fuente: Elaboración propia.

- Válvula de reguladora de presión y presostato.
  - Válvula reguladora de presión.

Como se exploró en el marco teórico la presión con la que se alimenta un cilindro neumático es dependiente de la fuerza que es capaz de ejercer dicho cilindro. La máquina diseñada tiene como función realizar el ensamble de diferentes piezas, los diferentes ensambles se realizan con diferente fuerza el uno del otro por lo que es necesario regular la presión que entra a cada una de las líneas de los cilindros para así controlar la fuerza que ejerce.

El regulador elegido para el sistema posee las siguientes características mostradas en la tabla 9.

*Tabla 9. Características de la válvula reguladora de presión seleccionada. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Presión Máxima de Alimentación	1 MPa
Tamaño de Conexión	1/8
Tipo de Rosca	NPT
Temperatura ambiente y del fluido	-5 a 60 °C
Dirección de escape	Escape inferior
Dirección del Flujo	Izquierda a derecha

La presión máxima de trabajo de este regulador es capaz de soportar la presión entregada por la fuente. El tipo de rosca cumple con el estándar seleccionado para trabajar en este circuito. Se selecciona tanto el escape inferior como la dirección de flujo a conveniencia con la geometría del diseño de la máquina propuesta.

El regulador seleccionado se muestra en la figura 29.

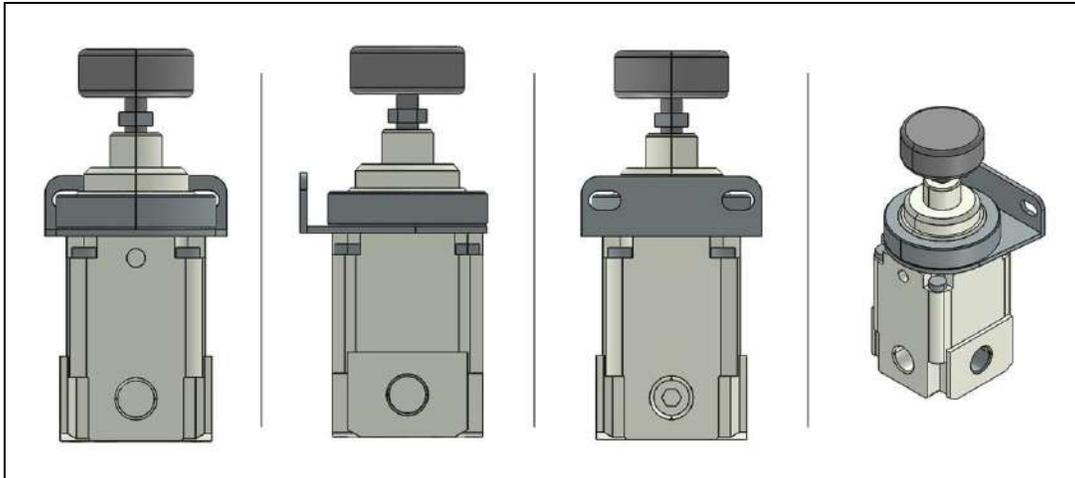


Figura 29. Regulador de presión seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

- Presostato.

Como se acaba de mencionar el regulador es capaz de variar la fuerza que ejerce un cilindro, sin embargo, se debe destacar también que el valor de esta fuerza es crítico en el proceso de ensamble por lo que se debe asegurar que la presión de la línea se encuentre dentro de los rangos establecidos para cada ensamble.

El presostato es un tipo de sensor de presión capaz de entregar una señal eléctrica cuando la presión se sale de un rango preestablecido. El modelo elegido posee las características mostradas en la tabla 10.

Tabla 10. Características del presostato seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Descripción
Fabricante	SMC
Fluido	Aire
Rango de Presión Nominal	-0,1 a 1 MPa
Tensión de Alimentación	12 a 24 VDC
Salida Digital	PNP
Protección	IP40
Tipo de Rosca	NPT
Diámetro de la Rosca	1/8

Este modelo fue seleccionado debido a que la presión de trabajo es capaz de soportar la presión que circula por la tubería. También así la tensión de alimentación y de la salida del sensor es congruente con el circuito del controlador por lo que son compatibles para usar entre sí. La salida se escoge PNP por la lógica de programación que va a ser utilizadas en el controlador. El tipo de rosca se escoge según lo escogido en los demás componentes.

El presostato se muestra en la figura 30.

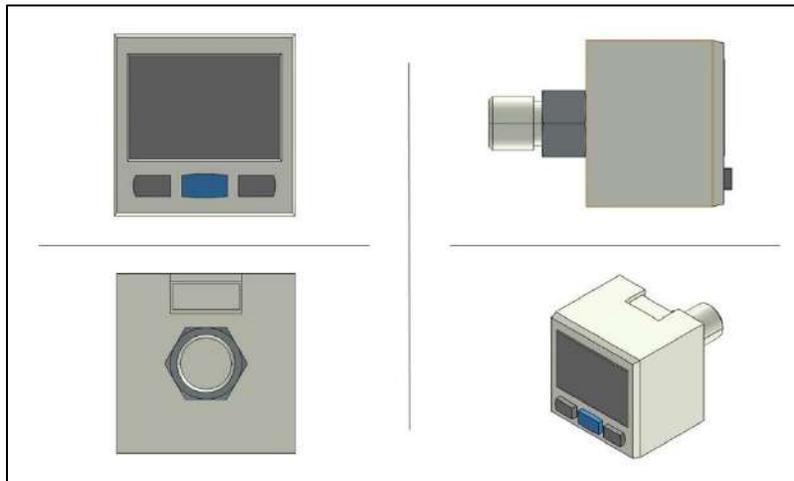


Figura 30. Presostato seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

- Válvula reguladora de presión y presostato.

Otra de las razones por las que se escogieron los modelos anteriores de regulador de presión y presostato es porque cuenta con la función de conectarse entre sí por lo que se logra el ahorro de espacio en la máquina, la configuración queda como se muestra tanto en la figura 31 como en la figura 32.

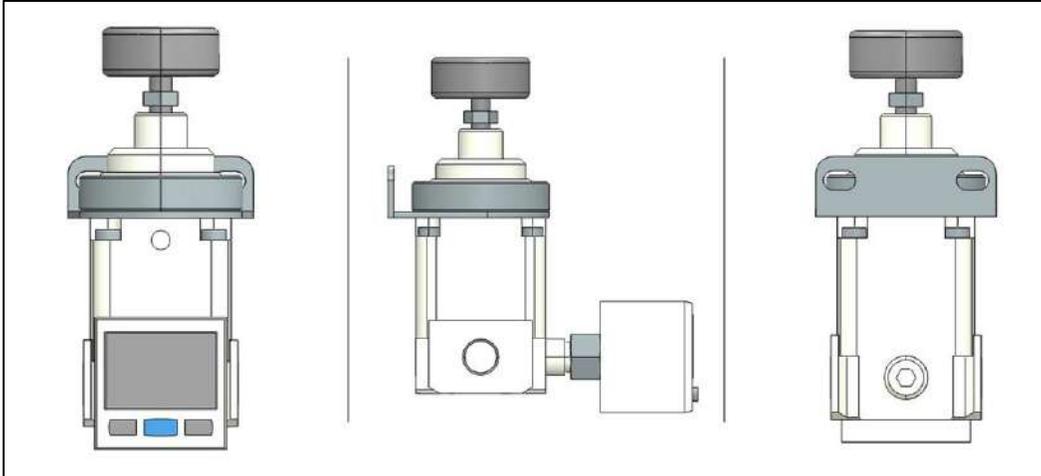


Figura 31. Unión del regulador con el presostato. Fuente: Elaboración propia.

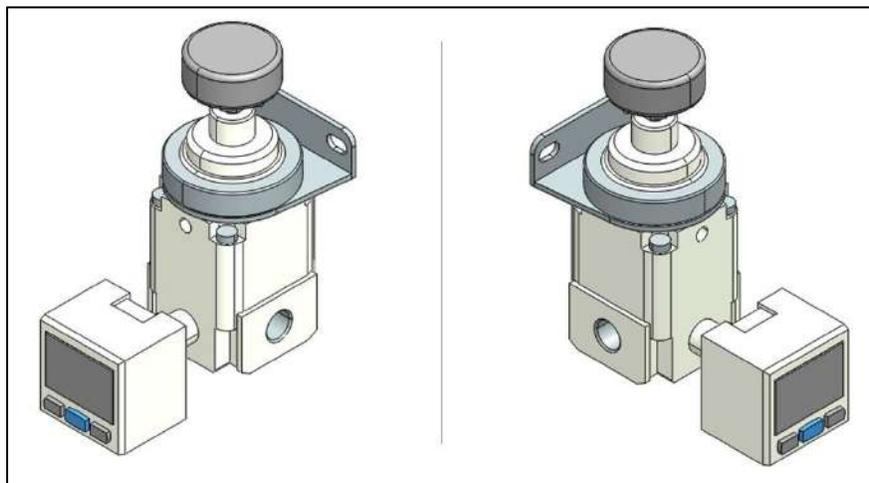


Figura 32. Presostato y regulador seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

- Válvula estranguladora y caudalímetro.

Igual que mantener un control sobre la fuerza que ejercen los cilindros al realizar los ensambles es importante controlar la velocidad con la que se mueven los cilindros al realizar los ensambles, esto se hace por medio de una válvula estranguladora y un caudalímetro.

La función de la válvula estranguladora es regular el caudal que pasa por la tubería para aumentar o bajar la velocidad con la que se mueve el cilindro. Para asegurarse que el cilindro se mueva dentro del rango de velocidades establecido se utiliza el

caudalímetro, el cual envía un pulso eléctrico cuando el caudal se sale del rango previamente establecido.

Para la máquina se utilizó un caudalímetro con válvula estranguladora incorporada para utilizar el menor espacio posible y cuenta con las características mostradas en la tabla 11.

Tabla 11. Características de la válvula estranguladora seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	PFMB7201S-N02-B-S
Fluido	Aire
Temperatura del fluido	0 a 50 °C
Rango de caudal	2 a 200 L/min
Salida digital	PNP
Tensión de alimentación	12 a 24 VDC

Esta válvula y caudalímetro fueron seleccionados tanto por sus características de rango de caudal, salida digital y tensión de alimentación del sensor. El rango de caudal aproximado utilizado por los cilindros neumáticos para el correcto ensamblaje de los componentes se encuentra dentro del rango de control de la válvula estranguladora. La salida digital PNP es seleccionada de esta forma debido a la lógica de programación del controlador. La tensión de alimentación del sensor coincide con el circuito eléctrico del sistema.

Y se muestra en la figura 33.

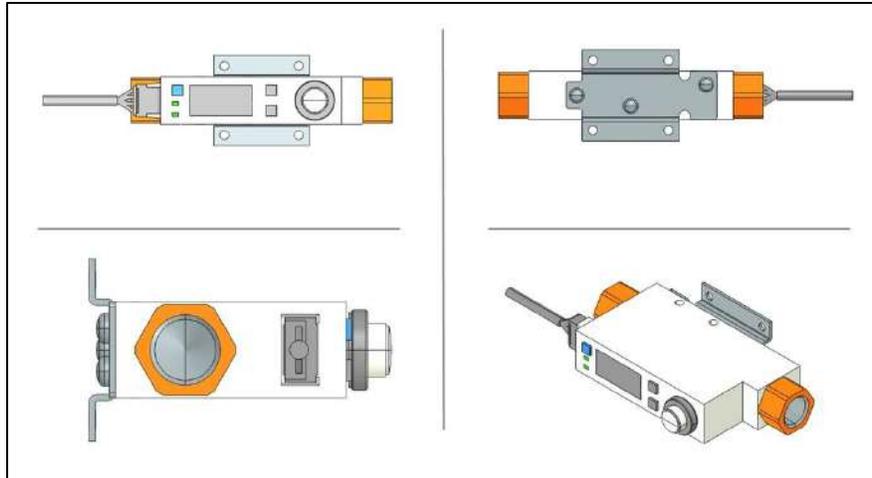


Figura 33. Válvula estranguladora seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

- Electroválvula 5/2 monoestable.

El aire comprimido viaja por las tuberías llenándolas hasta encontrar estabilidad, por lo que es necesario recurrir a válvulas para la distribución del aire comprimido, son las encargadas de permitir o cortar el paso por una tubería, ya sea para extender un cilindro, activar un eyector de vacío o sencillamente cortar el paso en una tubería.

Las válvulas tienen diferente cantidad de vías por las que puede fluir el aire y diferentes posiciones que determinan la configuración por la que fluye el aire, estas posiciones pueden ser monoestables o biestables, lo que quiere decir que pueden tener una posición natural y solo cambiar a la otra cuando son activadas o que al ser activadas se mantienen en una posición o la otra. Pueden ser activadas neumática o eléctricamente.

Para el proyecto se escogió una válvula de 5 vías y 2 posiciones monoestables pues permite el control de los cilindros de doble efecto y se ajustó esa configuración en las demás partes donde era necesario una válvula por facilidad de la orden de compra. Se escogió el tipo de activación eléctrico para facilidad de interacción con el controlador. Las características de la válvula escogida para el sistema se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Características de la válvula seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	SY3100-51-W1-01N
Fluido	Aire
Temperatura ambiente y de fluido	-10 a 50 °C
Protección	IP67
Funcionamiento	2 posiciones, monoestable
Montaje	Montaje en placa base
Pilotaje	Interno
Tensión	24 VCC
Posición de Conexionado	Conexionado lateral
Modelo de Rosca	NPT
Diámetro de la Conexión	1/8

La electroválvula seleccionada permite accionar cilindros de hasta 50 mm de diámetro, por lo cual son aptas para los cilindros seleccionados en este proyecto. Es una válvula de 5 vías con 2 posiciones, de las cuales una de ella es la posición natural y la otra es la posición que se mantiene mientras la bobina esté activa. El modelo en placa base permite realizar el conexionado directamente sobre la válvula con su conexionado lateral, lo que facilita su posicionamiento en el sistema. La tensión de alimentación es congruente con el circuito eléctrico de alimentación de la máquina. La rosca seleccionada se selecciona según la escogida para los demás componentes.

La figura 34 y figura 35 muestran la válvula seleccionada.

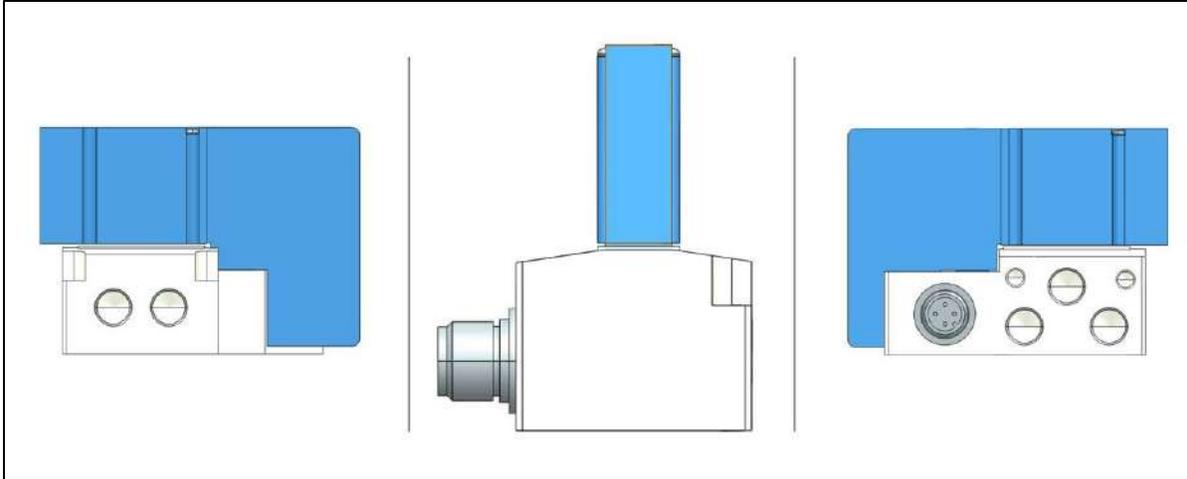


Figura 34. Válvula seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

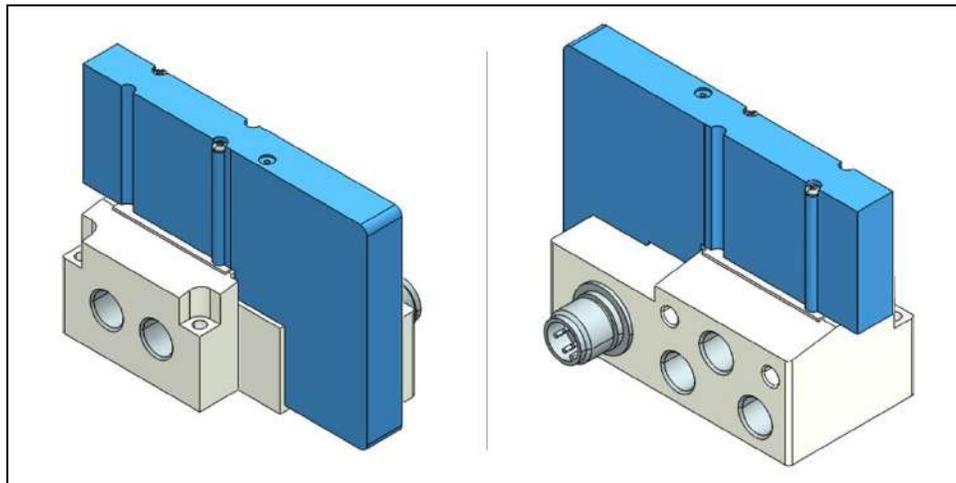


Figura 35. Válvula 5/2 monoestable. Fuente: Elaboración propia.

- Silenciador.

Cuando el aire comprimido utilizado en el circuito debe ser expulsado al ambiente produce un ruido alto que puede ser molesto para los operarios que trabajan alrededor de la máquina por lo que en los conductos que se deja escapar el aire se colocan silenciadores con el fin de reducir el ruido lo más posible.

El modelo seleccionado cuenta con las características presentes en la tabla 13.

Tabla 13. Características del silenciador seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Fabricante	SMC
Número de parte	AN10-C06
Fluido	Aire
Reducción de ruido	30 dB (A)
Conexión	NPT
Presión de operación máxima	1,0 MPa
Temperatura ambiente y del fluido	5 a 60 °C

Es el modelo recomendado por el fabricante en la hoja de datos de la electroválvula. La presión de trabajo soporta la presión de las tuberías. El conexionado coincide con el elegido en los demás componentes. El material de absorción del ruido es resina sinterizada.

Y en la figura 36 se muestra el mismo.

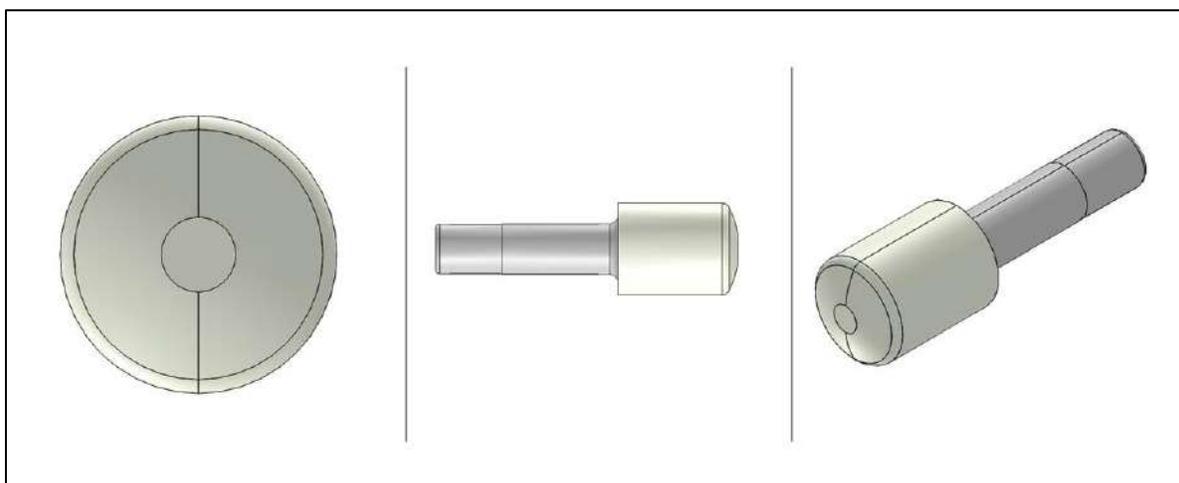


Figura 36. Silenciador seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

- Detectores magnéticos.

Como se ha dicho en diversas ocasiones, esta máquina trabaja con diferentes cilindros neumáticos, para los cuales es necesario conocer su posición para poder realizar el control de la máquina. Los sensores magnéticos no requieren contacto ni

producen desgaste y se colocan en la posición del cilindro donde se requiera conocer su posición cuando pase por esta.

Las características de los sensores seleccionados son las mostradas en la tabla 14.

Tabla 14. Características de los detectores magnéticos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

<b>Fabricante</b>	<b>SMC</b>
Número de Parte	D-M9PM
Tipo de cableado	3 líneas
Tipo de salida	PNP
Carga aplicable	Circuito IC, relé, PLC
Tensión de alimentación	5, 12, 24 VDC

Estos detectores fueron elegidos por su configuración. Las 3 líneas eléctricas son convenientes para la interacción con el controlador, así como el hecho de que su salida sea PNP es práctica para la programación de este. La tensión de alimentación es congruente con el circuito eléctrico del sistema.

El detector magnético se muestra en la figura 37.

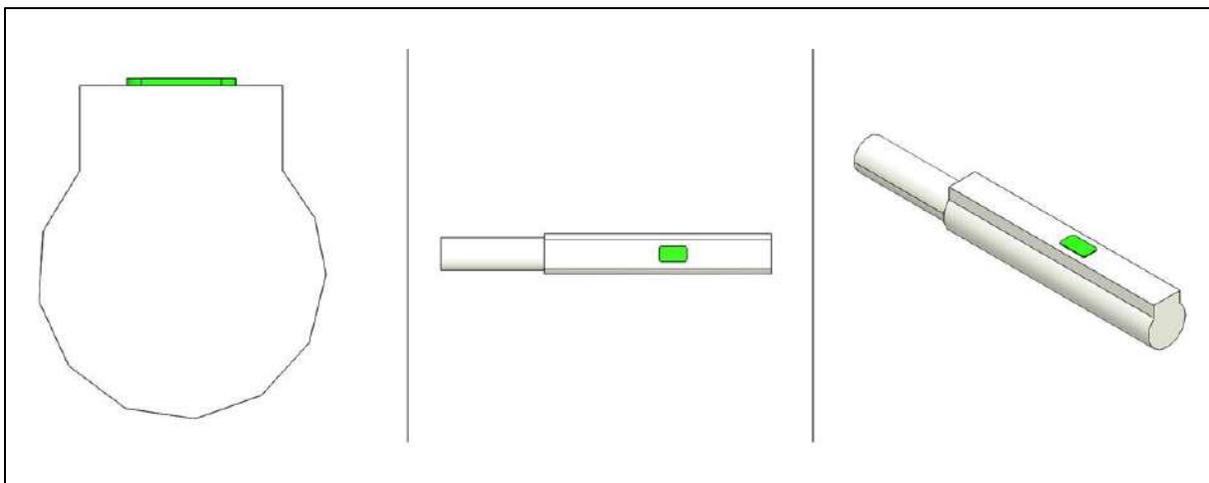


Figura 37. Detectores magnéticos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

- Cilindro A.

Es el cilindro encargado de realizar el primer ensamble de las piezas, el cual corresponde al ensamble Body – Stem.

- Cuerpo del cilindro A.

Para el dimensionamiento del cilindro A se calcula el diámetro mínimo que debe tener este y se revisa el cumplimiento con las demás características de diseño especificadas en este proyecto como la presión máxima de trabajo, entre otras.

Por datos suministrados en la empresa se sabe que el rango de fuerzas con el que debe realizar el ensamble este cilindro son las especificadas en la tabla 15.

Tabla 15. Rangos de fuerza sobre los que se debe realizar el ensamble A. Fuente: Elaboración propia.

Configuración	Fuerza (N)
Valor bajo	471
Valor nominal	499
Valor alto	527

El cilindro debería ser capaz de aplicar la fuerza nominal de trabajo, sin embargo, en un caso crítico de trabajo en valor alto todavía se encuentra dentro de especificación de valores aceptados de trabajo, por lo que se debe asegurar que el cilindro sea capaz de aplicar el valor de fuerza alto. Como presión de trabajo en este caso se utiliza la máxima presión que la fuente es capaz de entregar, que en este caso es la proporcionada por la unidad de mantenimiento y equivale a un valor de 0,7 MPa.

$$A_{CIL-A} = \frac{\text{Fuerza Máxima}}{\text{Presión Máxima}}$$

$$A_{CIL-A} = \frac{527 \text{ N}}{0,7 \text{ MPa}}$$

$$A_{CIL-A} = 7,5286 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{CIL-A} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{CIL-A}}{\pi}}$$

$$D_{CIL-A} = 0,0309 \text{ m}$$

$$D_{CIL-A} = 30,96 \text{ mm}$$

Después de obtenido el diámetro mínimo se selecciona un diámetro mayor a este para garantizar el cumplimiento y se pueden obtener las presiones de trabajo por medio de cálculos, sin embargo, estas se obtendrían mediante un diseño de experimentos después de instalada la máquina y los cálculos realizados son para garantizar el funcionamiento del cilindro para la aplicación. La carrera del cilindro se ve definida tanto por la geometría de las piezas como por las dimensiones del resto de la máquina.

Las características del cilindro seleccionado se encuentran en la tabla 16.

Tabla 16. Características del cilindro seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	MDBB32TN-100Z-M9NMS
Diámetro	32 mm
Acción	Doble efecto con vástago simple
Fluido	Aire
Presión máxima de trabajo	1 MPa
Temperatura ambiente y del fluido	-10 a 60 °C
Velocidad máxima	1000 mm/s
Tipo de conexión	NPT
Tamaño de conexión	1/8 in
Carrera	100 mm
Detección	Imán incorporado
Salida digital	PNP

Se selecciona un cilindro de doble efecto por motivos de seguridad y mantenimiento, ya que estos al ser despresurizados se quedan en la posición donde se encuentran y permiten ser manipulados hacia donde sea necesario moverlos.

El cilindro A solo cuenta con el detector magnético para conocer la posición cuando el cilindro se encuentra devuelto tal y como se muestra en la figura 38. El detector posee una salida PNP por la lógica de programación utilizada en el controlador.

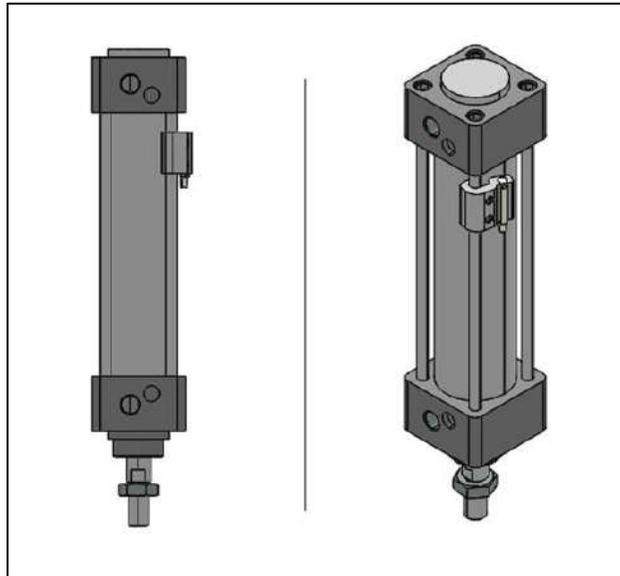
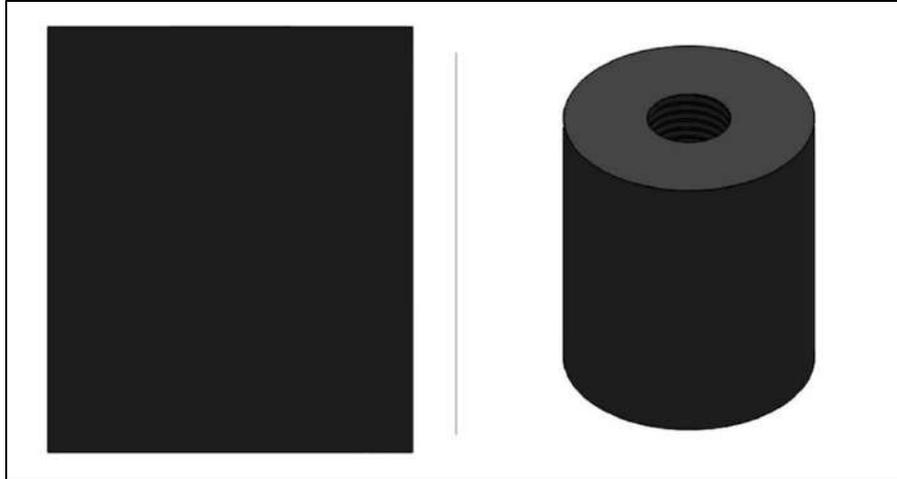


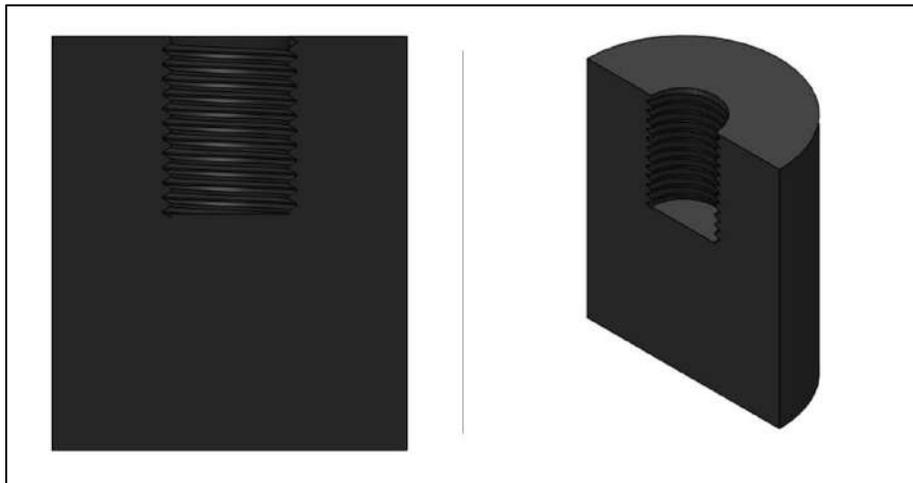
Figura 38. Cuerpo del cilindro A. Fuente: Elaboración propia.

- Cabeza del cilindro A.

Para que el cilindro fuera capaz de realizar el ensamble entre el Body y el Stem se diseñó un adaptador capaz de interactuar tanto con el cuerpo del cilindro como con la geometría de las piezas. El diseño realizado posee una rosca para ser adaptado al cilindro y una superficie plana para entrar en contacto con las piezas, tal y como se muestra en la figura 38 y la figura 40.



*Figura 39. Cabeza del cilindro A. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 40. Vista de corte de la cabeza del cilindro A. Fuente: Elaboración propia.*

- Cilindro A.

Finalmente, el cilindro A queda como se muestra en la figura 41.

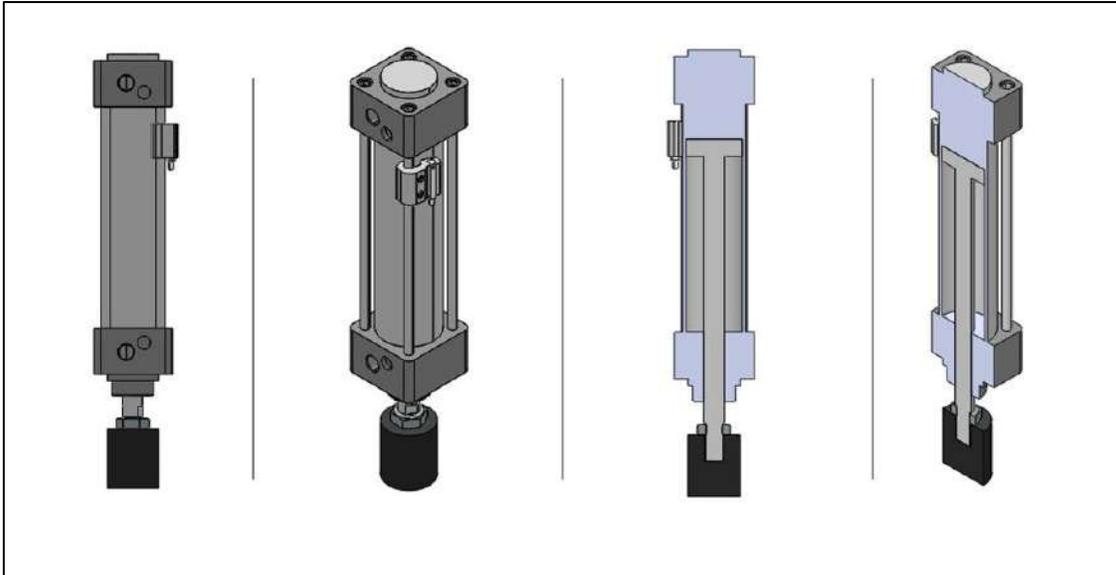


Figura 41. Cilindro A. Fuente: Elaboración propia.

- Cilindro B.

Es el cilindro encargado de realizar el segundo ensamble, correspondiente al ensamble del Handle con el ensamble generado en la primera etapa por el cilindro A.

- Cuerpo del cilindro B.

Igual que en el cilindro A se debe calcular el diámetro mínimo que debe tener el cilindro para cumplir con las condiciones de ensamble. En rango de fuerzas para el ensamble del cilindro B corresponde al observado en la tabla 17.

Tabla 17. Rangos de fuerza de trabajo para el ensamble B. Fuente: Elaboración propia.

Configuración	Fuerza (N)
Valor bajo	388
Valor nominal	444
Valor alto	500

Realizando un análisis similar al realizado para el cilindro A se obtienen los siguientes resultados.

$$A_{CIL-B} = \frac{\textit{Fuerza Máxima}}{\textit{Presión Máxima}}$$

$$A_{CIL-B} = \frac{500 \text{ N}}{0,7 \text{ MPa}}$$

$$A_{CIL-B} = 7,1429 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{CIL-B} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{CIL-B}}{\pi}}$$

$$D_{CIL-B} = 0,0302 \text{ m}$$

$$D_{CIL-B} = 30,16 \text{ mm}$$

Se selecciona un diámetro más grande que el calculado para el cilindro B, mientras que la carrera también se ve definida por la geometría de las piezas como de las dimensiones de la máquina. Las características del cilindro seleccionado se pueden observar en la tabla 18.

Tabla 18. Características del cilindro seleccionado B. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	MDBB32TN-100Z-M9NMS
Diámetro	32 mm
Acción	Doble efecto con vástago simple
Fluido	Aire
Presión máxima de trabajo	1 MPa
Temperatura ambiente y del fluido	-10 a 60 °C
Velocidad máxima	1000 mm/s
Tipo de conexión	NPT
Tamaño de conexión	1/8 in
Carrera	100 mm
Detección	Imán incorporado
Salida digital	PNP

Se selecciona un cilindro de doble efecto por motivos de seguridad y mantenimiento, ya que estos al ser despresurizados se quedan en la posición donde se encuentran y permiten ser manipulados hacia donde sea necesario moverlos.

El cuerpo del cilindro B cuenta con detectores magnéticos tanto devuelto como extendido con salidas PNP por la lógica de programación del controlador. El cuerpo del cilindro B se observa en la figura 42.

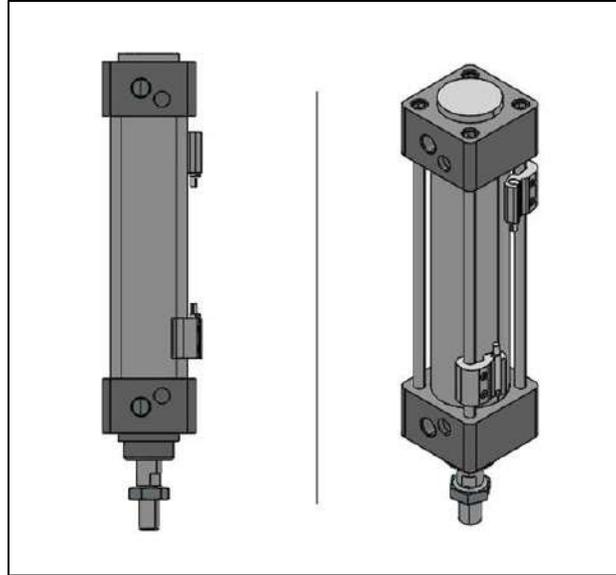


Figura 42. Cuerpo del cilindro B. Fuente: Elaboración propia.

- Cabeza del cilindro B.

Para realizar el segundo ensamble también es necesario diseñar un adaptador para el cilindro B que sea capaz de interactuar tanto con el cuerpo del cilindro como con las piezas, sin embargo, en este caso se debe considerar que debe ser capaz sujetar el Handle por vacío, y tener espacio suficiente para las piezas que sobresalen del Handle.

En la figura 43 se puede observar la cabeza del cilindro B. Sin embargo, en la figura 44 se puede apreciar mejor la rosca para ser adaptada al cuerpo del cilindro B, los dos orificios por los que el vacío será capaz de tomar el Handle, así como las geometrías que permiten que la cabeza tome el Handle y no colisione con el Stem.

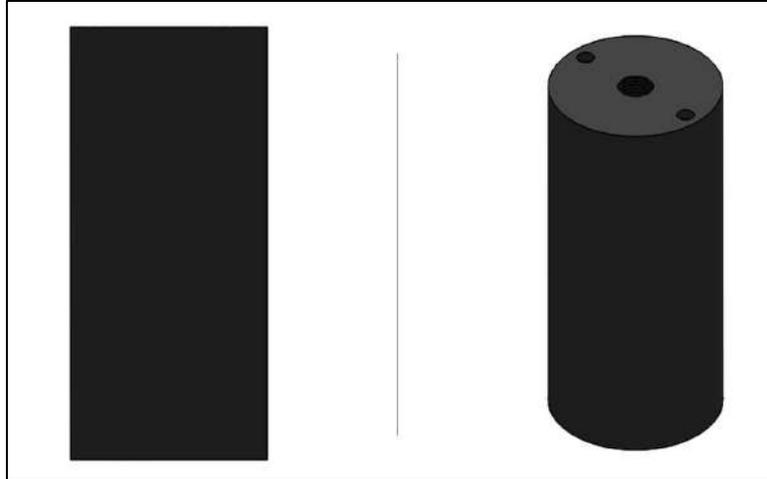


Figura 43. Cabeza del cilindro B. Fuente: Elaboración propia.

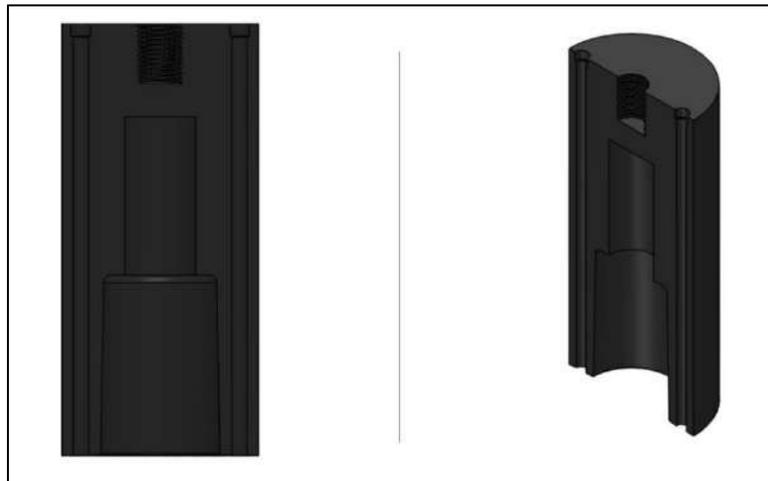


Figura 44. Corte de la cabeza del cilindro B. Fuente: Elaboración propia.

- Racordaje con conexión instantánea, codo orientable tornillo Allen.

Como se mencionó anteriormente este cilindro debe sujetar una pieza por vacío por lo que se necesitan adaptadores para conectar los tubos por los que se genera vacío en los orificios de la cabeza del cilindro. Se seleccionan racores tipo codo orientable con tornillo Allen para facilitar su montaje.

Tabla 19. Características del codo orientable seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Descripción
Fabricante	SMC
Número de Parte	KQ2VS04-M5A

La figura 45 muestra los racores elegidos.



Figura 45. Codo orientable Allen. Fuente: Elaboración propia.

- Cilindro B.

Finalmente, el cilindro B queda como se muestra en la figura 46 y figura 47, mostrando la unión entre el cuerpo, la cabeza y los racores.

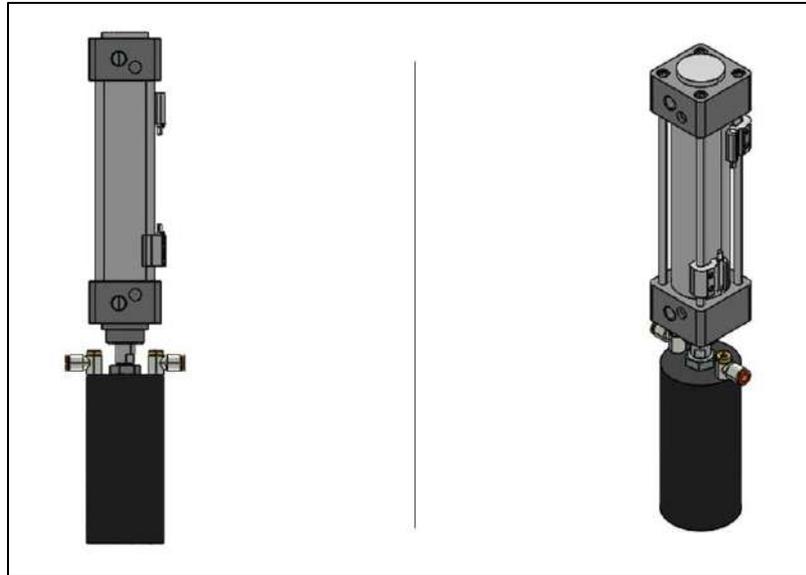


Figura 46. Cilindro B. Fuente: Elaboración propia.

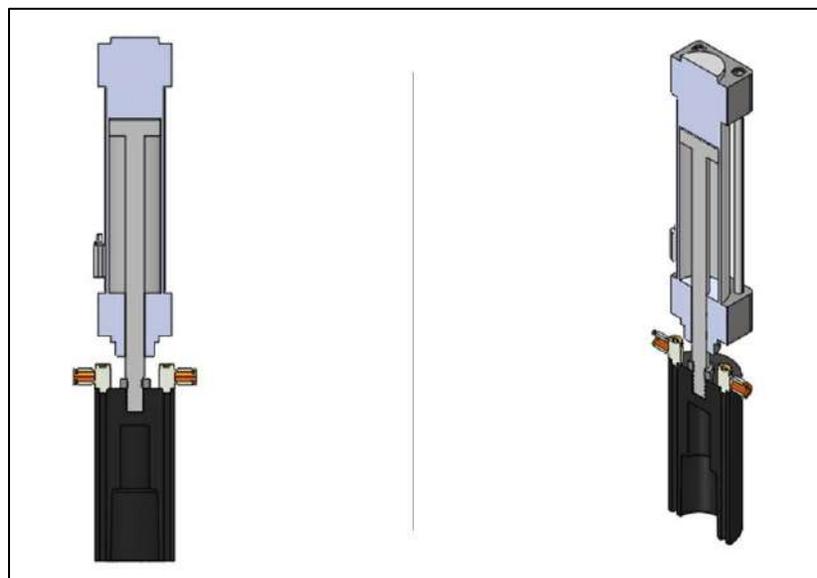


Figura 47. Corte de cilindro B. Fuente: Elaboración propia.

- Eyector de vacío.

La máquina necesita generar vacío para lo que se utiliza un eyector de vacío, el cual funciona según el principio de Venturi. En estos eyectores se introduce aire comprimido a través de una conexión, el cual fluye por la tobera Venturi y se ve acelerado y comprimido, al ser aliviado se produce el vacío. El aire comprimido y el aspirado salen por un silenciador.

El modelo de eyector elegido posee las siguientes características mostradas en la tabla 20.

Tabla 20. Características del eyector de vacío seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de Parte	ZH05DSA-N01-N01-N01
Fluido	Aire
Temperatura de trabajo	-5 a 50 °C
Rango de Presión de Trabajo	0,1 a 0,6 MPa
Presión máxima de vacío	-90 KPa
Tipo de Conexiones	NPT
Tamaño de las conexiones	1/8

Este modelo fue seleccionado debido a sus características ya que soporta las presiones manejadas por las tuberías de la máquina. La presión de vacía máxima es suficiente para levantar las piezas Handle cuando es necesario. El conexionado es congruente con el elegido en los demás componentes del sistema.

El eyector de vacío genera debe ser configurado con presión en la entrada según los datos presentes en la gráfica de la figura 48.

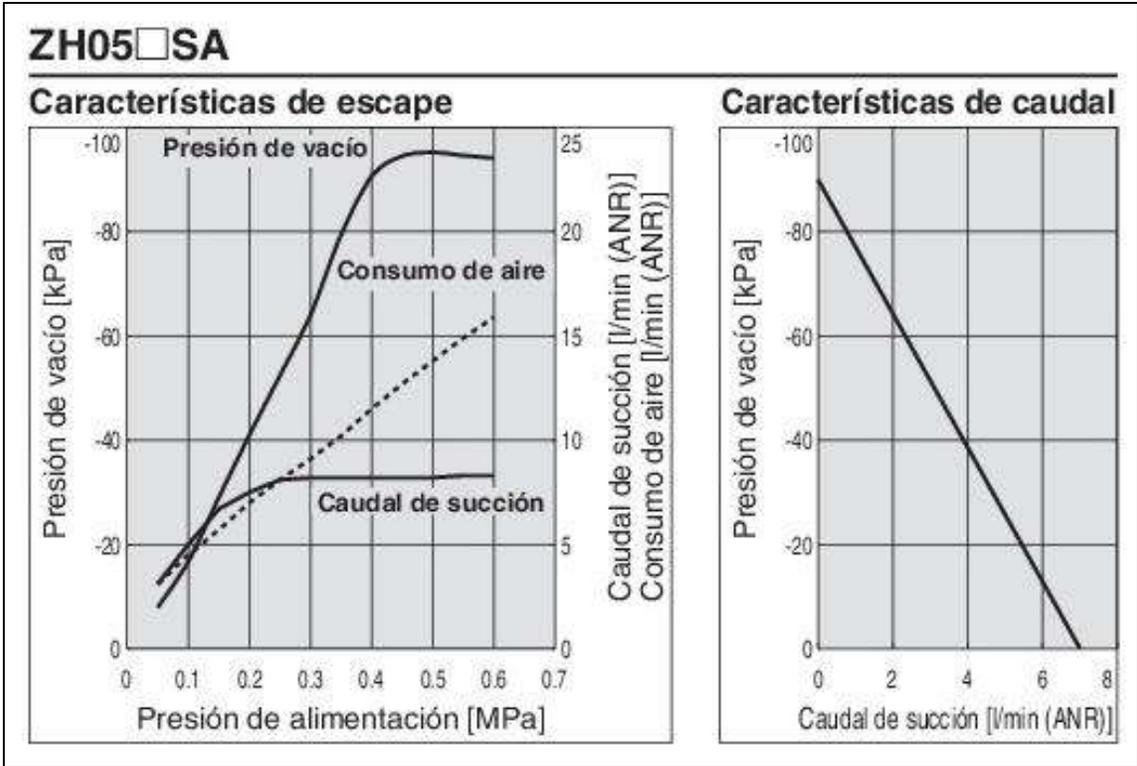


Figura 48. Características de configuración del eyector de vacío. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

La figura 49 muestra el eyector de vacío utilizado.

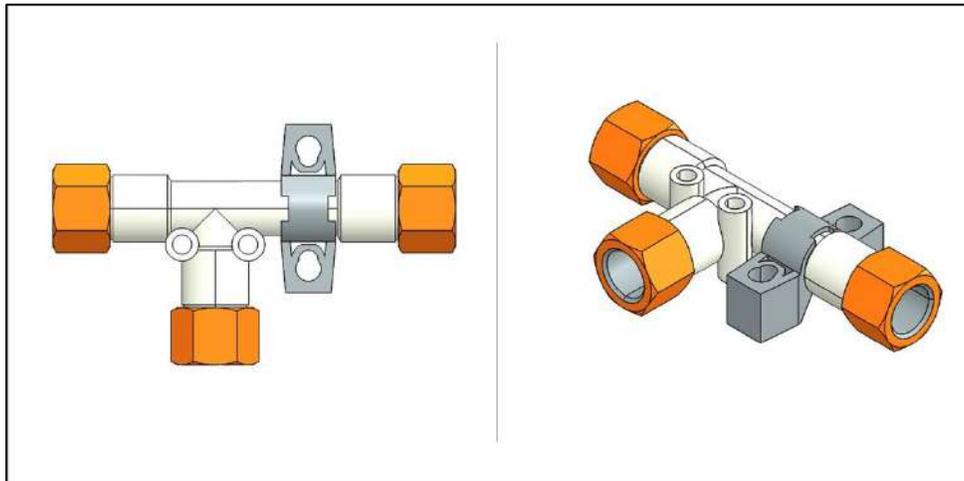


Figura 49. Eyector de vacío seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

- Filtro de vacío.

El aire de vacío succionado debe ser filtrado antes de ingresar al eyector por recomendación del fabricante por lo que se utiliza un filtro con las características de la tabla 21.

Tabla 21. Características del filtro de vacío seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	SMC
Número de parte	ZFC3A-B
Rango de presión de trabajo	-100 KPa a 1 MPa
Filtración	5 micrómetros
Fluido	Aire
Caudal máximo	10 l/min
Díámetro de tubo	1/8

El rango de presión de trabajo de este filtro se encuentra dentro de los parámetros establecidos para las condiciones de la máquina. El tamaño de filtrado de las partículas se selecciona según lo establecido por la necesidad de los cilindros neumático que forman parte del sistema. El caudal máximo que permite el filtro es mayor al caudal presente dentro del dispositivo diseñado.

El filtro anterior se puede apreciar en la figura 50.

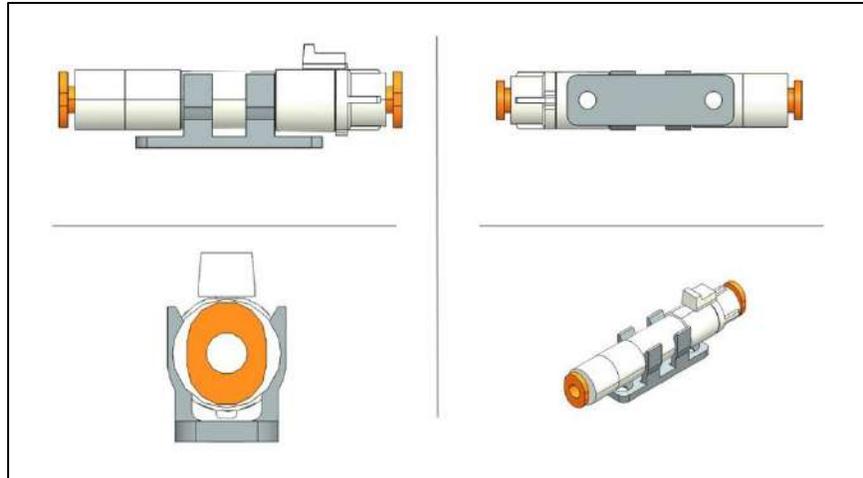


Figura 50. Filtro de vacío. Fuente: Elaboración propia.

- Cilindro C.

La selección del cilindro C es diferente a la de los dos cilindros previamente expuestos, pues en este caso no se encarga de realizar un ensamble sino de transportar las piezas, por lo que se utiliza un cilindro sin vástago capaz de soportar carga directamente sobre la mesa de trabajo.

- Cuerpo del cilindro C.

Primero se selecciona el modelo dentro de los cilindros sin vástagos disponibles, el modelo seleccionado es el MY3M, el cual corresponde al modelo de guía deslizante ya que según el fabricante tiene la precisión de carrera más recomendada, lo cual es un factor importante en la aplicación ya que la alineación afecta la calidad del ensamble. Además, es el cilindro más recomendado para soportar la carga directamente sobre su mesa de trabajo sin necesidad de una guía externa.

El criterio anterior se obtiene de acuerdo con los datos mostrados en la figura 51.

Serie	Modelo	Guía para la selección provisional del modelo				Nota
		Precisión de carrera	Uso de guía externa	Carga directa	Precisión de la mesa	
MY3A	Modelo básico compacto	△	⊙	△	△	Generalmente combinado con una guía separada, que lo hace más compacto en cuanto a la longitud.
MY3B	Modelo básico estándar	⊙	⊙	○	△	Generalmente combinado con una guía separada, cuando se requiere precisión de carrera.
MY3M	Modelo de guía deslizante	⊙	×	⊙	○	Al montar una pieza de trabajo directamente en el producto, cuando se requiere precisión de carrera.

⊙ El más adecuado   ○ Adecuado   △ Se puede utilizar   × No recomendado  
 Nota 1) La precisión de la mesa se refiere a la cantidad de flexión de la mesa cuando se aplica un momento.

Figura 51. Guía para la selección provisional del modelo de cilindro. Fuente: Hoja de datos del fabricante.

El diámetro del cilindro lo define el peso de la carga, la cual al ser de delrin no sobrepasa los 38 kg que permite el cilindro escogido. Por carga se refiere a las bases de las piezas.

Tabla 22. Características del carro neumático seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Descripción
Fabricante	SMC
Número de Parte	MY3M25TN-100-M9PM
Diámetro	25 mm
Acción	Doble efecto
Fluido	Aire
Presión máxima de trabajo	0,7 MPa
Temperatura ambiente y del fluido	5 a 60 °C
Velocidad máxima	1000 mm/s
Tipo de conexión	NPT
Tamaño de conexión	1/8 in
Carrera	100 mm
Detección	Imán incorporado
Salida digital	PNP

La figura 52 muestra el carro neumático descrito anteriormente.

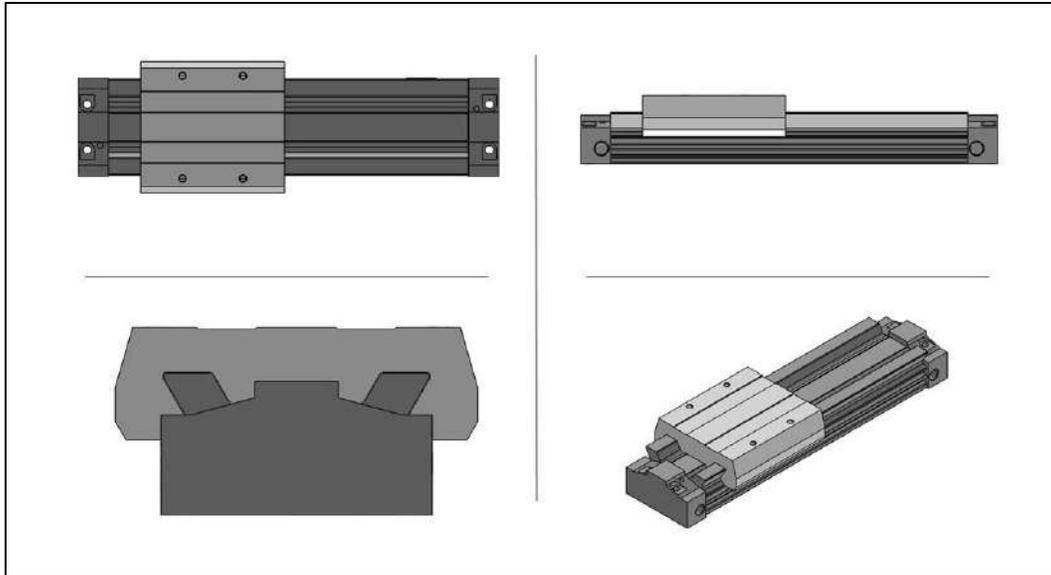


Figura 52. Carro neumático seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

- Base para Body – Stem.

Esta base es sobre la que se coloca el Body para realizar el ensamble por lo que debe considerar su geometría en el diseño, sin embargo, el Stem se coloca dentro del Body al ser ensamblado, por lo que la geometría de la base no debe colisionar con este.

Es importante que la geometría de la base solo permita que las piezas sean colocadas de manera correcta para realizar el ensamble, en caso de no colocarse correctamente sobre la base será analizado más adelante en la alineación de las piezas.

El diseño de la base sobre la que se ensamblará el Body – Stem queda como se muestra en la figura 53.

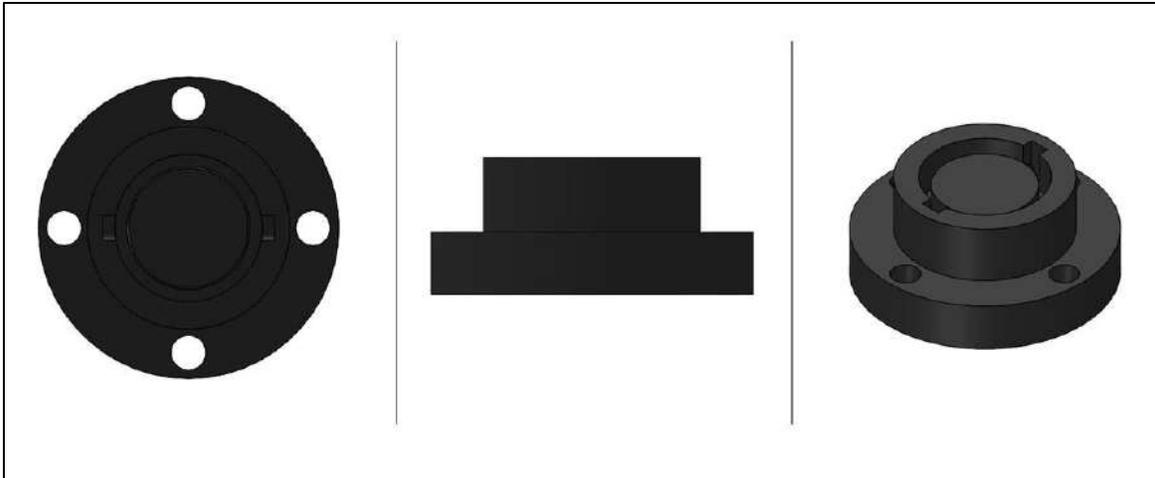


Figura 53. Base para Body - Stem. Fuente: Elaboración propia.

La forma correcta de colocar el Body sobre la base se muestra en la figura 54 y figura 55.

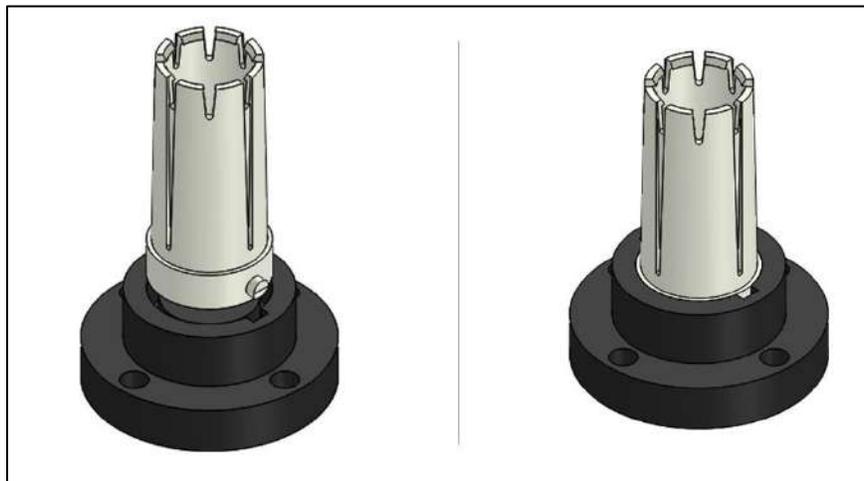
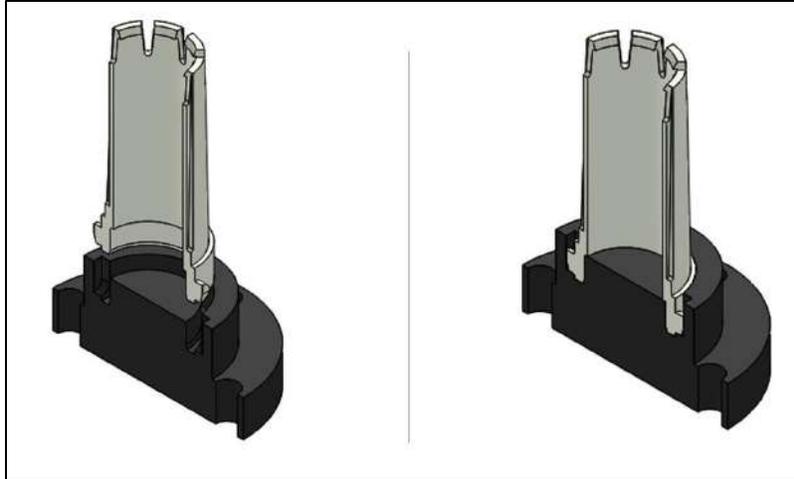


Figura 54. Colocación del Body sobre la base. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 55. Corte de la colocación del Body sobre la base. Fuente: Elaboración propia.*

- Base para Handle.

Sobre esta base se coloca el Handle para ser tomado por el cilindro B por vacío, debe considerar la geometría del Handle para que quede correctamente alineado, así como la carrera del cilindro B para que pueda ser correctamente sujetado.

Es importante que la geometría de la base solo permita que las piezas sean colocadas de manera correcta para realizar el ensamble, en caso de no colocarse correctamente sobre la base será analizado más adelante en la alineación de las piezas.

El diseño de la base sobre la que se colocará el Handle queda como se muestra en la figura 56.

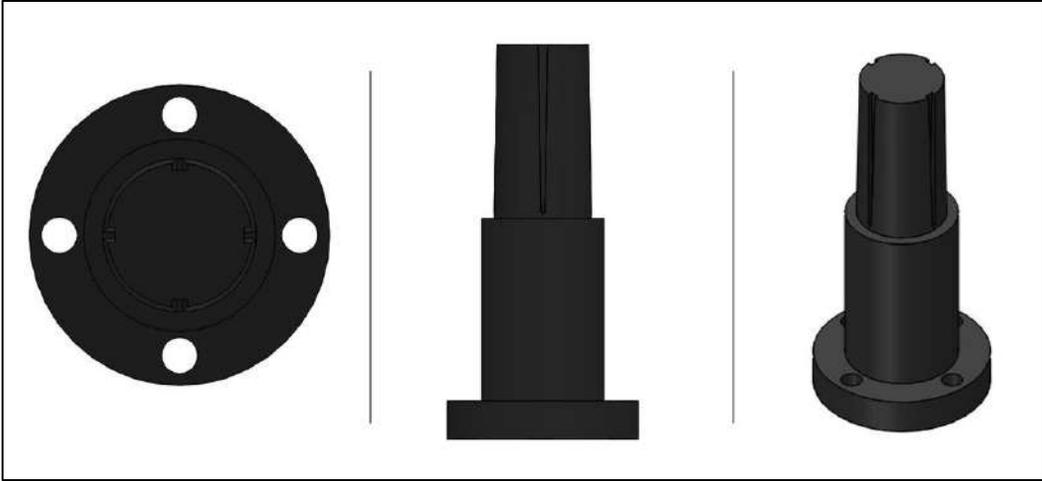


Figura 56. Base para Handle. Fuente: Elaboración propia.

La forma correcta de colocar el Handle se muestra en la figura 57 y figura 58.

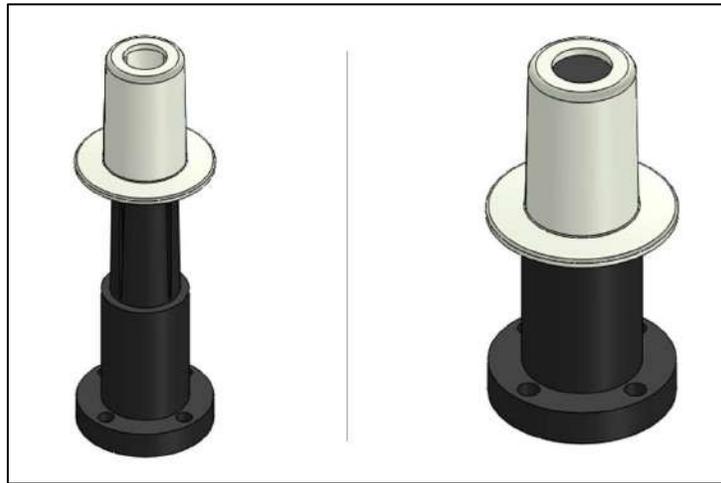


Figura 57. Colocación del Handle sobre la base. Fuente: Elaboración propia.

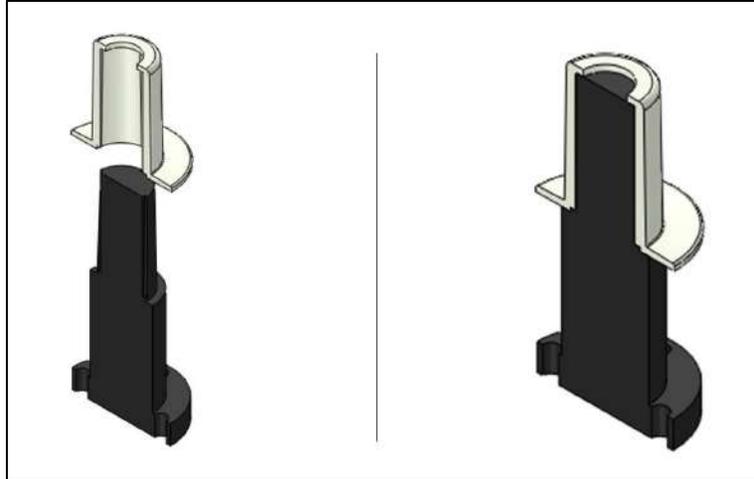


Figura 58. Corte de la colocación del Handle sobre la base. Fuente: Elaboración propia.

- Adaptador para bases.

Si bien es cierto que solo con las bases anteriores es posible colocar las piezas y realizar los ensambles, estas no se pueden colocar directamente sobre el carro neumático por lo que se diseña un adaptador para colocar las bases en el cilindro C.

Esta base queda de la siguiente como se muestra en la figura 59.

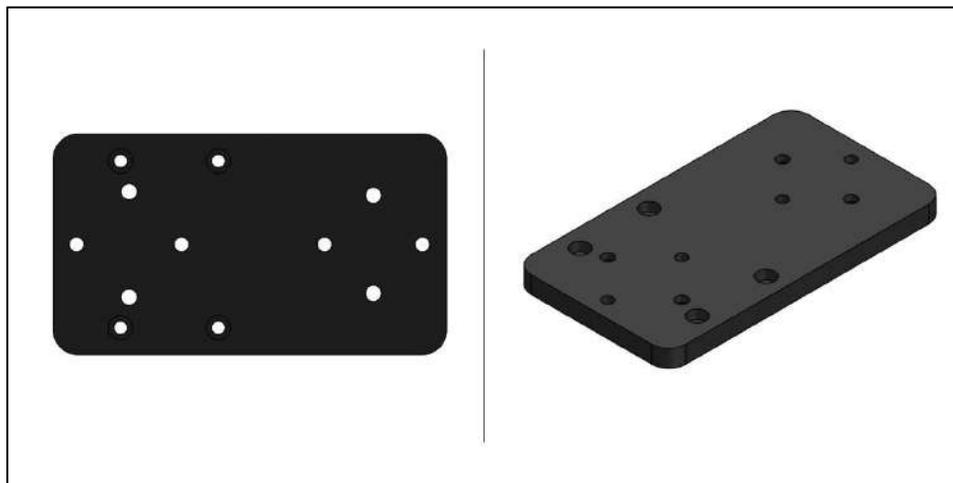


Figura 59. Adaptador para bases. Fuente: Elaboración propia.

Este adaptador cuenta con los agujeros para ser unida al carro neumático, así como los agujeros para unir las bases a ella y dos agujeros para pines, para asegurar la alineación de las bases.

- Cilindro C.

Finalmente, el cilindro C queda como se muestra en la figura 60 y figura 61.

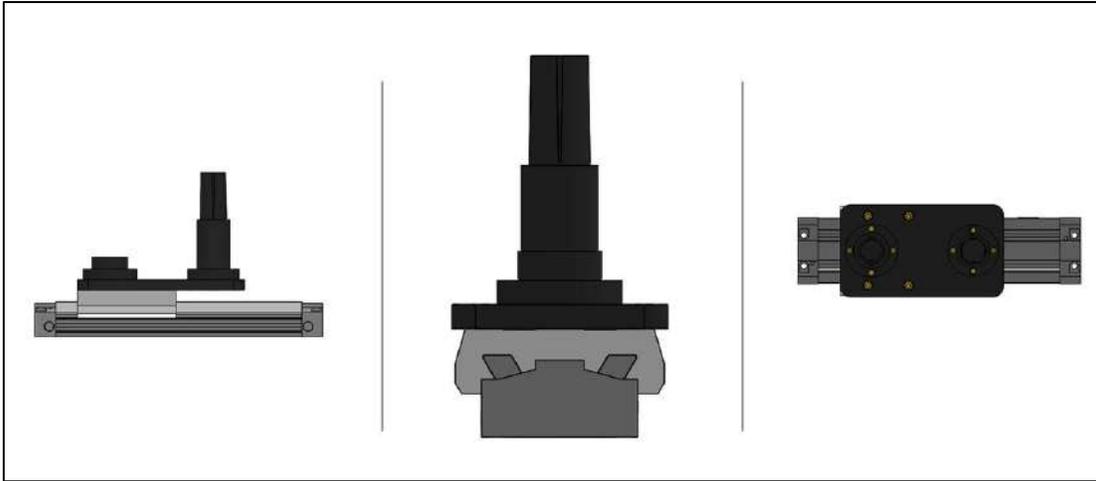


Figura 60. Carro neumático C. Fuente: Elaboración propia.

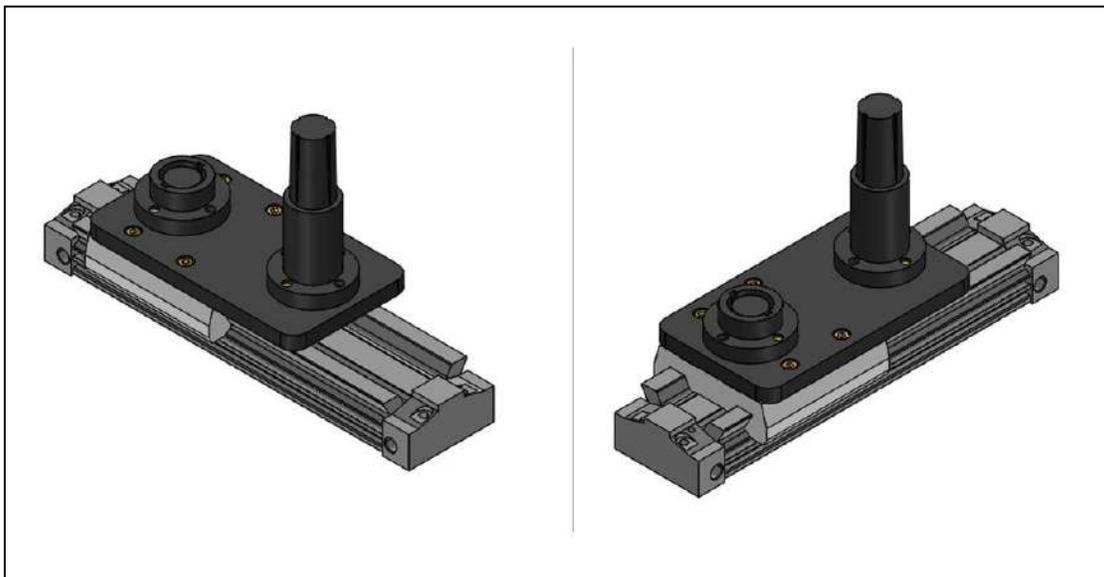


Figura 61. Cilindro C. Fuente: Elaboración propia.

- Sensores fotoeléctricos.

Para detectar la presencia de objetos en un espacio se utilizan sensores fotoeléctricos. Estos sensores están formados por un emisor y un receptor que generan y perciben la luz respectivamente.

El tipo de sensor seleccionado cuenta con un emisor y receptor que se encuentran separados en dos partes. Existe un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando interrumpe el haz de luz. Como el modo de detección se basa en la interrupción del haz de luz, la detección no se ve afectada por el color, textura o brillo del objeto a detectar.

Por lo descrito anteriormente estos sensores cumplen con los requerimientos necesarios para detectar la presencia o alineación de las partes a ensamblar. El modelo escogido cuenta con las características de la tabla 23.

*Tabla 23. Características de los sensores fotoeléctricos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	OMRON
Número de parte	E3T-CT14
Salida digital	PNP
Distancia de medida	1 m
Grado de protección	IP65
Fuente de alimentación	12 a 24 VDC

La salida digital es elegida PNP por la lógica de programación del controlador. La distancia de medida es elegida mayor al tamaño de separación de los sensores dentro de la máquina. La alimentación del sensor coincide con el circuito eléctrico de la máquina.

- Emisor.

Es el encargado de enviar el haz de luz y se observa en la figura 62.

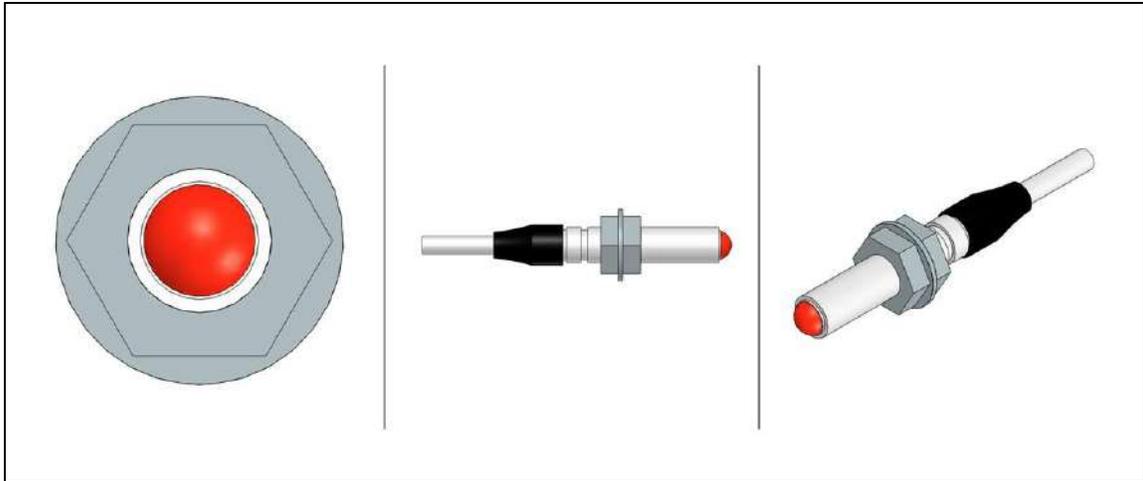


Figura 62. Emisor. Fuente: Elaboración propia.

- Receptor.

Es el encargado de recibir el haz de luz y se muestra en la figura 63.

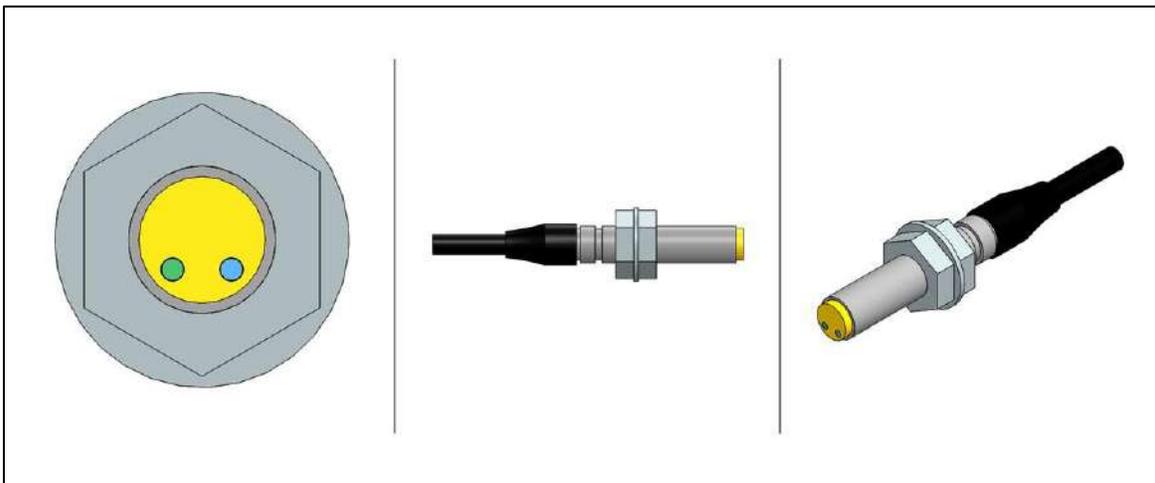


Figura 63. Receptor. Fuente: Elaboración propia.

- Sensores fotoeléctricos.

Los sensores deben estar correctamente alineados para funcionar como se muestra en la figura 64.

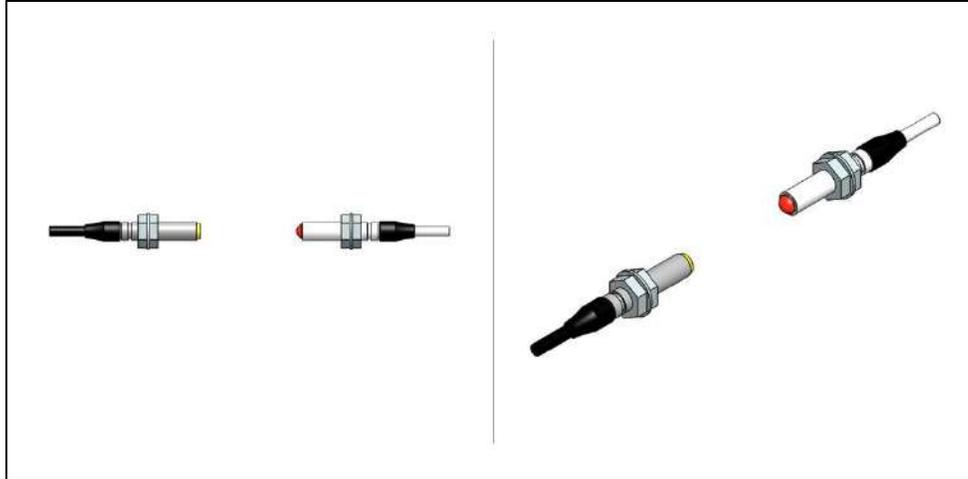


Figura 64. Sensores fotoeléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Por las características de los sensores que se describen en el marco teórico, se debe considerar un margen de error propio del sensor, por lo que se diseñan “ojos chinos” donde deben ir colocados los sensores, para que permitan un cierto movimiento para la alineación de los sensores en su montaje.

Los “ojos chinos” así como el montaje libre que permiten, se ilustran en la figura 65 y figura 66.

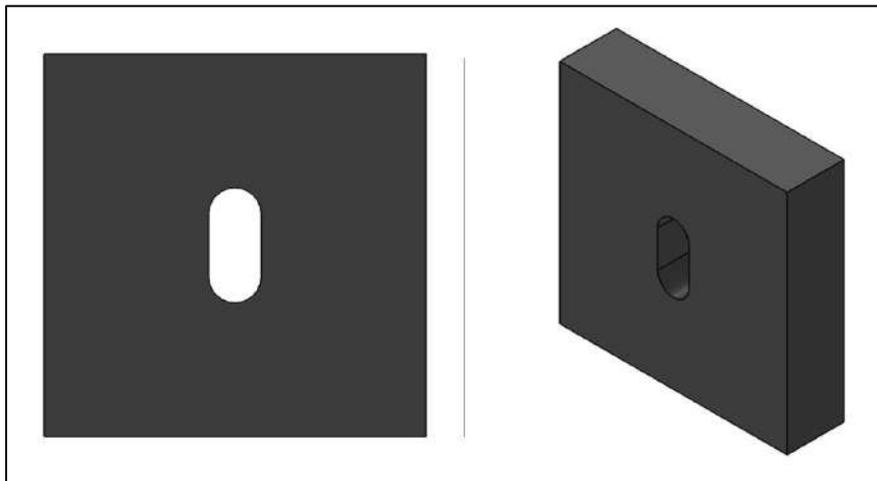
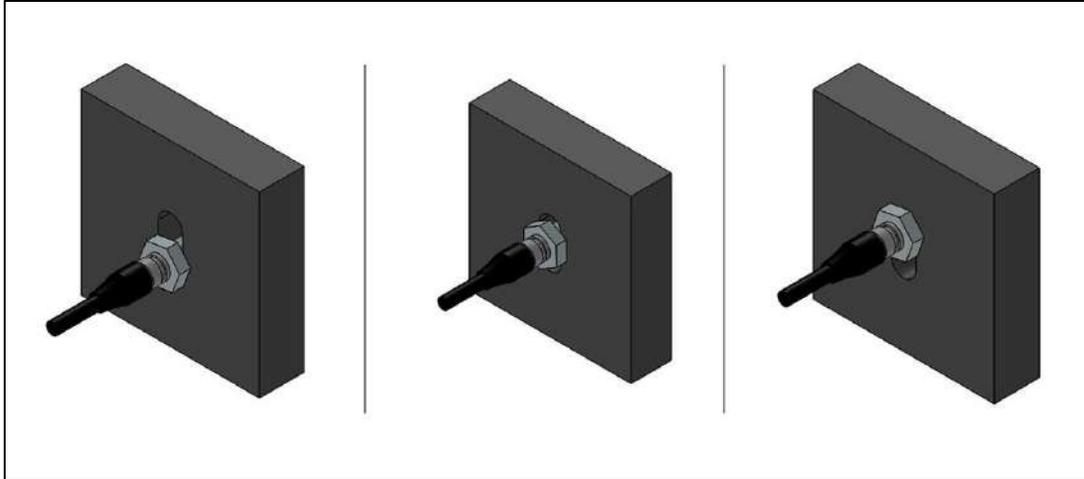


Figura 65. Ojos chinos. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 66. Funcionamiento de los ojos chinos. Fuente: Elaboración propia.*

- Botón de inicio.

Cada vez que se quiere realizar un ciclo de operación de la máquina para generar un ensamble se debe marcar el inicio a la máquina para que esta sepa cuando operar. En este caso el inicio de operación se realiza con un botón pulsador.

El botón pulsador seleccionado cuenta con las características de la tabla 24.

Tabla 24. Características del botón inicio seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	OMRON
Número de Parte	A22NZ-BMM-NGA
Diámetro	22 mm
Forma del botón	Hongo
Iluminación	Sin luz
Color	Verde
Tensión de alimentación	24 V
Salida	Normalmente abierta
Frecuencia mecánica de operación	60 operaciones por minuto
Frecuencia eléctrica de operación	30 operaciones por minuto
Durabilidad	5 millones de operaciones mínimo
Temperatura ambiente de operación	-25 a 70 °C
Protección	IP66

Se selecciona sin iluminación pues no es necesaria para la aplicación requerida del botón pulsador. El color verde se selecciona pues el botón es el encargado de marcar el inicio de operación de la máquina. La tensión de alimentación es congruente con el circuito eléctrico del sistema. La salida es elegida normalmente abierta debido a la lógica con la que fue programado el controlador.

La figura 67 muestra el botón pulsador inicio de la máquina.

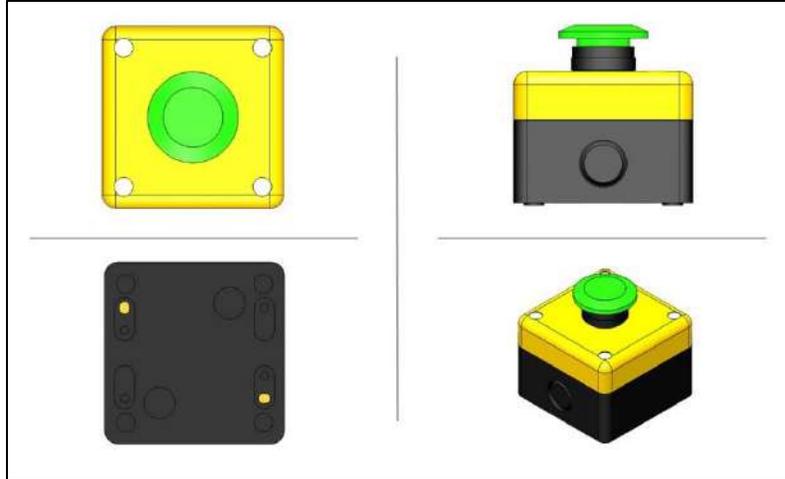


Figura 67. Botón inicio. Fuente: Elaboración propia.

- Botón de paro.

En caso de que ocurra un accidente se debe tener un medio para eliminar la condición que genera afectación para el operario. Lo anterior se realiza mediante un botón de paro o un botón de emergencia, el cual corresponde a un botón normalmente cerrado que al ser presionado mantiene esta posición hasta ser devuelto a su posición natural.

De la misma manera al realizar labores de mantenimiento con la máquina encendida se debe garantizar la seguridad del técnico operador, por lo que este mismo botón brinda esa posibilidad.

El botón de emergencia seleccionado posee las siguientes características mostradas en la tabla 25.

Tabla 25. Características del botón de paro seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Fabricante	OMRON
Número de Parte	A22E-M-01-B
Iluminación	Sin luz
Diámetro	40 mm
Funcionamiento	Presionar para bloquear y girar para reestablecer
Salida	Normalmente cerrada
Frecuencia mecánica de operación	30 operaciones por minuto
Frecuencia eléctrica de operación	30 operaciones por minuto
Temperatura ambiente de operación	-20 a 70 °C
Protección	IP65

Se selecciona sin iluminación pues no es necesaria para la aplicación requerida del botón de emergencia. Se selecciona un tamaño más grande que el del botón pulsador pues al ser de emergencia debe tener facilidad para ser oprimido. La tensión de alimentación es congruente con el circuito eléctrico del sistema. La salida es elegida normalmente cerrada debido a la lógica con la que fue programado el controlador.

La figura 68 muestra el botón de emergencia.



Figura 68. Botón de paro. Fuente: Elaboración propia.

- Cortinas de seguridad.

Garantizar la seguridad de los operarios que controlan la máquina es una de las prioridades en este proyecto. Por el funcionamiento de la máquina los operarios constantemente se encuentran en contacto con la máquina, por lo que se encuentran en constante riesgo de un accidente, y aunque se posee un botón de paro de emergencia en caso de que ocurra, se debe reducir el riesgo de accidentes lo más posible.

Con este fin la máquina posee unas cortinas de seguridad, las cuales cada vez que el operario se encuentre en contacto con elementos de la máquina, envía una señal para mantenerlo seguro.

Las cortinas de seguridad seleccionadas poseen las siguientes características mostradas en la tabla 26.

Tabla 26. Características de las cortinas de seguridad seleccionadas. Fuente: Elaboración propia.

Características	Descripción
Fabricante	OMRON
Número de Parte	F3SG-4RA0240-14
Altura de Protección	240 mm
Fuente de Alimentación	24 V
Salida digital	PNP

La altura de protección de las cortinas de seguridad se selecciona según la geometría de la máquina. La tensión de alimentación de los sensores es congruente con el circuito eléctrico de la máquina. La salida digital es elegida PNP debido a la lógica de programación escogida para el controlador.

Y se muestran en la figura 69 a continuación.

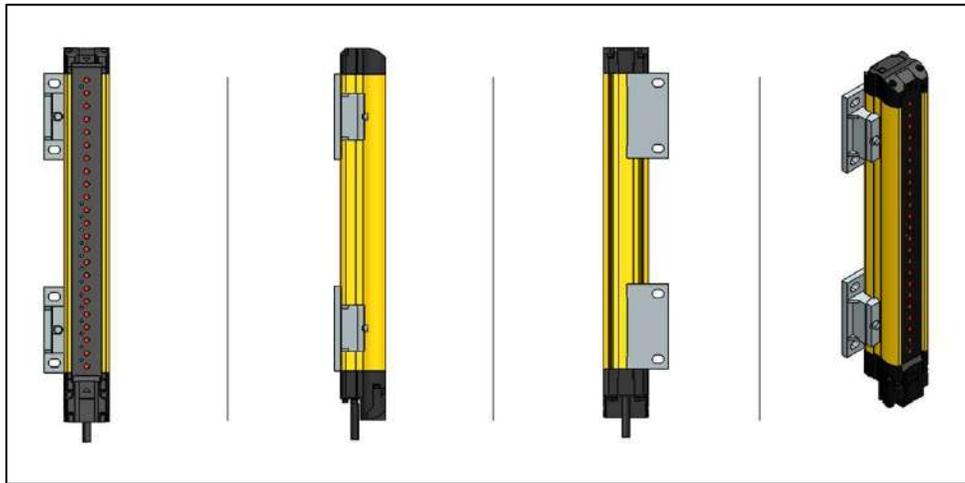


Figura 69. Cortinas de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

- Carcasa de la máquina.

Con el objetivo de dar soporte a los elementos de la máquina se diseña una carcasa robusta, capaz de soportar todos los elementos de la máquina (muchos mencionados anteriormente en este capítulo) y los esfuerzos a los que está sometida.

- Parte 1.

Esta parte se realiza mediante el doblado de una lámina para ahorrar costos de soldadura y se muestra en la figura 70.

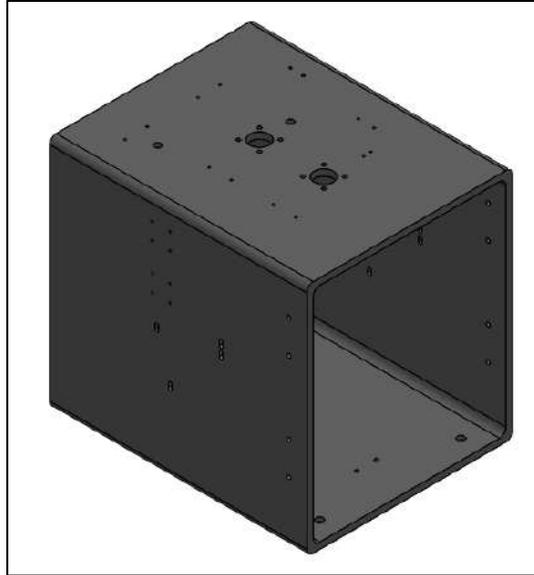


Figura 70. Parte 1 de la carcasa de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

- Parte 2.

La segunda parte de la carcasa corresponde al “piso” de esta, es la que soporta toda la máquina y está en contacto con la mesa sobre la que se coloque el sistema. Se muestra en la figura 71.

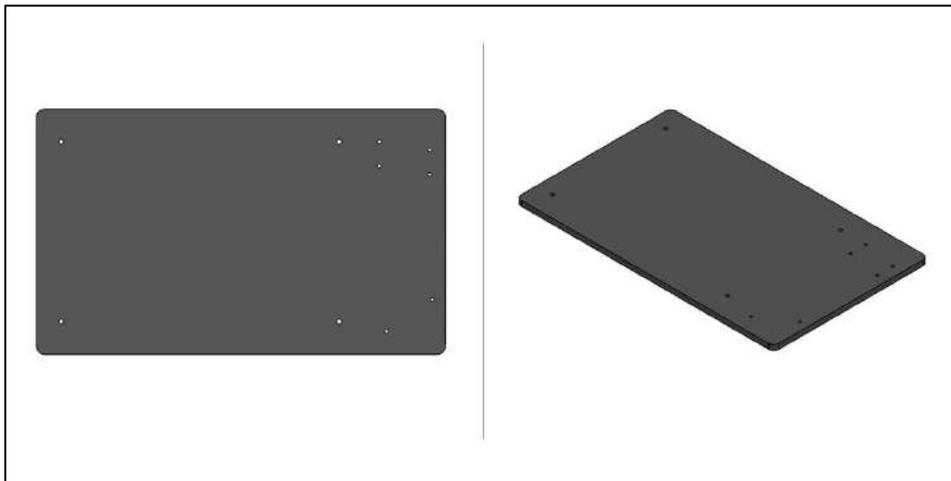


Figura 71. Parte 2 de la carcasa de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

- Parte 3.

Corresponde a una tapa en la parte de atrás sobre la que se colocan el equipo de tratamiento, sensores y gabinete. Se muestra en la figura 72.

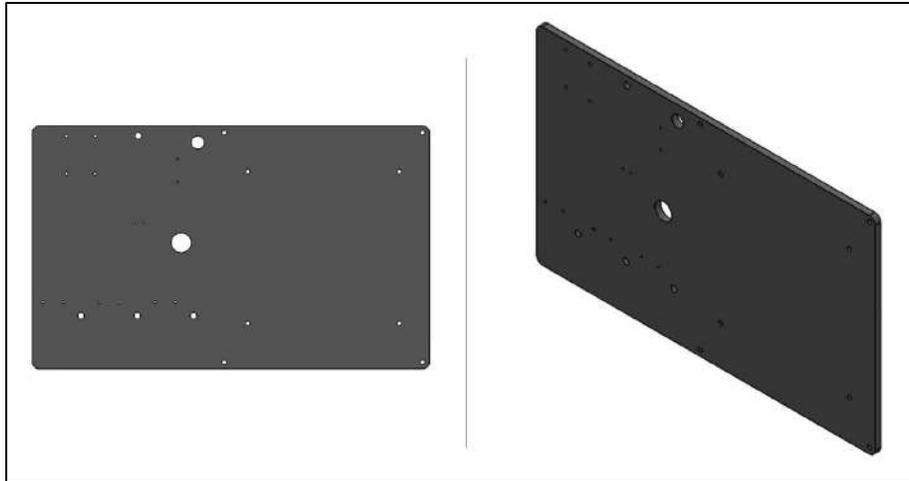


Figura 72. Parte 3 de la carcasa de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

- Carcasa.

Como unidad la carcasa completa se muestra en la figura 73 y figura 74.

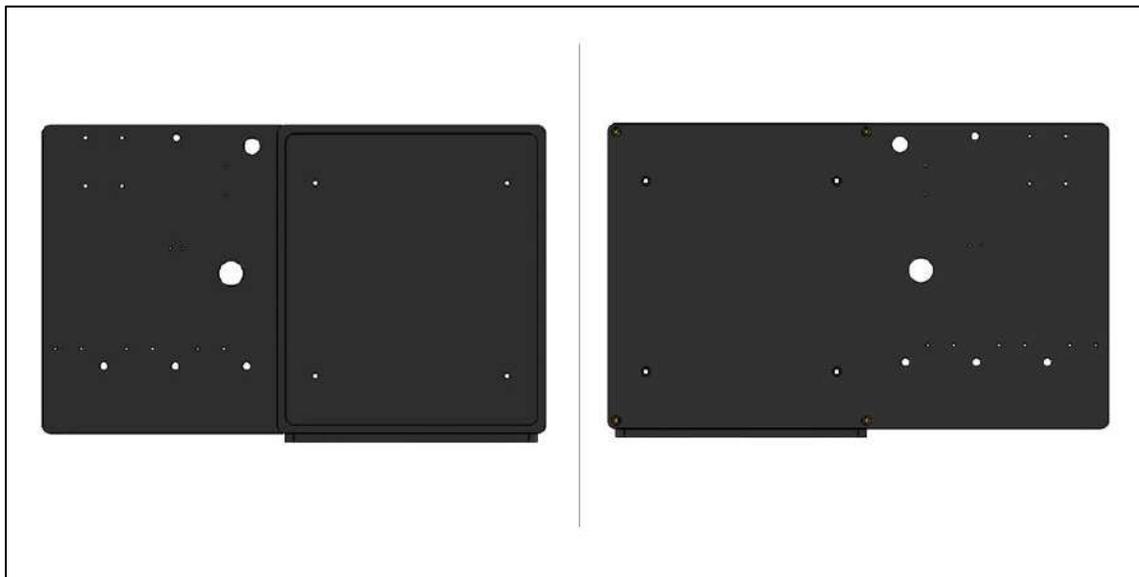


Figura 73. Carcasa de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

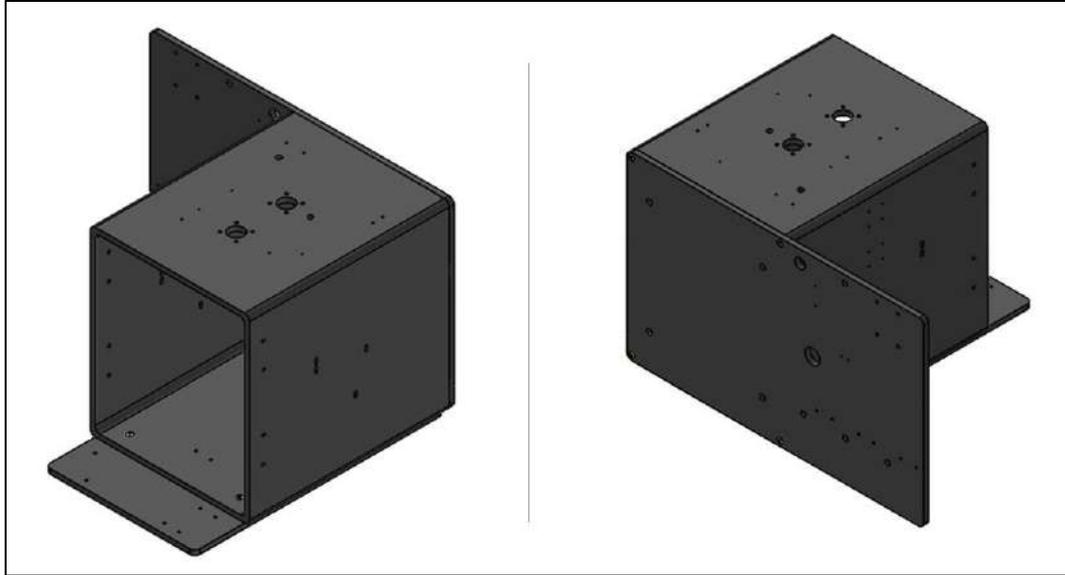


Figura 74. Unión de la carcasa de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

- Tubería.
  - Tubos.

Son utilizados para conectar entre sí los diferentes elementos de la máquina. Por medio de ellos el aire comprimido viaja de un elemento a otro. Deben ser aptos para trabajo en cuarto limpio por lo que se seleccionan tubos de poliuretano como los que se muestran en la figura 75.



Figura 75. Tubos de poliuretano. Fuente: Página web de SMC.

- Racordaje con conexión instantánea, Y cuádruple.

Cuando se necesita dividir una señal en cuatro se utiliza este tipo de racordaje que envía por cuatro tuberías una misma señal.

Tabla 27 Características de la Y cuádruple seleccionada. Fuente: Realización personal.

Característica	Descripción
Fabricante	SMC
Número de Parte	KQ2U04-00A

Se muestra en la figura 76.

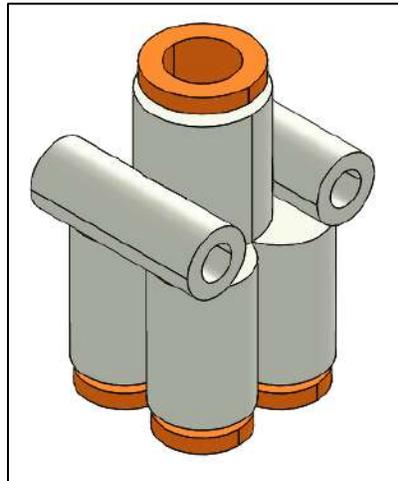


Figura 76. Y cuádruple. Fuente: Elaboración propia.

- Racordaje con conexión instantánea, Y tubo – tubo.

Cuando se necesita dividir una señal en dos se utiliza este tipo de racordaje que envía por dos tuberías una misma señal.

Tabla 28. Características de la Y tubo - tubo seleccionada. Fuente: Realización personal.

Característica	Descripción
Fabricante	SMC
Número de Parte	KQ2UD04-06A

Se muestra en la figura 77.

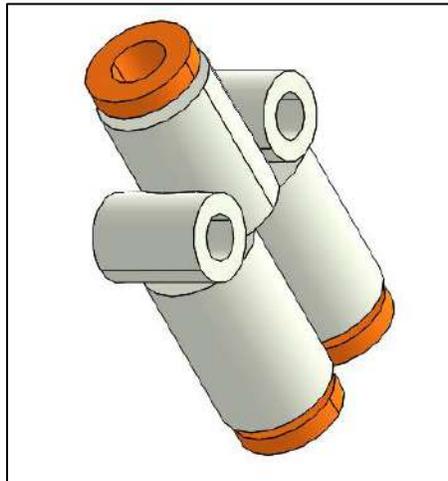


Figura 77. Y tubo - tubo. Fuente: Realización personal.

## 5.4 Ensamble de la máquina

Todos los componentes descritos anteriormente se ensamblan en la carcasa de la máquina por medio de tornillería. Las figuras 78, 79 y 80 muestran la carcasa con y sin los componentes para identificar de una mejor manera donde va colocado cada uno. Los orificios que quedan sin utilizar en la carcasa son para pasar cables.

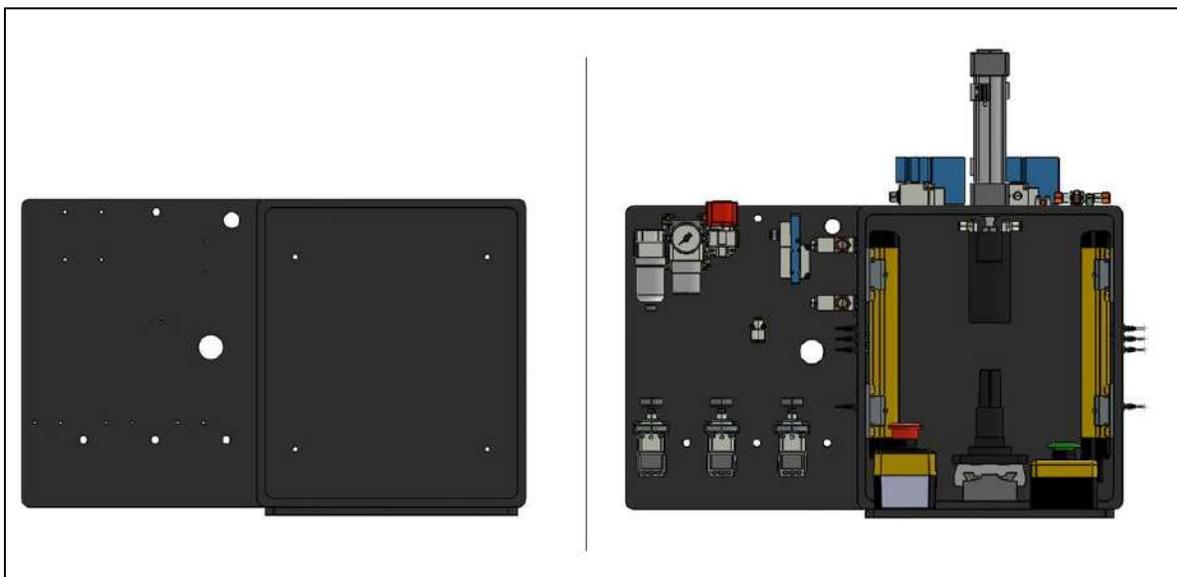


Figura 78. Vista frontal del ensamble. Fuente: Elaboración propia.

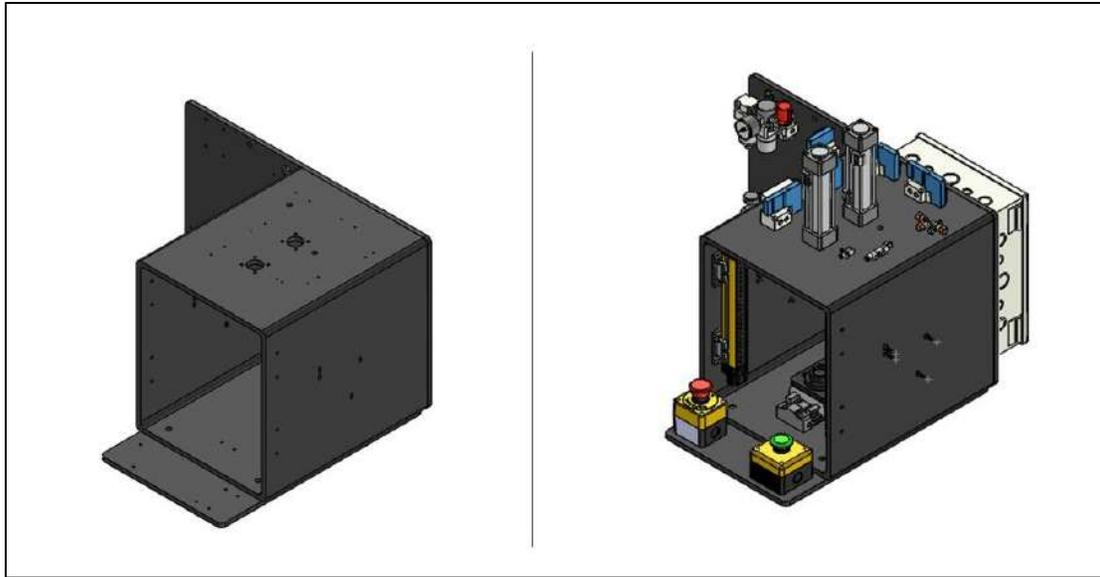


Figura 79. Vista isométrico ensamble. Fuente: Elaboración propia.

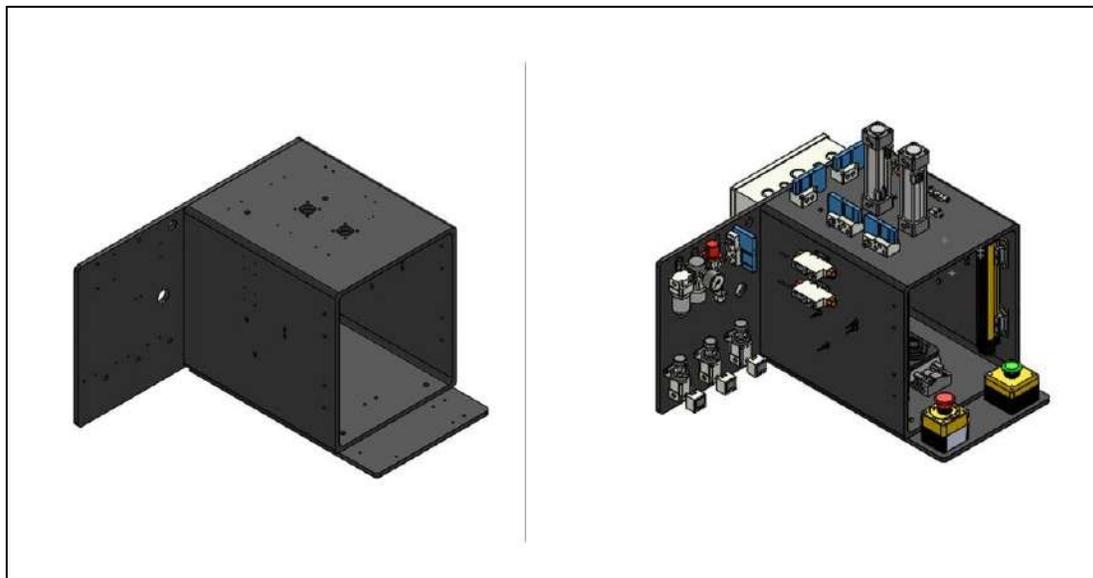


Figura 80. Vista isométrico 2 del ensamble. Fuente: Elaboración propia.

## **6 Diseño del Sistema de Control de la Máquina**

### **6.1 Entradas y Salidas del Sistema**

Considerando el funcionamiento requerido para la máquina se asignan las entradas y salidas del sistema para los elementos seleccionados. Tal designación se puede observar en la tabla 29 y tabla 30.

Tabla 29. Entradas del sistema. Fuente: Elaboración propia.

<b>Entrada</b>	<b>Descripción</b>
Inicio	Pulsador para dar inicio a la secuencia de ensamble.
Cortinas de Seguridad	Sensor de seguridad
Paro	Botón de paro en caso de emergencia o de querer detener el sistema.
Alineación (Stem)	Sensor que detecta que el Stem no se encuentre mal alineado.
Presencia (Body + Stem)	Sensor que detecta que se haya colocado el Body junto con el Stem.
Alineación (Handle)	Sensor que detecta que el Handle no se encuentre mal alineado.
Presencia (Handle)	Sensor que detecta que se haya colocado el Handle.
FC A (devuelto)	Final de carrera para el cilindro neumático A.
FC B (devuelto)	Final de carrera para el cilindro neumático B.
FC B (extendido)	Final de carrera para el cilindro neumático B.
FC C (extendido)	Final de carrera para el cilindro neumático C.
Presostato A	Sensor que detecta que la presión del cilindro neumático A se encuentre en el rango establecido.
Caudalímetro A	Sensor que detecta que el caudal del cilindro neumático A se encuentre en el rango establecido.
Presostato B	Sensor que detecta que la presión del cilindro neumático B se encuentre en el rango establecido.
Caudalímetro B	Sensor que detecta que el caudal del cilindro neumático B se encuentre en el rango establecido.
Presostato Vacío	Sensor que detecta que la presión del eyector de vacío se encuentre en el rango establecido.

Tabla 30. Salidas del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Salida	Descripción
Válvula de Seguridad	Válvula de control de la entrada de presión al sistema.
Válvula A	Válvula de control de posición del cilindro neumático A.
Válvula B	Válvula de control de posición del cilindro neumático B.
Válvula C	Válvula de control de posición del cilindro neumático C.
Válvula de Vacío	Válvula de control del sistema de vacío.

## 6.2 Controlador del Sistema

Se escoge como unidad de programación un LOGO de Siemens ya que los requerimientos no son tan exigentes como para considerar unidades más grandes y caras y esta unidad cuenta con uno de los precios más bajos del mercado.

Se escoge el LOGO ya que posee una simple instalación, cableado mínimo y una interfaz de programación amigable con el usuario. Además, que ocupa menos espacio del gabinete de control y posee todas las funciones requeridas para la programación de la máquina. Posee una máxima configuración de 24 entradas digitales, 20 salidas digitales, 8 entradas analógicas y 8 salidas analógicas por lo que cumple con nuestro requerimiento de 16 entradas digitales y 5 salidas digitales.

La unidad de control se divide en las partes mostradas en la tabla 31.

Tabla 31. Partes que conforman la unidad de control LOGO Fuente: Elaboración propia.

Designación	Descripción
LOGO Power 24 V / 1.3 A	Fuente de alimentación
LOGO 24 RCEo	Logo 8 Puro sin display LCD
LOGO DM16 24 R	Módulo de expansión digital

Uniando los tres elementos anteriores se puede conectar el dispositivo de control a la red eléctrica y obtener la cantidad de entradas y salidas necesarias.

- LOGO Power 24 V / 1.3 A

Este dispositivo posee las características de la tabla 32 y se muestra en la figura 81.

Tabla 32. Características del LOGO Power 24 V / 1.3 A. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Descripción
Fabricante	Siemens
Descripción	Esta unidad se utiliza para convertir la línea de 85/240 V AC / 100...300 V DC a voltajes de operación de 24 V.
Número de parte	6EP1331-1SH03

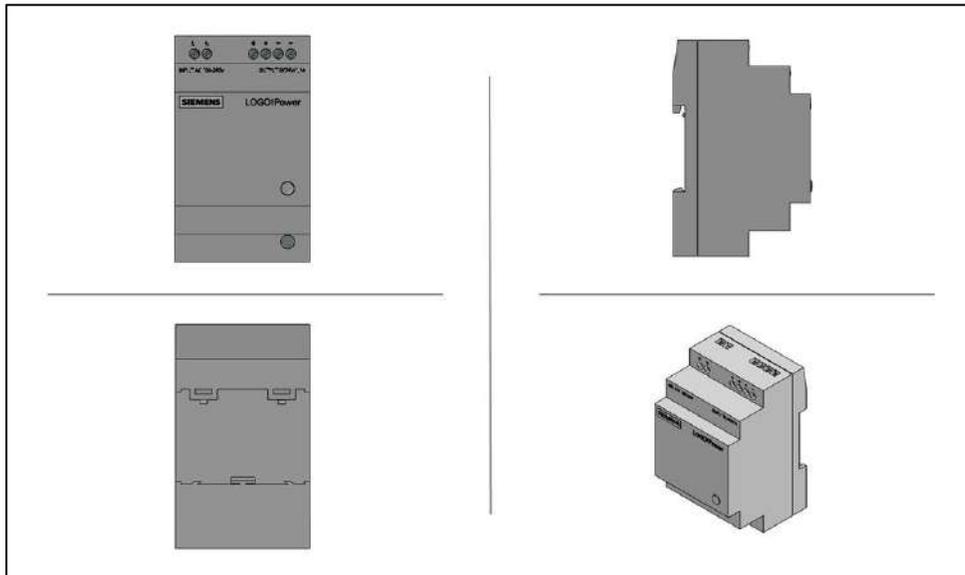


Figura 81. LOGO Power 24 V / 1.3 A. Fuente: Elaboración propia.

- LOGO 24 RCEo

Este dispositivo posee las características de la tabla 33 y se muestra en la figura 82.

Tabla 33. Características del LOGO 24 RCEo. Fuente: Elaboración propia.

Características	Descripción
Fabricante	Siemens
Número de parte	6ED1052-2HB00-0BA8
Fuente de alimentación	24 V AC/DC
Entradas digitales	8
Salidas digitales	4

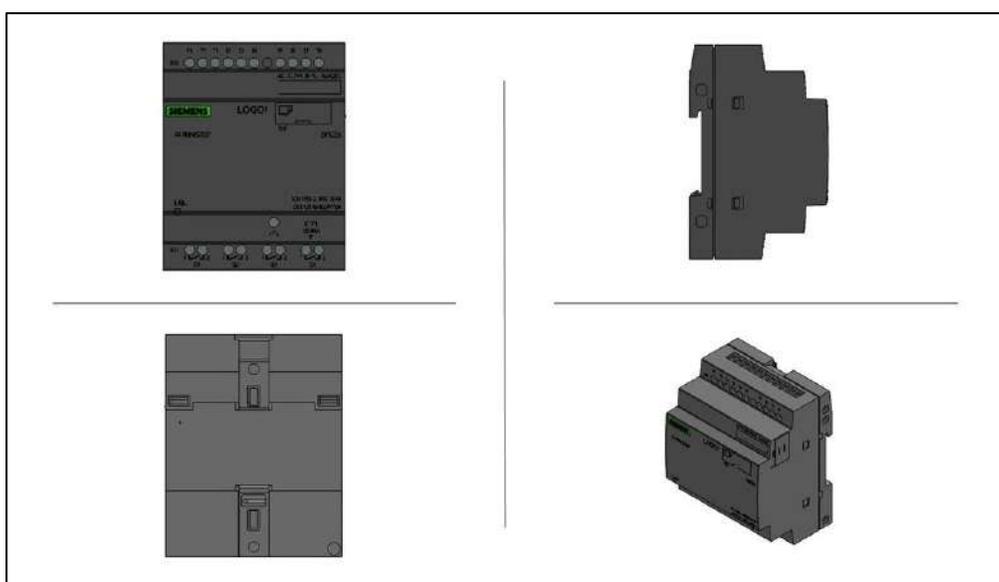


Figura 82. LOGO 24 RCEo. Fuente: Elaboración propia.

- LOGO DM16 24 R

El módulo de entradas digitales cuenta con las características de la tabla 34 y se muestra en la figura 83 y figura 84.

Tabla 34. Características del LOGO DM16 24 R. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Descripción
Fabricante	Siemens
Número de parte	6ED1055-1NB10-0BA2
Fuente de alimentación	24 V DC
Entradas digitales	8
Salidas digitales	8

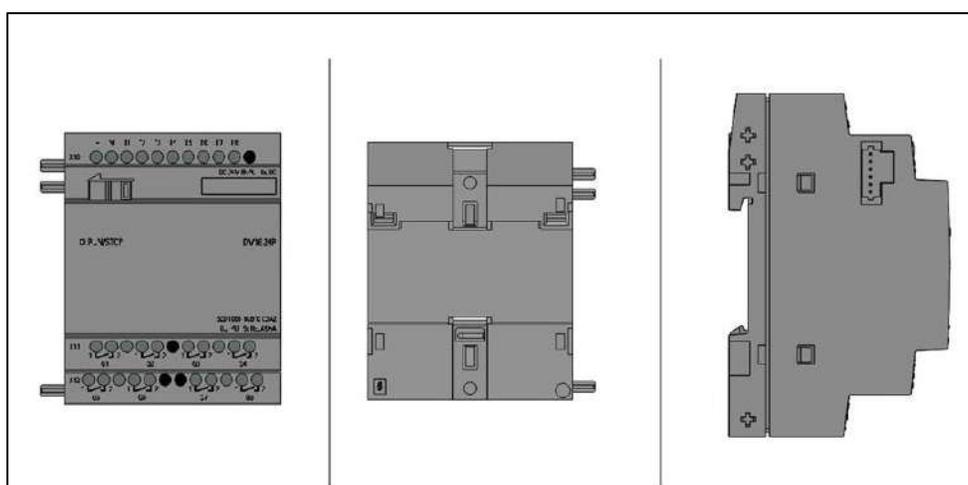


Figura 83. Módulo extra de entradas y salidas. Fuente: Elaboración propia.

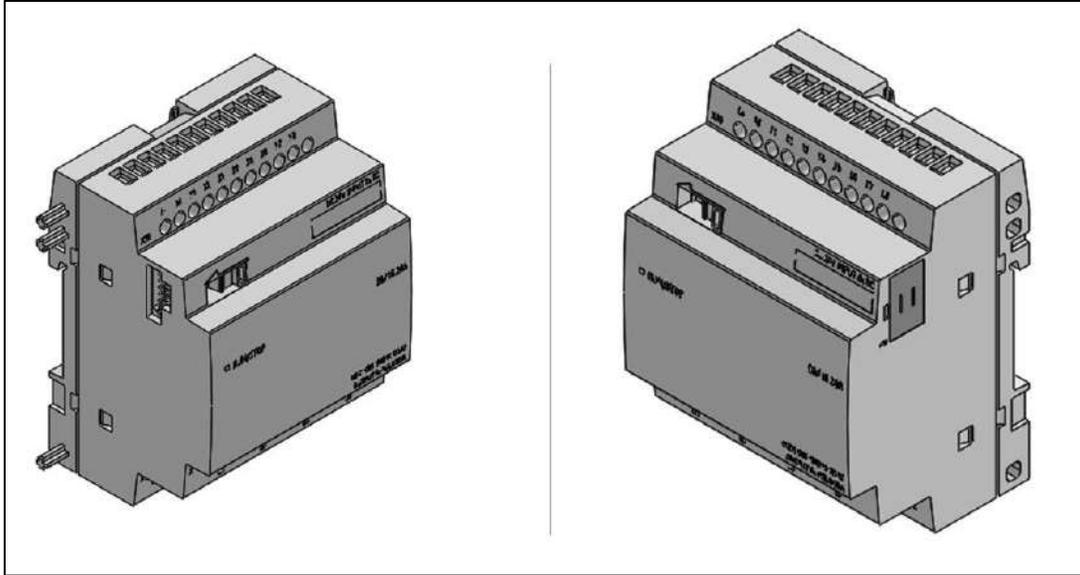


Figura 84. LOGO DM16 24 R. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Diagrama Eléctrico

El diagrama eléctrico muestra las conexiones de los diferentes componentes del circuito de manera simplificada, principalmente las conexiones entre el LOGO, su módulo de entradas y salidas digitales y su fuente de alimentación. Así, como las conexiones entre los sensores y válvulas con las entradas y salidas respectivamente. La posición ocupada por los componentes en este diagrama no representa la posición física de estos en la máquina.

El diagrama eléctrico se construye de acuerdo con la siguiente designación de entradas y salidas que se muestran en la tabla 35 y tabla 36.

Tabla 35. Designación de las entradas en el diagrama eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

<b>Entrada</b>	<b>Designación</b>	<b>Entrada</b>	<b>Designación</b>
Inicio	I1	FC B (devuelto)	I9
Cortinas de Seguridad	I2	FC B (extendido)	I10
Paro	I3	FC C (extendido)	I11
Alineación (Stem)	I4	Presostato A	I12
Presencia (Body + Stem)	I5	Caudalímetro A	I13
Alineación (Handle)	I6	Presostato B	I14
Presencia (Handle)	I7	Caudalímetro B	I15
FC A (devuelto)	I8	Presostato Vacío	I16

Tabla 36. Designación de las salidas en el diagrama eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

<b>Salida</b>	<b>Designación</b>
Válvula de Seguridad	Q1
Válvula A	Q2
Válvula B	Q3
Válvula C	Q4
Válvula de Vacío	Q5

La figura 85 muestra el diagrama eléctrico.

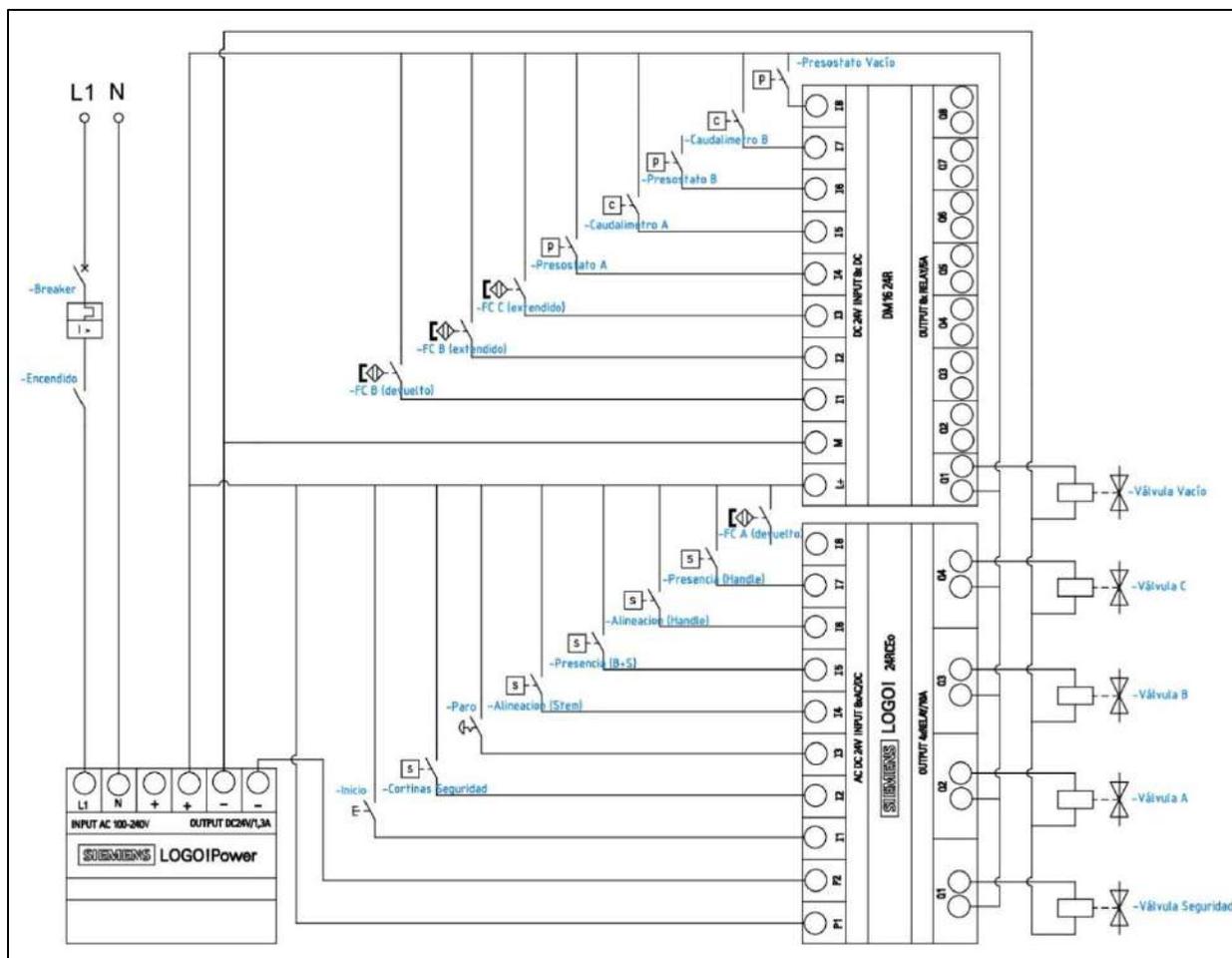


Figura 85. Diagrama eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 Programación del LOGO Soft Comfort V8

- Condiciones Iniciales

Existen una serie de condiciones que se deben cumplir para que la máquina realice el ensamble de los componentes, estas incluyen que los componentes se encuentren presentes y bien alineados y que los cilindros se encuentren en sus posiciones iniciales. Para comprobar el cumplimiento de estas condiciones se utilizan los sensores detallados en la sección anterior. Estos son:

- El sensor Alineación (Stem) no debe estar detectando pues eso indicaría que la pieza fue mal colocada.

- El sensor de Presencia (Body + Stem) debe estar detectando para confirmar que ya se ha colocado la pieza.
- El sensor Alineación (Handle) no debe estar detectando pues eso indicaría que la pieza fue mal colocada.
- El sensor Presencia (Handle) debe estar detectando para confirmar que ya se ha colocado la pieza.
- El sensor FC A (devuelto) debe estar detectando para confirmar que el cilindro se encuentra en la posición inicial.
- El sensor FC B (devuelto) debe estar detectando para confirmar que el cilindro se encuentra en la posición inicial.
- El sensor final de carrera C (devuelto) no es necesario pues si el cilindro no se encuentra en la posición correcta, es posible determinar esto con los sensores de presencia.

El código en escalera que representa lo anterior es el mostrado en la figura 86.

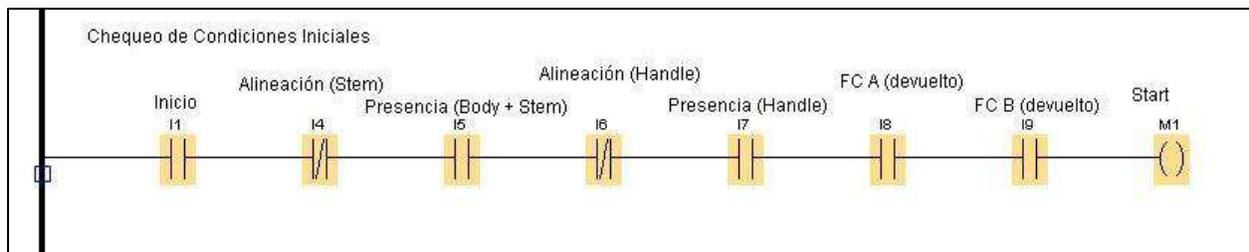


Figura 86. Chequeo de condiciones iniciales. Fuente: Elaboración propia.

Nótese que por facilidad de programación se crea una memoria M1 que se activa al oprimirse el botón de inicio y cumplirse las condiciones iniciales y se desactiva al dejar de oprimirse el botón de inicio. Esta memoria será utilizada más adelante para dar inicio a la secuencia de los cilindros.

- Condiciones de Paro

Cuando la máquina se encuentra lista para operar o en medio de la operación existen diferentes situaciones que deben provocar que la máquina se detenga y se reinicie al salir del estado de paro. Este paro se realiza dejando a la máquina sin presión, y las condiciones que producen paro son:

- El sensor Cortinas de Seguridad se encuentra detectando, ya sea porque el operario se encuentra colocando las piezas o porque lo activa durante la operación de la máquina.
- El botón de paro se encuentra oprimido.
- Los sensores Presostato A, Presostato B o Presostato Vacío se encuentran activos por una pérdida de presión en una de sus líneas.
- Los sensores Caudalímetro A o Caudalímetro B se encuentran activos por una caída del flujo en una de sus líneas.

El código en escalera que representa lo anterior queda como lo muestra la figura 87.

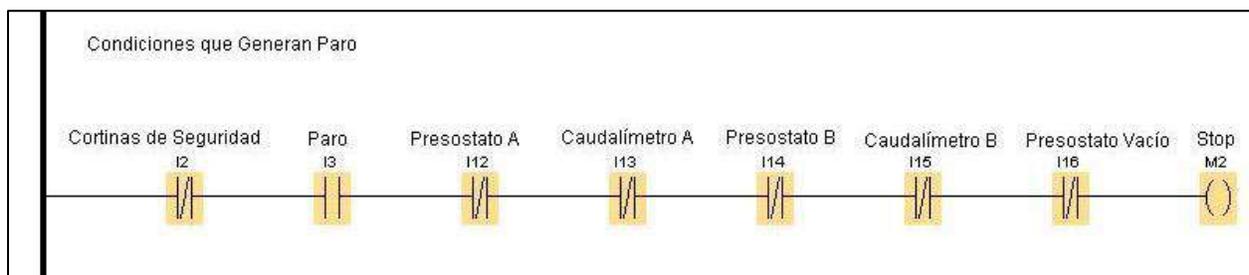


Figura 87. Condiciones que generan paro. Fuente: Elaboración propia.

Se crea una memoria que se encontrará activa siempre que una de las condiciones de paro se encuentre activas. Con esta memoria se controla la válvula de seguridad, activándola y liberando el sistema de presión durante las condiciones de paro según lo mostrado en la figura 88.

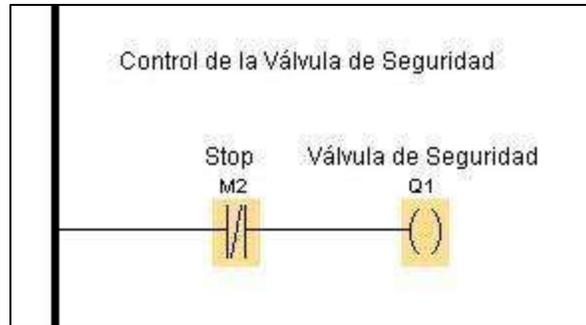


Figura 88. Control de la válvula de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

- Secuencia de los Cilindros

Para ensamblar los componentes de manera adecuada los cilindros neumáticos deben seguir una secuencia específica, también así el sistema de vacío se debe encender en los momentos que corresponda.

Los cilindros en condiciones iniciales se encuentran como se muestra en la figura 89.

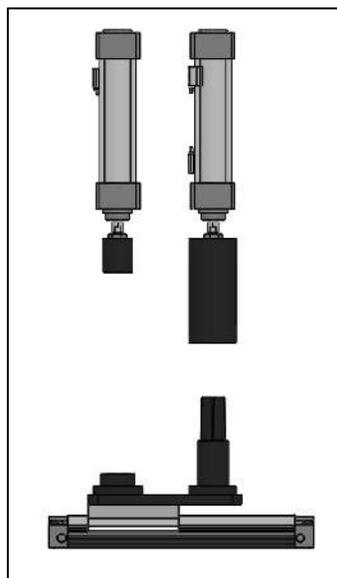


Figura 89. Posición inicial de los cilindros. Fuente: Elaboración propia.

Y siguen una secuencia de 6 etapas mostradas las tres primeras en la figura 90 y las siguientes en la figura 91, los racores de vacío aparecen en la secuencia en los momentos que este debe estar activo el eyector.

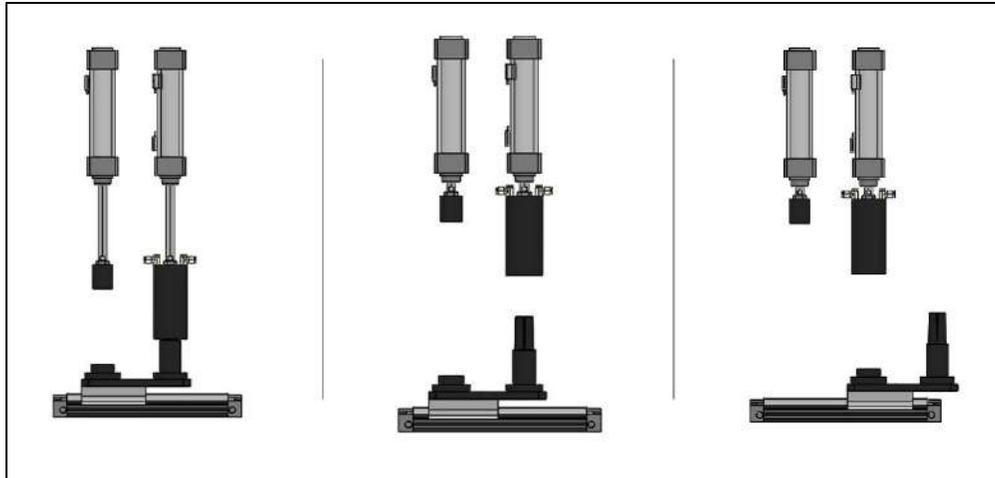


Figura 90. Primera mitad de la secuencia de los cilindros. Fuente: Elaboración propia.

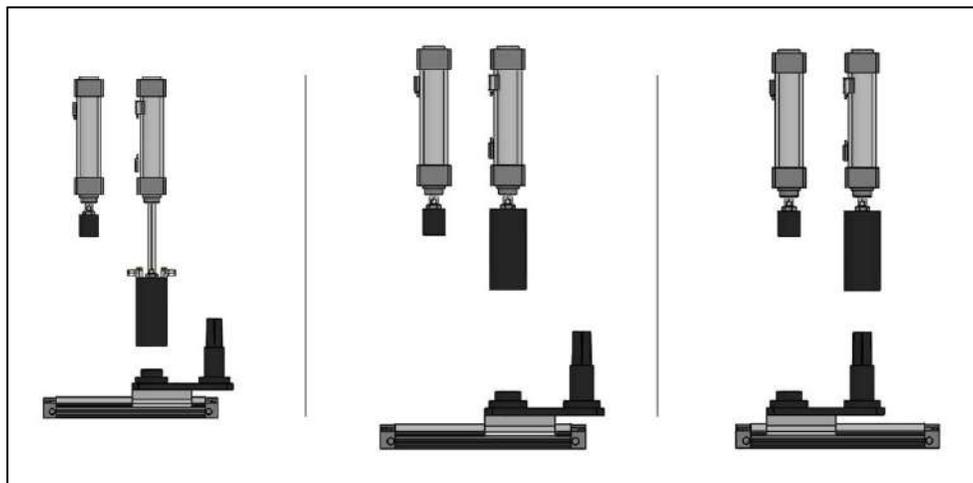


Figura 91. Segunda mitad de la secuencia de los cilindros. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar al final de la secuencia, los cilindros finalizan en condiciones iniciales para realizar el siguiente ensamble al presionar el botón inicio.

La secuencia que deben seguir los cilindro A, B y C es la mostrada en la tabla 37. Se utiliza como simbología “+” cuando el sensor debe extenderse y “-“ cuando debe devolverse.

Tabla 37. Secuencia de los cilindros. Fuente: Elaboración propia.

<b>Etapas</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
Secuencia	A+	A-	C+	B+	B-	C-
	B+	B-				

En cuanto al sistema de vacío este se debe mantener activo durante las primeras 4 etapas de la secuencia y apagado durante las últimas dos.

Considerando lo anterior y los sensores “final de carrera” que poseen los cilindros, así como el botón utilizado para dar inicio a la secuencia se genera el siguiente diagrama de secuencias. En él se puede observar la posición de los cilindros A, B y C durante las seis etapas de la secuencia, así como que válvula debe estar activa en cada momento para lograr esto y el valor que entregan los sensores según la posición de los cilindros.

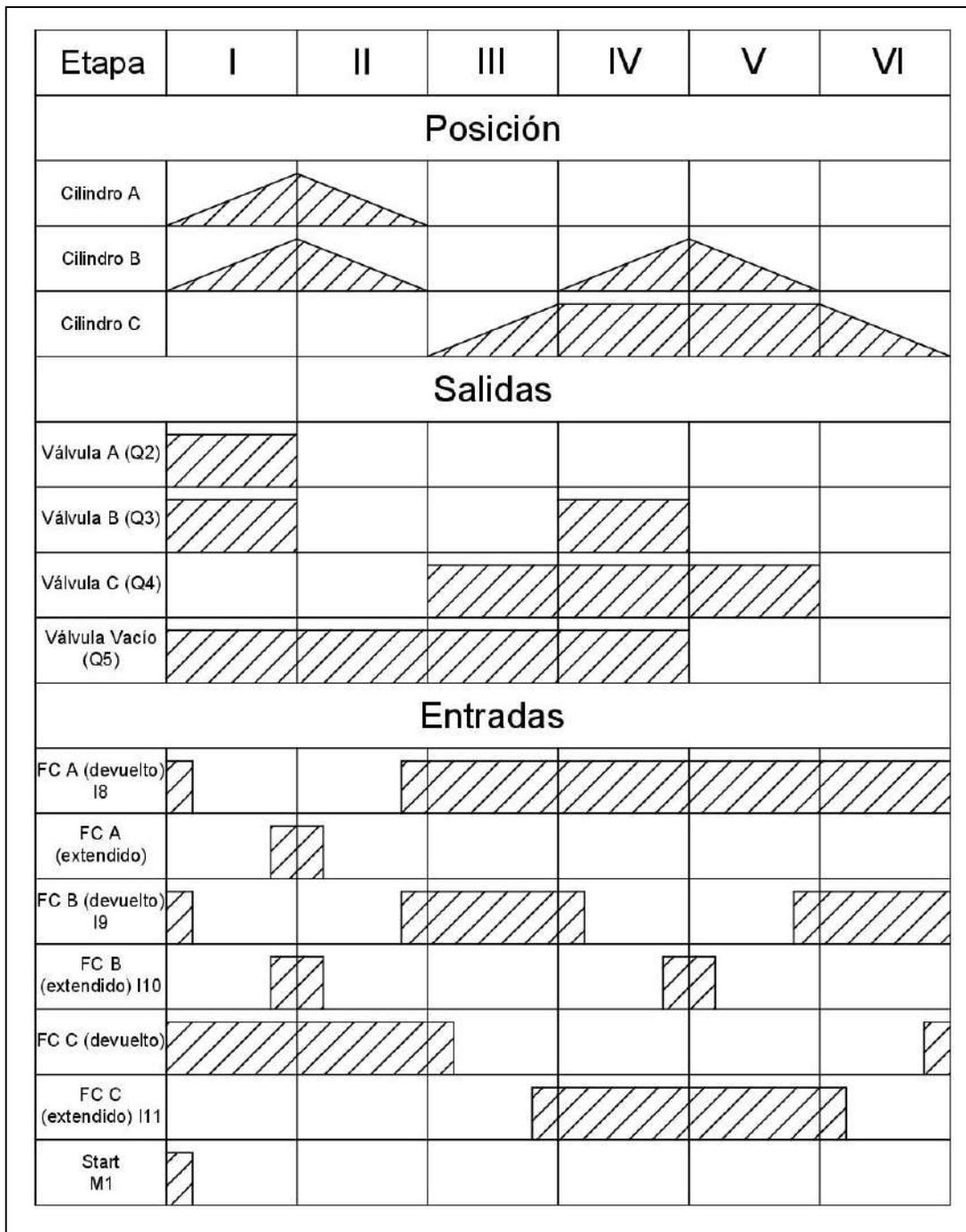


Figura 92. Diagrama de secuencias. Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama anterior de la figura 92 se sacan las ecuaciones para encender y apagar las válvulas de los cilindros y de vacío.

Para encender válvula A se debe presionar el botón de inicio y cumplir con las condiciones iniciales de la secuencia por lo que se utiliza la marca (M1) para activar esta válvula.

$$Q2_E = M1$$

Para apagar la válvula A se podrían utilizar tanto los finales de carrera de A extendido como el de B extendido por lo que se decide por uno de estos dos, específicamente el de B ya que también es utilizado más adelante y así se aprovecha en diferentes ocasiones y no solo en una. La salida debe negarse porque es una condición de desactivación.

$$Q2_A = I10$$

$$\overline{Q2_A} = \overline{I10}$$

El código en escalera en el software queda como se muestra en la figura 93.

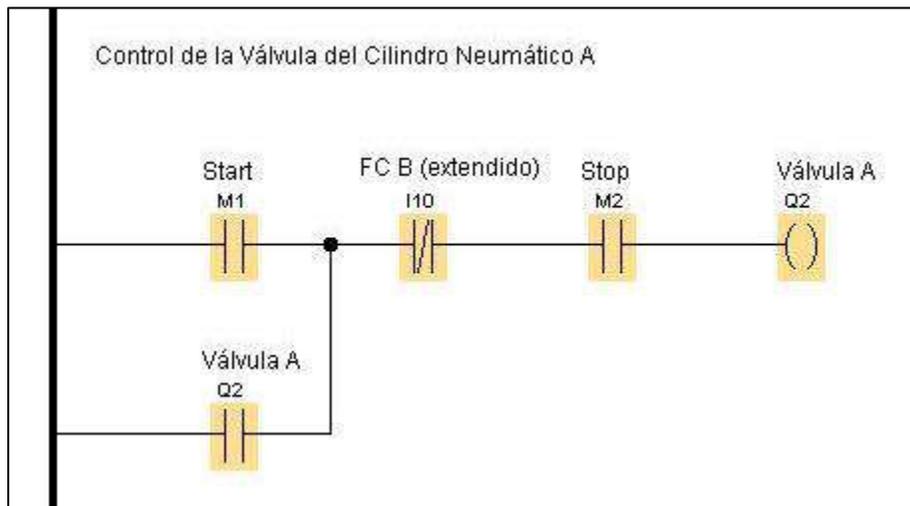


Figura 93. Control de la válvula del cilindro neumático A. Fuente: Elaboración propia.

Como la válvula B se debe encender en dos momentos se utilizan dos condiciones de encendido la primera es la marca de inicio al cumplirse las condiciones iniciales y se debe encender también cuando ocurre un flanco positivo del final de carrera C extendido.

$$Q3_E = M1 + \uparrow I11$$

Para apagar la válvula B se utiliza nuevamente el final de carrera B extendido. La salida debe negarse porque es una condición de desactivación.

$$Q3_A = I10$$

$$\overline{Q3_A} = \overline{I10}$$

El código en escalera en el software queda como se muestra en la figura 94.

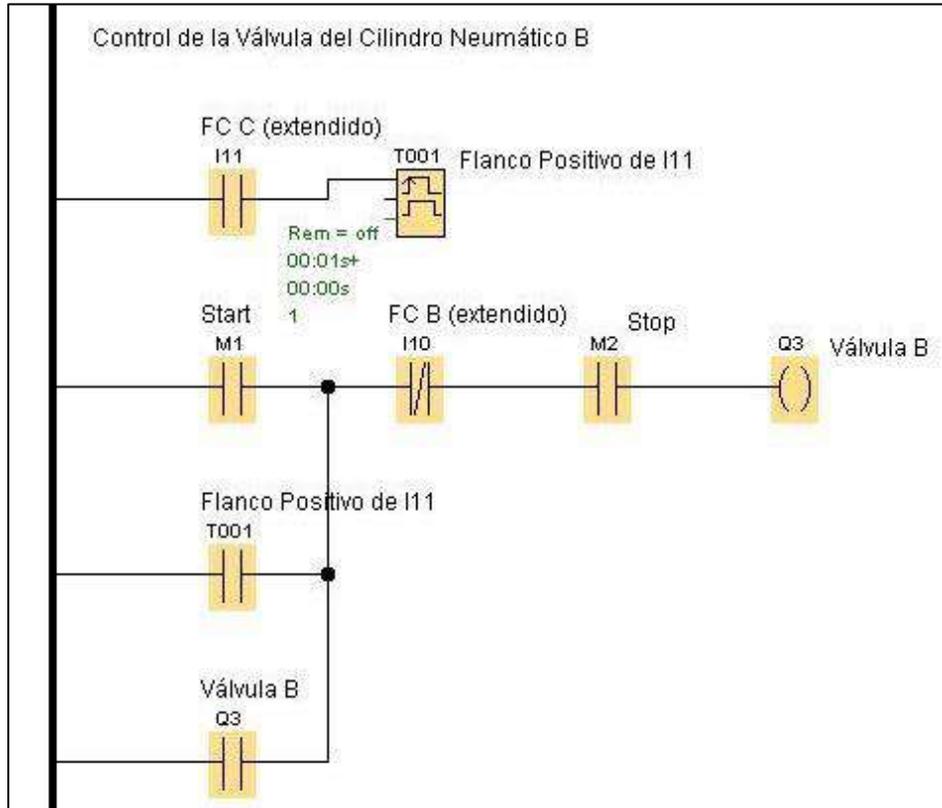


Figura 94. Control de la válvula del cilindro neumático B. Fuente: Elaboración propia.

El encendido de la válvula C inicialmente se propuso con un flanco positivo del final de carrera A devuelto sin embargo esto se cambió ya que al ocurrir una condición de paro de emergencia y el sistema volver a su posición inicial esta válvula se activaba por lo que se utilizó un flanco positivo de B devuelto cuando la válvula de vacío se encontraba encendida.

$$Q4_E = \uparrow I9 \cdot Q5$$

La válvula C se apagada cuando ocurre un flanco positivo de B devuelto y el final de carrera C extendido se encuentra activo. La salida debe negarse porque es una condición de desactivación.

$$Q_{4A} = \uparrow I9 \cdot I11$$

$$\overline{Q_{4A}} = \overline{\uparrow I9 \cdot I11} = \overline{\uparrow I9} + \overline{I11}$$

El código en escalera en el software queda como se muestra en la figura 95.

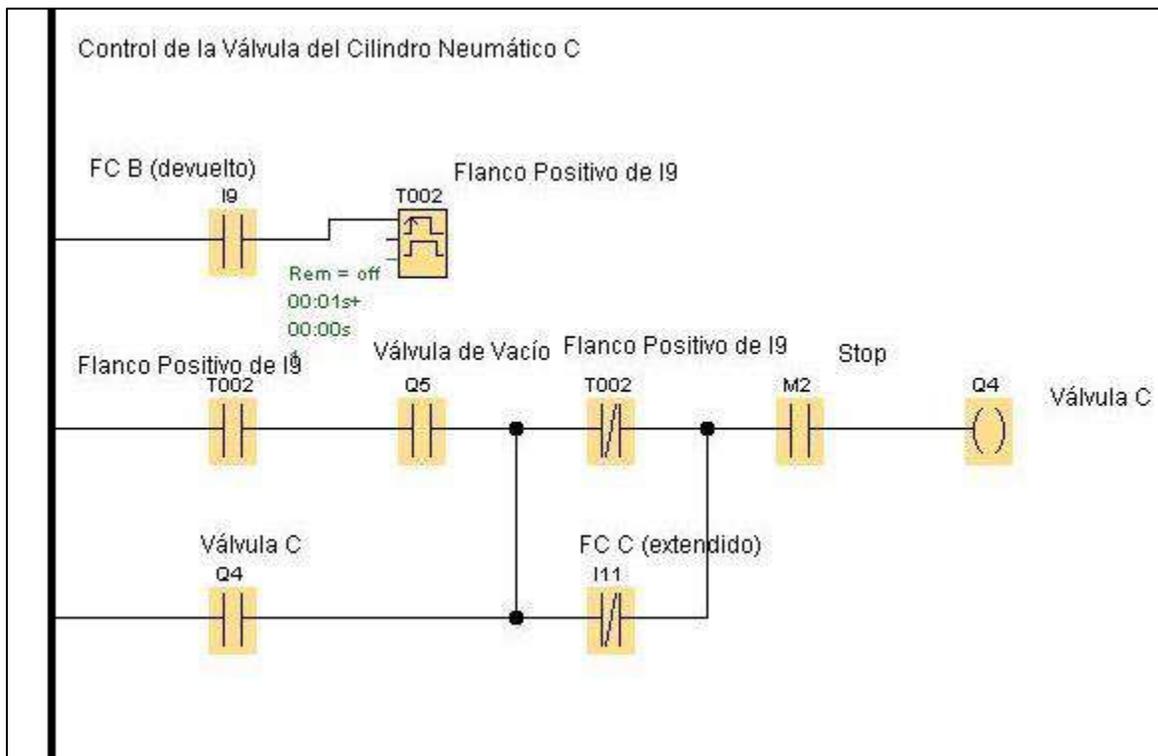


Figura 95. Control de la válvula del cilindro neumático C. Fuente: Realización personal.

La válvula de vacío se debe encender en un inicio por lo que se utiliza la marca de encendido.

$$Q_{5E} = M1$$

Para apagar la válvula de vacío se utilizan los finales de carrera B extendidos y C extendidos. La salida debe negarse porque es una condición de desactivación.

$$Q_{5A} = I10 \cdot I11$$

$$\overline{Q5_A} = \overline{I10} \cdot \overline{I11} = \overline{I10} + \overline{I11}$$

El código en escalera en el software queda como se muestra en la figura 96.

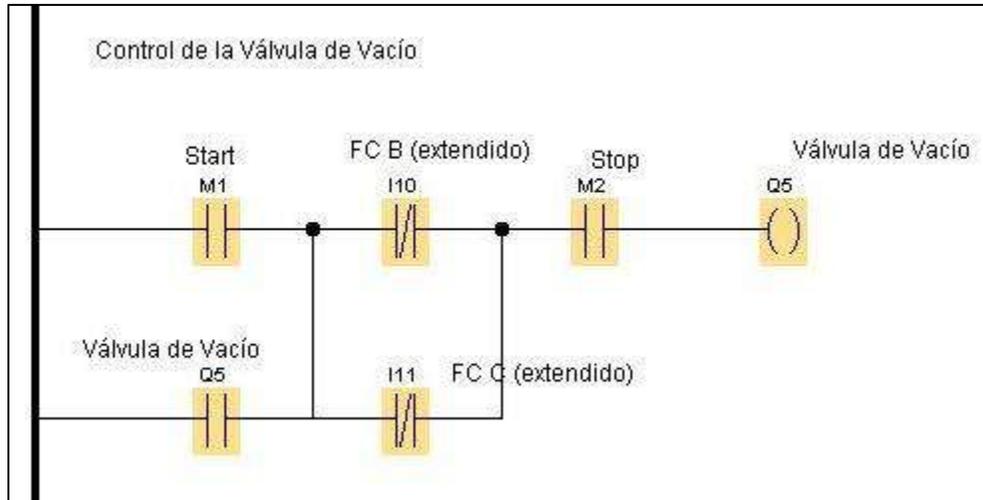


Figura 96. Control de la válvula de vacío. Fuente: Elaboración propia.

## 7 Análisis de la Solución

### 7.1 Validación del Sistema

El objetivo de este proyecto indica que se debe diseñar un sistema mecatrónico capaz de ensamblar los componentes y que mantenga la capacidad de producción de la línea, es decir, no debe generar un cuello de botella. En los tiempos mostrados en la tabla 2 se puede apreciar que, si se elimina el cuello de botella de las estaciones que cubre este proyecto, este, se encuentra en la estación 3 y corresponde a un tiempo de 30,99 segundos. Por lo tanto, el sistema diseñado debe realizar el ensamble de los componentes en un tiempo menor al de la estación 3. Sin embargo, como se dijo anteriormente la estación 2 cuenta con un tiempo irreducible, por lo cual es el tiempo objetivo de la línea y corresponde a 26,5 segundos.

Para realizar lo anterior se va a analizar las diferentes secciones que corresponden al funcionamiento de la máquina, por medio de las simulaciones de programación del controlador, simulaciones de movimiento del software Solidworks y las estimaciones de tiempo.

Según la hoja de datos de fabricante los cilindros se mueven en un rango de velocidad entre 50 mm/s y 1000 mm/s. Para garantizar el cumplimiento del objetivo aún en el caso más crítico se utiliza la velocidad más baja para las estimaciones de tiempo. Considerando que los tres cilindros tienen una carrera de 100 mm y utilizando la velocidad más baja se estima un tiempo aproximado de 2 s por movimiento de cilindro.

Las designaciones utilizadas en las figuras son acordes a las asignadas a las entradas y las salidas según la tabla 35 y la tabla 36 respectivamente.

Se divide el funcionamiento de la máquina en 8 secciones.

- Sección 1

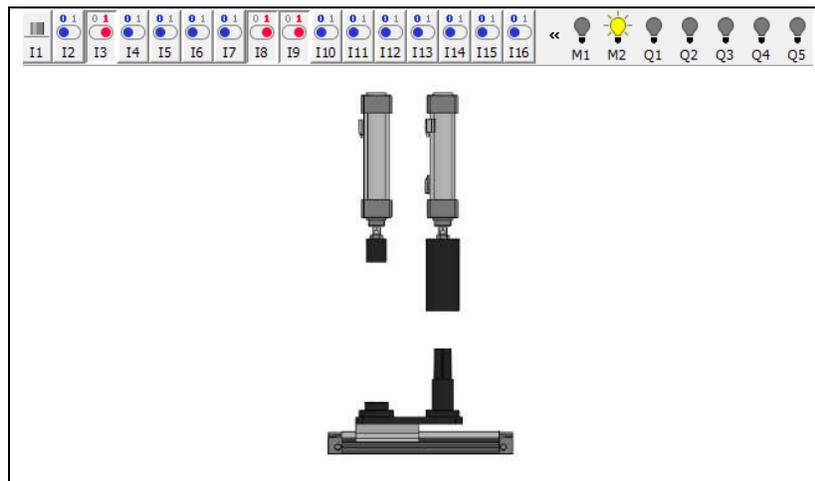


Figura 97. Sección 1. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección el sistema se encuentra encendido, pero en estado de espera para ser utilizado, solo si se ingresan los componentes adecuados de forma adecuada y no se incumple ninguna de las condiciones, el sistema podrá ser utilizado. En la figura 97 se puede observar el estado inicial de la máquina donde ninguna de las salidas se encuentra activa.

- Sección 2

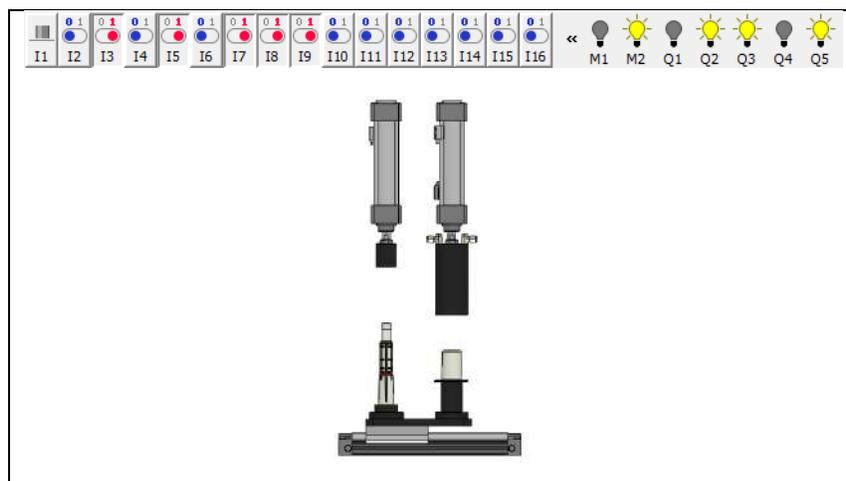


Figura 98. Sección 2. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección se da inicio al sistema, el operario toma los componentes de los contenedores respectivo y los coloca dentro la máquina, seguido a lo anterior procede a iniciar la máquina. En la figura 98 se puede apreciar que al estar activos los sensores

de presencia de los componentes, el sistema permite el inicio de la máquina activando las electroválvulas A y B y la del eyector de vacío.

- Sección 3

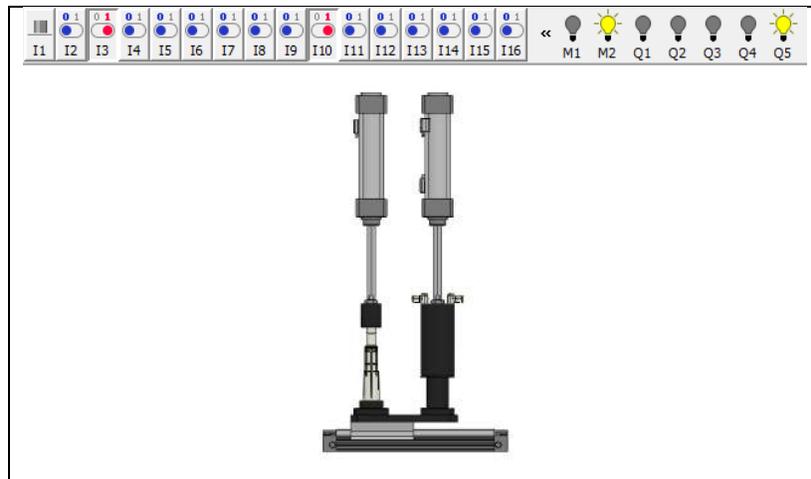


Figura 99. Sección 3. Fuente: Elaboración propia.

Los cilindros A y B se extienden. Al alcanzar su extensión máxima el cilindro A completa el ensamble del Body y el Stem, el cilindro B debido a su geometría y el eyector vacío es capaz de sostener el Handle. En la figura 99 se observa que al alcanzar sus extensiones máximas las electroválvulas A y B se apagan para devolver los cilindros, sin embargo, el eyector de vacío continúa encendido para sostener la pieza.

- Sección 4

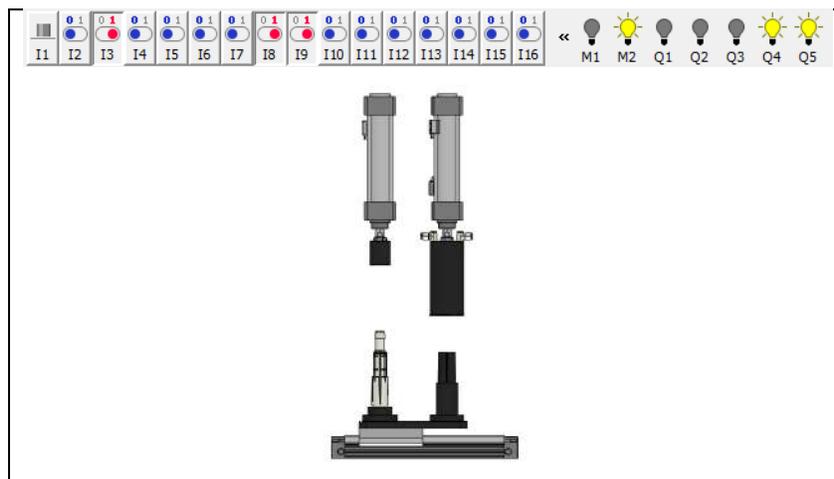


Figura 100. Sección 4. Fuente: Elaboración propia.

En la sección 4 ambos cilindros se devuelven, el cilindro B conteniendo al Handle. Al devolverse completamente se activa la electroválvula C como se muestra en la figura 100, lo que provoca que este cilindro se extienda. El eyector de vacío continúa encendido.

- Sección 5

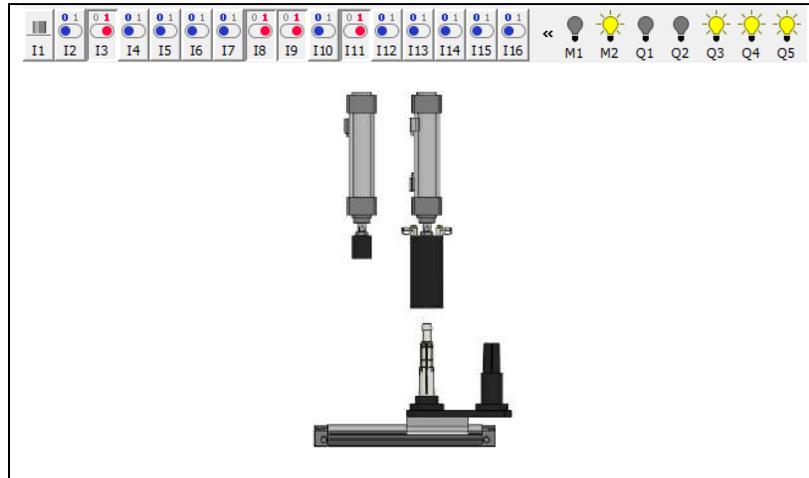


Figura 101. Sección 5. Fuente: Elaboración propia.

Cuando el cilindro C alcanza su máxima extensión se necesita que se mantenga en esta posición y que se extienda el cilindro B para terminar el ensamble. Por esta razón es que como se observa en la figura 101 las electroválvulas B, C y el eyector de vacío están activas.

- Sección 6

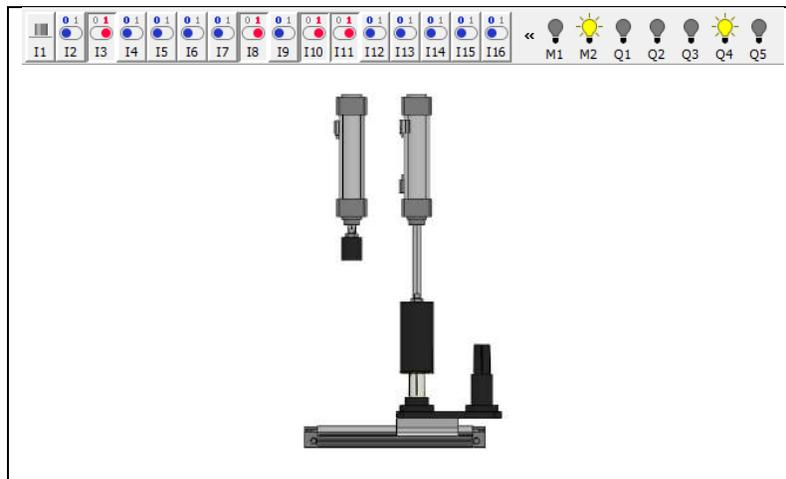


Figura 102. Sección 6. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 102 se puede observar que los codos que proporcionan vacío han desaparecido ya que se desea que el ensamble se mantenga en su posición, lo que también se ve reflejado en la electroválvula de vacío siendo apagada. De la misma manera se observa que la electroválvula del cilindro B también se ha apagado para que este se devuelva.

- Sección 7

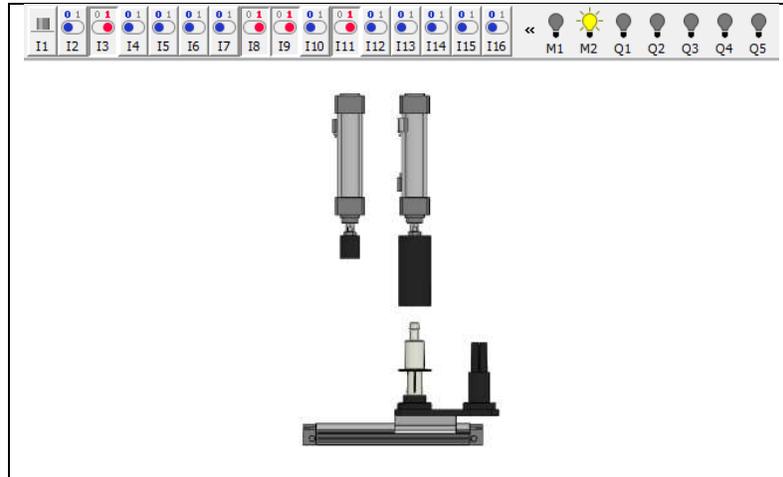


Figura 103. Sección 7. Fuente: Elaboración propia.

Al devolverse el cilindro B se apaga la electroválvula del cilindro C para que este se devuelva, tal y como se puede observar en la figura 103.

- Sección 8

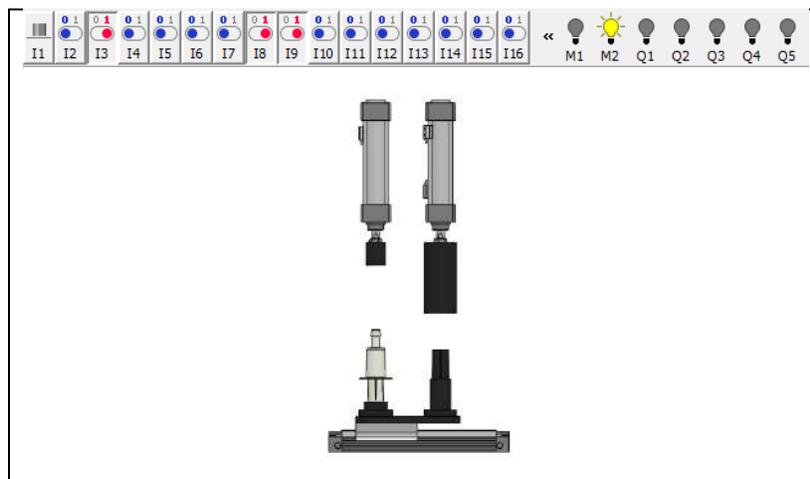


Figura 104. Sección 8. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección el cilindro ha vuelto a su posición original y como se muestra en la figura 104 es posible retirar el ensamble completado. El operario retira el ensamble de la máquina, lo revisa y lo coloca en una canoa. Tanto el operario como la máquina se encuentran listos para realizar el siguiente ensamble.

Tomando en cuenta lo anterior la tabla 38 muestra las estimaciones de tiempo para el cumplimiento del objetivo.

Tabla 38. Tiempos estimados de duración para la máquina. Fuente: Elaboración propia.

<b>Sección</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempo Estimado (s)</b>
1	N/A	N/A
2	El operario toma los componentes y los coloca en la máquina	6
	El operario activa la máquina	2
3	Extensión de los cilindros A y B	2
4	Devolución de los cilindros A y B	2
5	Extensión del cilindro C	2
6	Extensión del cilindro B	2
7	Devolución del cilindro B	2
8	Devolución del cilindro C	2
	El operario retira el ensamble completado, lo revisa y coloca en una canoa	6

La sumatoria de los tiempos anteriores correspondería a un total de 26 segundos, lo cual se encuentra por debajo de los 30,99 segundos permitidos y los 26,5 segundos de tiempo para la línea, validando el cumplimiento de los objetivos aún en el caso más crítico de operación de la máquina.

El caso menos crítico correspondería a la utilización de las velocidades máximas de los cilindros, sin embargo, en la vida real, estas velocidades deben ser determinadas

por un diseño de experimentos para poder calcular la mayor ganancia de tiempo esperada.

## 7.2 Análisis de Esfuerzos

Al activar la máquina para realizar los ensambles, los componentes entran en movimiento producto de las fuerzas que provocan los cambios en las presiones. Al ocurrir esto y entrar en contacto unos componentes con otros se producen esfuerzos en los componentes que pueden provocar deformaciones y hasta rupturas de estos.

Es por esta razón que se debe hacer un análisis de esfuerzos en los componentes más críticos que se encuentran sometidos a los mayores esfuerzos, para verificar que no vayan a fallar, en este caso corresponde a los cilindros neumáticos A y B.

Los cilindros neumáticos se pueden analizar en conjunto, ya que cuentan con los mismo materiales y geometría por lo cual sus características de falla son las mismas. Esto significa que solo se debe analizar de los cilindros, el que esté sometido al esfuerzo mayor, pues es el que determina la condición más crítica para ambos.

Tabla 39. Fuerzas máximas en los cilindros neumáticos A y B. Fuente: Elaboración propia.

Cilindro	Fuerza (N)	Comentarios
A	527	Fuerza máxima, condición crítica.
B	500	

De la tabla 39 se concluye que el análisis se debe hacer en condiciones de carga de 527 N, la cual actúa como se muestra en la figura 105 sobre el cilindro A, específicamente se analiza el vástago del cilindro ya que es la pieza que puede fallar en un cilindro.

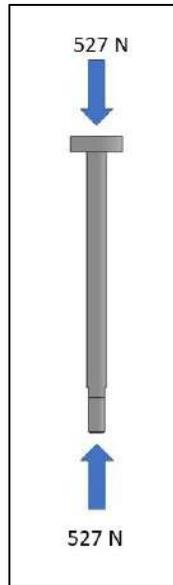


Figura 105. Cargas axiales en el vástago del cilindro neumático. Fuente: Elaboración propia.

Por medio del software de simulación de SolidWorks se realizan los análisis de elementos finitos sobre el componente, colocando las fuerzas que actúan sobre él como se muestra en la figura 106 y el material del que está compuesto como en la figura 107.

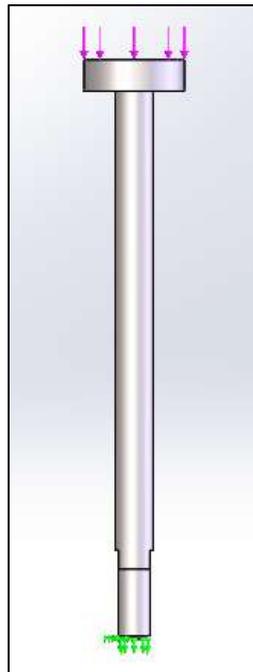


Figura 106. Colocación de las fuerzas que actúan sobre el vástago en software de simulación. Fuente: Elaboración propia.

1023 Carbon Steel Sheet (SS)	
<b>Young's Modulus:</b>	2.05e+011N/m <sup>2</sup>
<b>Yield Strength:</b>	2.82685e+008N/m <sup>2</sup>

Figura 107. Características del acero al carbono, material del vástago. Fuente: Software SolidWorks

Después de correr las simulaciones se obtienen como resultados los esfuerzos y deformaciones en el componente, además del factor de seguridad global bajo el que se encuentra la pieza. La figura 108 muestra los esfuerzos en el componente (izquierda) basados en el esfuerzo a la fluencia del material, además de las deformaciones ocurridas en este (derecha). De la simulación de esfuerzos se puede concluir por el código de colores mostrado que ningún elemento del componente sobrepasa el esfuerzo a la fluencia y por tanto no va a fallar, mientras que de la simulación de deformaciones se muestra que las deformaciones son pequeñas y no significativas pues la mayor corresponde a 0,004441 mm y no interfiere con el diseño propuesto. Por último, el software indica que, para la fluencia del material, el menor factor de seguridad presente en la pieza corresponde a 25, por lo que los rangos de operación para las fuerzas son bastante seguros.

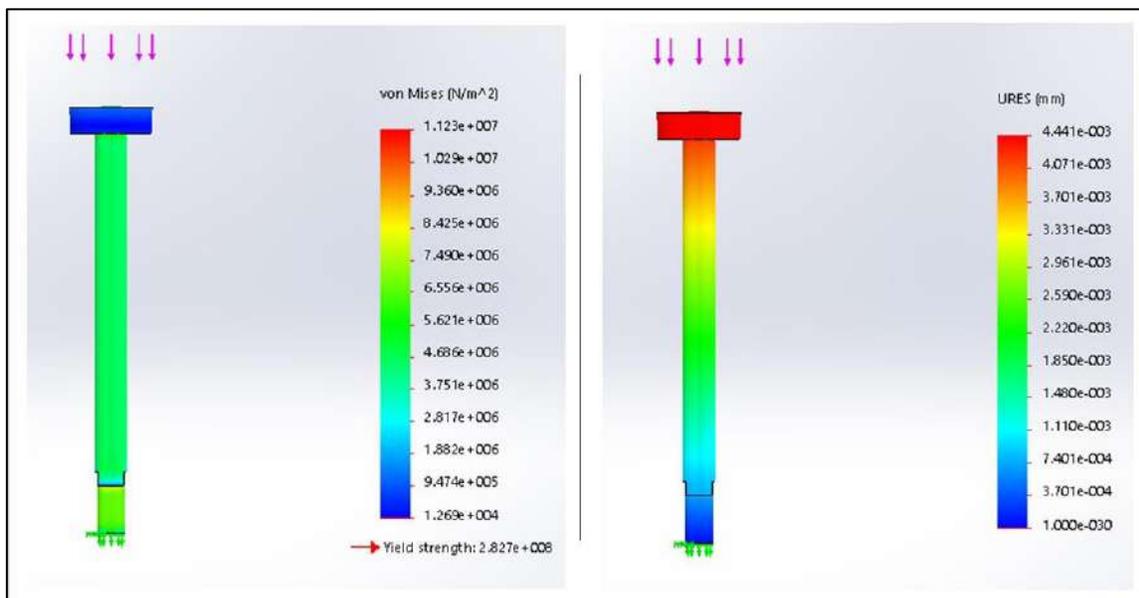


Figura 108. Simulaciones de esfuerzos y deformaciones en el componente. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3 Análisis Financiero

Hasta el momento se ha abordado una propuesta de diseño, sin embargo, se debe analizar la viabilidad del proyecto por medio de la recuperación de la inversión y la generación de ganancias. Como se dijo anteriormente el sistema mecatrónico es capaz de sustituir dos estaciones de trabajo por una sola, por lo que solo será necesario un operario para realizar las labores que antes se ocupaban dos.

Para construir la máquina es necesario adquirir todos los componentes descritos en el presente proyecto, los costos de estos se ven reflejados en la tabla 39.

Tabla 40. Costo de los componentes del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Fabricante	Precio Unitario (US\$)	Cantidad	Precio Total (US\$)
<b>Componentes Neumáticos</b>				
Equipo de Tratamiento	SMC	118	1	118
Electroválvula	SMC	100	5	500
Regulador + Presostato	SMC	69	3	207
Estrangulador + Flujostato	SMC	35	2	70
Eyector de Vacío	SMC	20	1	20
Filtro de Vacío	SMC	15	1	15
Cilindro sin Vástago	SMC	335	1	335
Cilindro Doble Efecto	SMC	110	2	220
Racor 1 – 4	SMC	10	1	10
Racor 1 – 2	SMC	6	1	6
Codo Orientable	SMC	3	2	6
Manguera de Poliuretano (20 m)	SMC	20	1	20

<b>Sensores y Botones</b>				
Sensores fotoeléctricos	OMRON	170	4	680
Cortinas de Seguridad	OMRON	1000	1	1 000
Botón Normalmente Abierto	OMRON	30	1	30
Botón Normalmente Cerrado	OMRON	30	1	30
Sensores Magnéticos	SMC	30	4	120
<b>Componentes del Controlador</b>				
LOGO Power	SIEMENS	80	1	80
LOGO 24 RCEo	SIEMENS	140	1	140
LOGO DM16 24R	SIEMENS	200	1	200
Gabinete Eléctrico	HOFFMAN	60	1	60
<b>Componentes Maquinados</b>				
Cabeza del Cilindro A	BENDIG MAQUINARIA	80	1	80
Cabeza del Cilindro B	BENDIG MAQUINARIA	140	1	140
Base para Body – Stem	BENDIG MAQUINARIA	120	1	120
Base para Handle	BENDIG MAQUINARIA	120	1	120
Adaptador para Bases	BENDIG MAQUINARIA	140	1	140
Parte 1 Carcasa	BENDIG MAQUINARIA	120	1	120
Parte 2 Carcasa	BENDIG MAQUINARIA	120	1	120

Parte 3 Carcasa	BENDIG MAQUINARIA	300	1	300
Tornillería (Todos los necesarios)	BENDIG MAQUINARIA	100	1	100

La sumatoria de los costos de los componentes da un total de US\$ 5 107, sin embargo, esto no representa el 100 % de los costos de la inversión ya que se deben considerar los costos de diseño y selección de componentes y circuitos, así como la programación del controlador. Como estas labores fueron realizadas por el autor de este trabajo se toman como costos el estipendio recibido por parte de la empresa durante los 5 meses que se estuvo dentro de ella, lo cual se ve reflejado en la tabla 40.

*Tabla 41. Costos de diseño, programación, entre otros, igual al salario recibido por parte de la empresa. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Salario Mensual (US\$)</b>	<b>Meses en la Empresa</b>	<b>Total (US\$)</b>
300	5	1 500

La sumatoria de los costos anteriores da como resultado US\$ 6 607, lo que se tomaría como el costo total de producción de la máquina. Sin embargo, considerando que pueden existir imprevistos a lo largo del proyecto se considera un 10 % de lo anterior que puedan cubrir cualquiera de estos casos obteniendo como costo total de la inversión US\$ 7 268.

Por datos suministrados por la empresa, cada operario de la línea MilliporeSigma representa un costo anual para la empresa de US\$ 11 000, en una línea que trabaja tres turnos diarios, es decir las 24 h, por lo que el ahorro producido por la máquina anualmente se ve reflejado en la tabla 41.

Tabla 42. Costos de producción en términos de personal utilizado de la producción actual vs la producción de automatización. Fuente: Elaboración propia.

	Cantidad de Operarios	Costo de Producción (US\$)
Producción Actual	2	66 000
Propuesta de Automatización	1	33 000

- Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno

Para justificar la realización de la inversión se deben calcular el valor actual neto y la tasa interna de retorno, por sus siglas VAN y TIR respectivamente. Considerando lo descrito anteriormente como inversión de US\$ 7 268 y ganancia anual de US\$ 33 000 se obtienen los flujos de caja – 7 268 / 33 000 para el primer año.

Consultando con el departamento de contabilidad de la empresa para este tipo de proyecto la empresa maneja una tasa de interés del 10 % por lo que la ganancia debe ser superior a este valor para que la inversión sea justificable.

$$VAN = -7\,268 + \frac{33\,000}{1 + 0.1}$$

$$VAN = 22\,732$$

Un valor actual neto positivo nos indica que la inversión es justificable ya que genera más ganancias que las esperadas por la empresa, para saber el valor de esta ganancia recurrimos a la tasa interna de retorno.

$$VAN = -7\,268 + \frac{33\,000}{1 + TIR} = 0$$

$$-7\,268 (1 + TIR) + 33\,000 = 0$$

$$-7\,268 TIR + 25\,732 = 0$$

$$TIR = 3,5$$

Una tasa interna de retorno de 350 % nos indica que tan superior es el interés generado por las ganancias en el primer año, por encima del 10 % esperado por la compañía.

- Retorno de la Inversión

Después de confirmar que la inversión es válida, se calcula el tiempo en el cual la inversión es recuperada, para esto se compara la inversión con la ganancia anual y se obtiene como resultado la cantidad de años que se dura recuperando la inversión.

$$\textit{T tiempo de Retorno} = \frac{7\,268 \text{ dólares}}{33\,000 \text{ dólares/año}}$$

$$\textit{T tiempo de Retorno} = 0,22 \text{ años}$$

$$\textit{T tiempo de Retorno} = 2,64 \text{ meses}$$

Del valor anterior concluimos que en menos de tres meses la inversión inicial es recuperada. Para dimensionar el impacto generado por el proyecto se calcula el retorno de la inversión o ROI por sus siglas en inglés, el cual muestra una relación entre la inversión y la ganancia del primer año.

$$\textit{ROI} = \frac{33\,000 - 7\,268}{7\,268}$$

$$\textit{ROI} = 3,54$$

Del valor anterior concluimos que solo en el primer año por cada US\$ 1 invertido se generan US\$ 3,54 de ganancia.

## 8 Conclusiones

1. Se evaluó el ensamble de la situación actual del proceso, la cual consiste en la utilización de dos prensas neumáticas por parte de dos operarios. Los resultados del proceso se pueden observar en el capítulo 4 del proyecto.
2. Se diseñó un sistema mecánico capaz de realizar el ensamble de las piezas en una sola estación de trabajo. Seleccionando componentes neumáticos como válvulas, cilindros y dispositivos para generar vacío basándose en las necesidades del sistema. También así diseñando las partes que fueran requeridas para la máquina, basándose en la geometría del sistema. Los planos del sistema se encuentran en el apéndice A.
3. Se diseñó un sistema capaz de garantizar la seguridad de los operarios en todo momento, que funciona de tal manera que al operario entrar en contacto con la máquina se quita la presión del sistema por medio de una electroválvula y cuenta con un sistema de paro de emergencia en caso de que sea necesario recurrir a este.
4. Con el fin de realizar el ensamble de manera correcta, se diseñó el sistema de control por medio de la utilización de un LOGO y los respectivos sensores que permiten conocer el estado de la máquina y garantizar la correcta secuencia de los cilindros, así como bloquear el funcionamiento de la máquina ante situaciones no conformes con lo estipulado.
5. Se realizó un análisis financiero con el fin de garantizar la viabilidad de la inversión, la cual se demostró por medio del cálculo de la tasa interna de retorno y el valor actual neto y posee un tiempo de retorno de 2,64 meses.

## 9 Recomendaciones

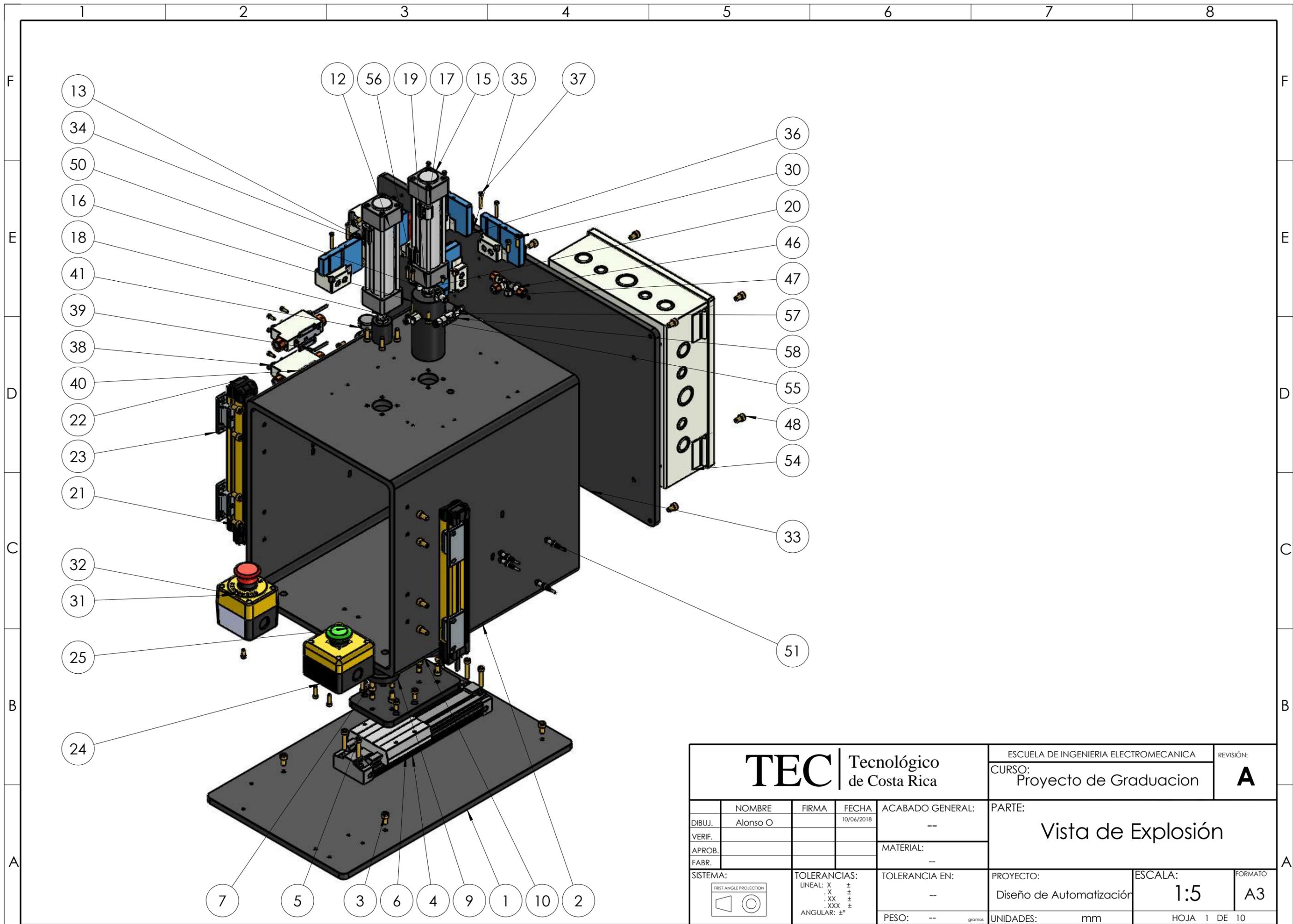
- Como toda máquina con movimientos mecánicos, los componentes sufren desgastes por su utilización diaria, lo que puede reducir la vida útil del sistema. La realización de un plan de mantenimiento periódico alarga la vida de la máquina como de sus componentes, ahorrándole costos a la empresa.
- Tener un inventario en la bodega de los componentes que pueden generar fallas comunes con el fin de reducir los tiempos de paro de la máquina al mínimo. Estos componentes pueden ser los sensores fotoeléctricos, electroválvulas y tubería.
- Todos los elementos que forman parte de la máquina deben ser acordes para trabajar en condiciones de cuarto limpio ISO 8, con el fin de no generar contaminación que pueda dañar los componentes producidos dentro de este.

## 10 Bibliografía

- Moreno, M. (sf.). *Introducción a la Neumática*. Recuperado en <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccinalaNeumtica.pdf>
- Landín, P. *Neumática e hidráulica*. Recuperado en [http://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/Tema\\_Neum%C3%A1tica.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/Tema_Neum%C3%A1tica.pdf)
- Moreno, M. (sf.). *Controlador Lógico Programable (PLC)*. Recuperado en <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>
- Shigley, J.E. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México, Edit. Mc Graw Hill.
- MedPlast. (2017). MedPlast Innovative Solutions for Healthcare. Recuperado en <https://medplastgroup.com/>
- Merck KGaA. (2017). *Conector Lynx S2S para conexiones estéril-estéril*. Recuperado en [https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Lynx-S2S-Connector-for-sterile-to-sterile-connection,MM\\_NF-C9502?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F&bd=1](https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Lynx-S2S-Connector-for-sterile-to-sterile-connection,MM_NF-C9502?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F&bd=1)
- Millipore Corporation. (2011). *Lynx S2S Connector. Data Sheet, Merck Millipore*. Recuperado en: [https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Lynx-S2S-Connector-for-sterile-to-sterile-connection,MM\\_NF-C9502?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F&bd=1](https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Lynx-S2S-Connector-for-sterile-to-sterile-connection,MM_NF-C9502?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F&bd=1)
- Dassault Systemes. (2017). *Solidworks*. Recuperado en <http://www.solidworks.com>
- M.Moreno. srf. *INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA*. Wilde, Buenos Aires, Argentina. Automación Micromecánica s.a.i.c. Recuperado de: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccinalaNeumtica.pdf>
- Balcells, J., Romeral, J.L. (1997). *AUTÓMATAS PROGRAMABLES*. España: Marcombo.
- IES Villalba Hervás. (2009). *Neumática*. Recuperado de: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/neumatica.pdf>
- Pallás, R. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. España: Marcombo

## **11 Anexos**

### **11.1 Anexo A: Planos de la máquina**

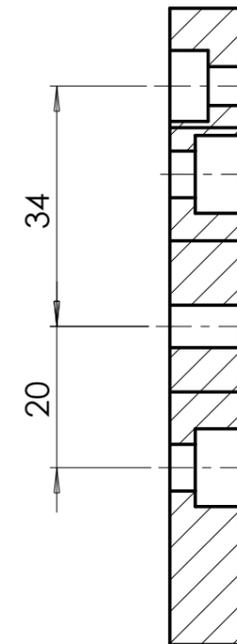
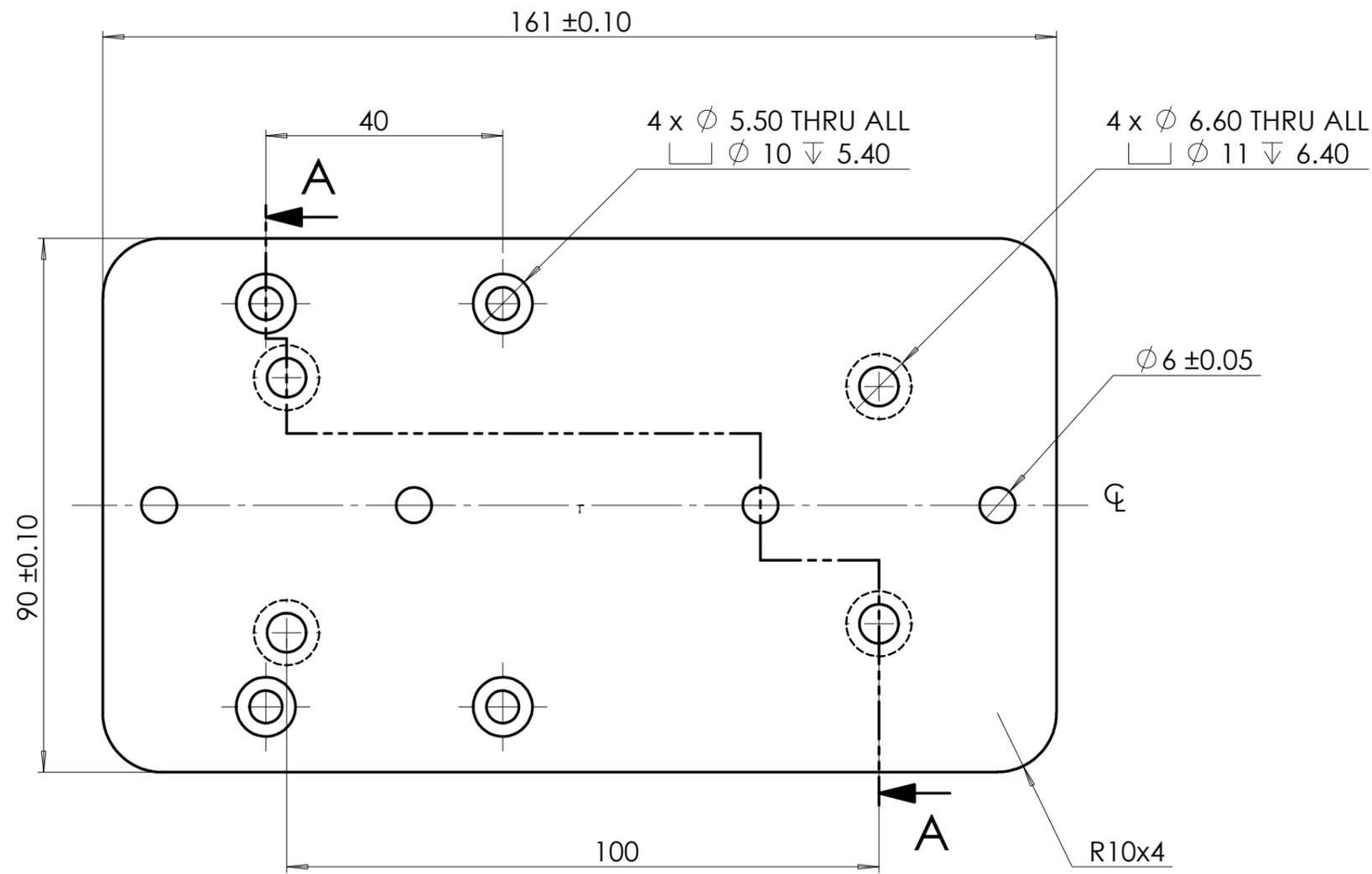


<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduacion		<b>A</b>
DIBUJ. Alonso O				ACABADO GENERAL: --		PARTE: Vista de Explosión
VERIF.				MATERIAL: --		
APROB.				TOLERANCIA EN: --		
FABR.				PESO: -- gramos		
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		PROYECTO:		ESCALA:
		LINEAL: X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		Diseño de Automatización		FORMATO: A3
UNIDADES: mm				HOJA 1 DE 10		

ITEM NO.	QTY.	PART NO.
1	1	Piso
2	1	Carcasa
3	16	EN ISO 4762 M6 x 12 - 12N
4	1	Body
5	4	EN ISO 4762 M5 x 30 - 22N
6	1	Slide
7	1	Base 1
8	8	EN ISO 4762 M5 x 12 - 12N
9	1	Base 2
10	1	Base 3
11	4	DIN EN 22340 - B - 6x12 x 1.6 - St
12	1	_MDB32_100Z_0_BODY_2
13	1	_MB32_M9N_SM_8
14	1	_MB32_M9N_SW_10
15	1	Cuerpo B
16	8	EN ISO 4762 M5 x 16 - 16N
17	2	_MB32_100Z_ROD_4
18	1	Cabeza del Cilindro A
19	1	Cabeza 2
20	2	_MB32_NT_03_NUT_6
21	2	F3SG_4RA0240_14_D_BASE
22	2	F3SG_4RA0240_14_CAP
23	4	F39_LGF
24	1	CajaInicio
25	1	A22NZ_BM[]_N[]A_BASE
26	1	A22NZ_BM[]_N[]A_NUT
27	1	A22NZ_H_01
28	1	A22NZ_H_01_LEVER
29	3	A22NZ_S_G1[]
30	6	EN ISO 4762 M4 x 16 - 16N
31	1	A22E_M_01B
32	1	A22Z_3466_1
33	1	Tapa 2
34	1	AC20B-N01G-V-A
35	5	_SY30M_27_1_W1_01N_2
36	5	_SY3100_51_4
37	12	EN ISO 4762 M3 x 25 - 18N
38	2	_PFMB7201S_N02_0_BODY_2
39	2	_ZS_33_D_PFMB7201_LEAD_4
40	2	_ZS_33_MS_PFMB7201_B_6

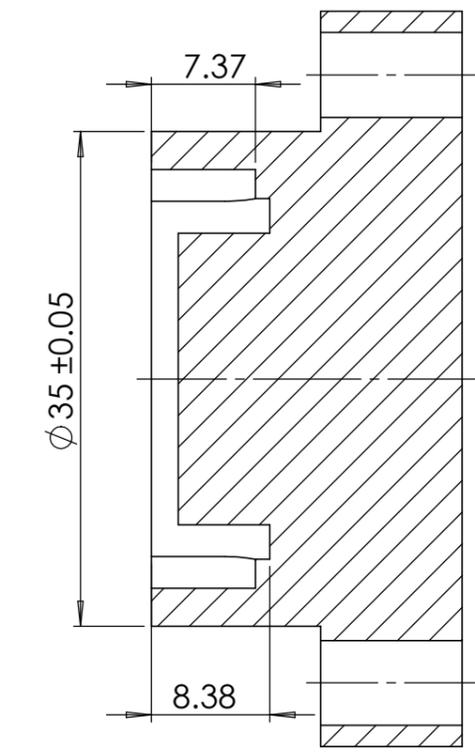
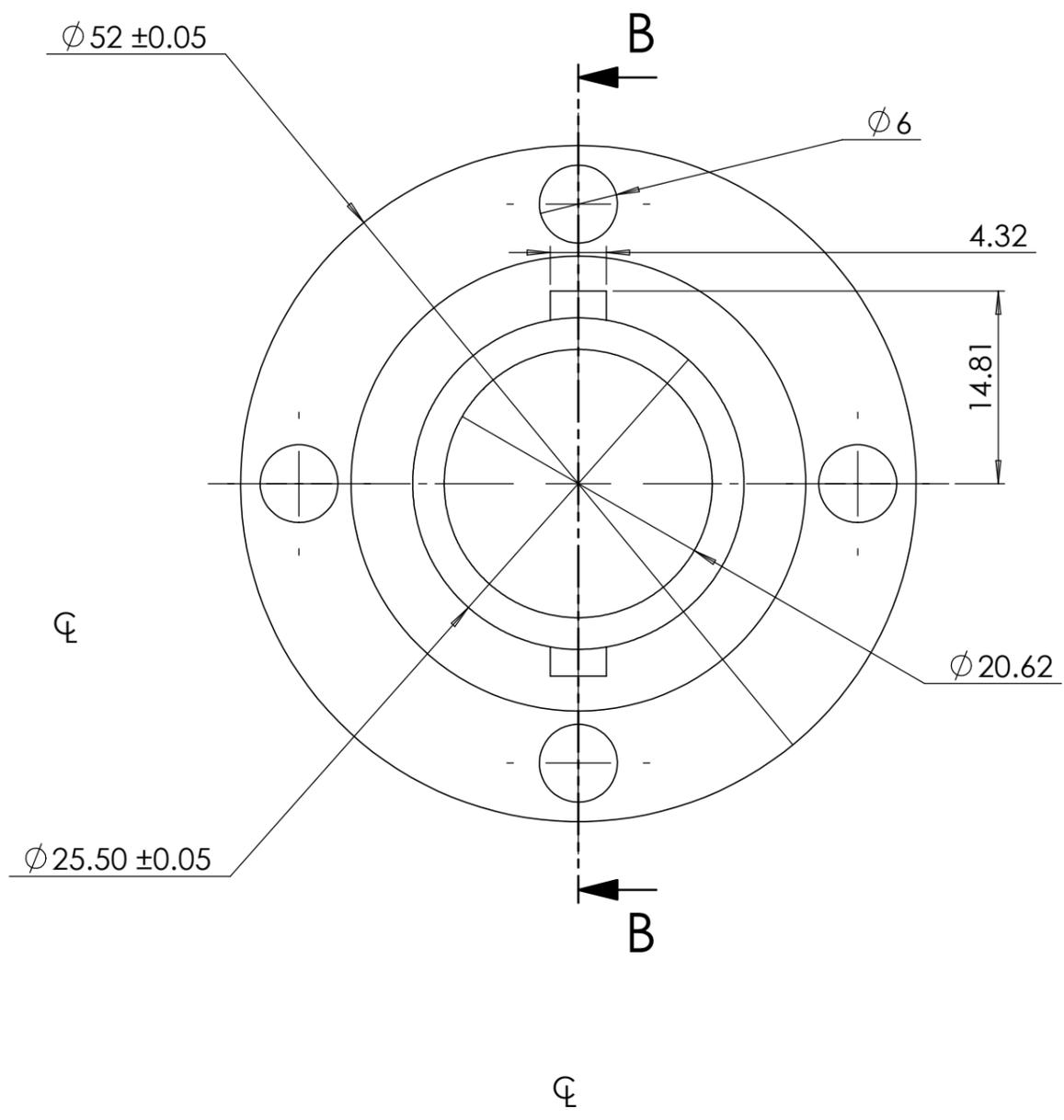
41	3	_IR1020_N01BEB_A_0_BODY_4
42	3	_ISE30A_N01_P_ML_IR1_A_6
43	3	_IR10P_501AS_IR_A_8
44	8	EN ISO 4762 M4 x 10 - 10N
45	8	EN ISO 4762 M3 x 10 - 10N
46	1	_ZH05DSA_N01_N01_N01_0_BODY_INCH_2
47	1	_ZH2_BK1A_1_A_ZH_NEW_4
48	8	EN ISO 4762 M6 x 10 - 10N
49	1	Racor14
50	2	Codo
51	4	E3T_CT14_BASE_EMITTER
52	16	E3T_CT14_NUT
53	4	E3T_CT14_BASE_RECEIVER
54	1	Gabinete
55	1	Racor1a2
56	2	EN ISO 4762 M3 x 16 - 16N
57	1	_ZFC33_BODY_2
58	1	_ZFC3_BRACKET_4
59	1	Body1
60	1	Handle
61	1	Stem
62	1	oring
63	2	DIN 7991 - M3 x 10 --- 6.8N

<h1>TEC</h1> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: <h2>Tabla de Materiales</h2>	
VERIF.	Alonso O.		10/06/2018	--		
APROB.				MATERIAL:		
FABR.				--		
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:
		LINEAL: X ± .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		--	Diseño de Automatización	FORMATO
				PESO: -- gramos	UNIDADES:	<b>A3</b>
						HOJA 2 DE 10



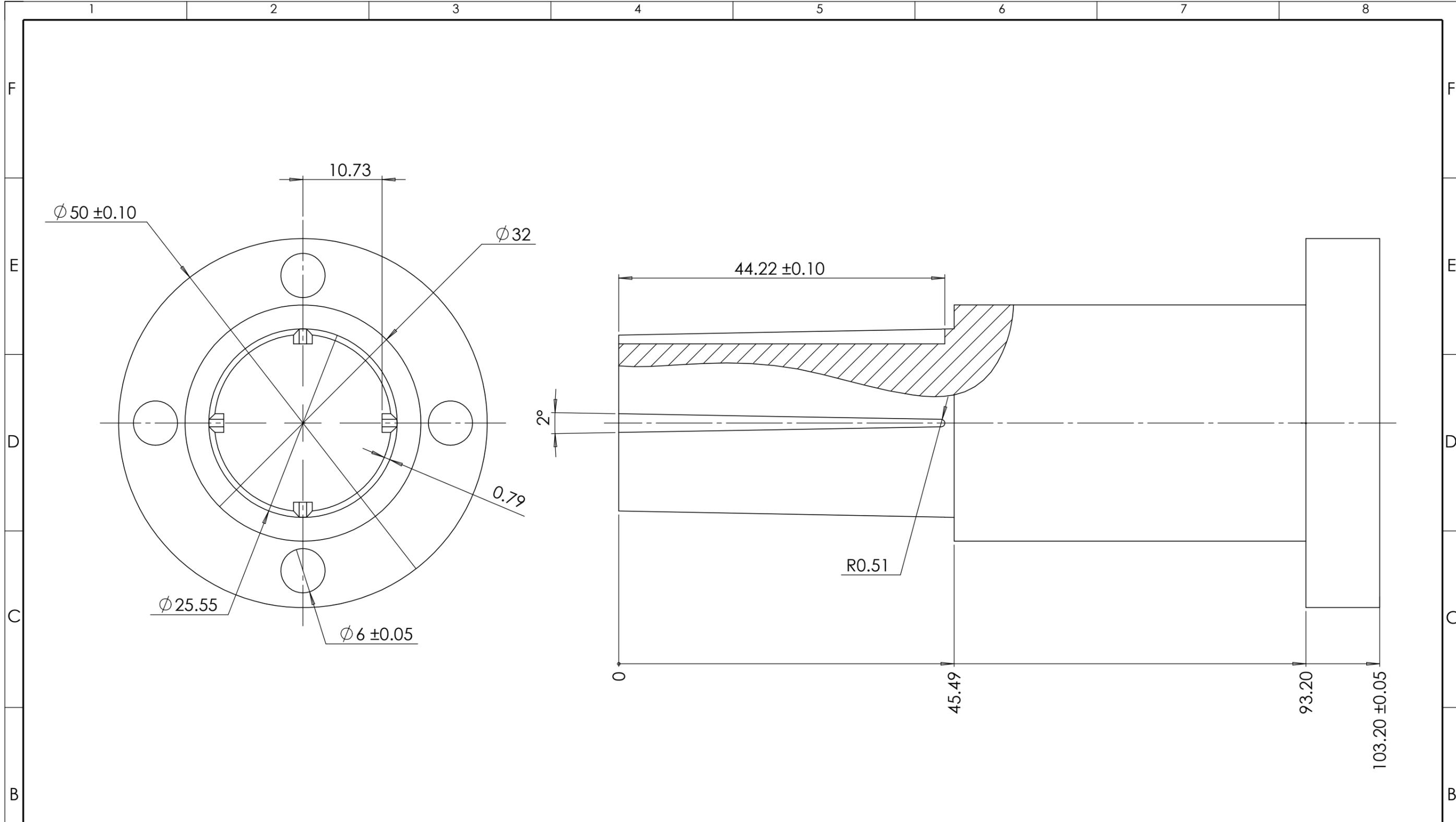
**SECTION A-A**  
 SCALE 1:1

<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:	
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>	
DIBUJ.	NOMBRE Alonso O.	FIRMA	FECHA 10/06/2018	ACABADO GENERAL: --	PARTE:  <h2 style="text-align: center;">Base 1</h2>		
VERIF.				MATERIAL: --			
APROB.							
FABR.							
SISTEMA: 		TOLERANCIAS: LINEAL: X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		TOLERANCIA EN: --	PROYECTO: Diseño de Automatización	ESCALA: 1:1	FORMATO A3
				PESO: -- gramos	UNIDADES: mm	HOJA 3 DE 10	

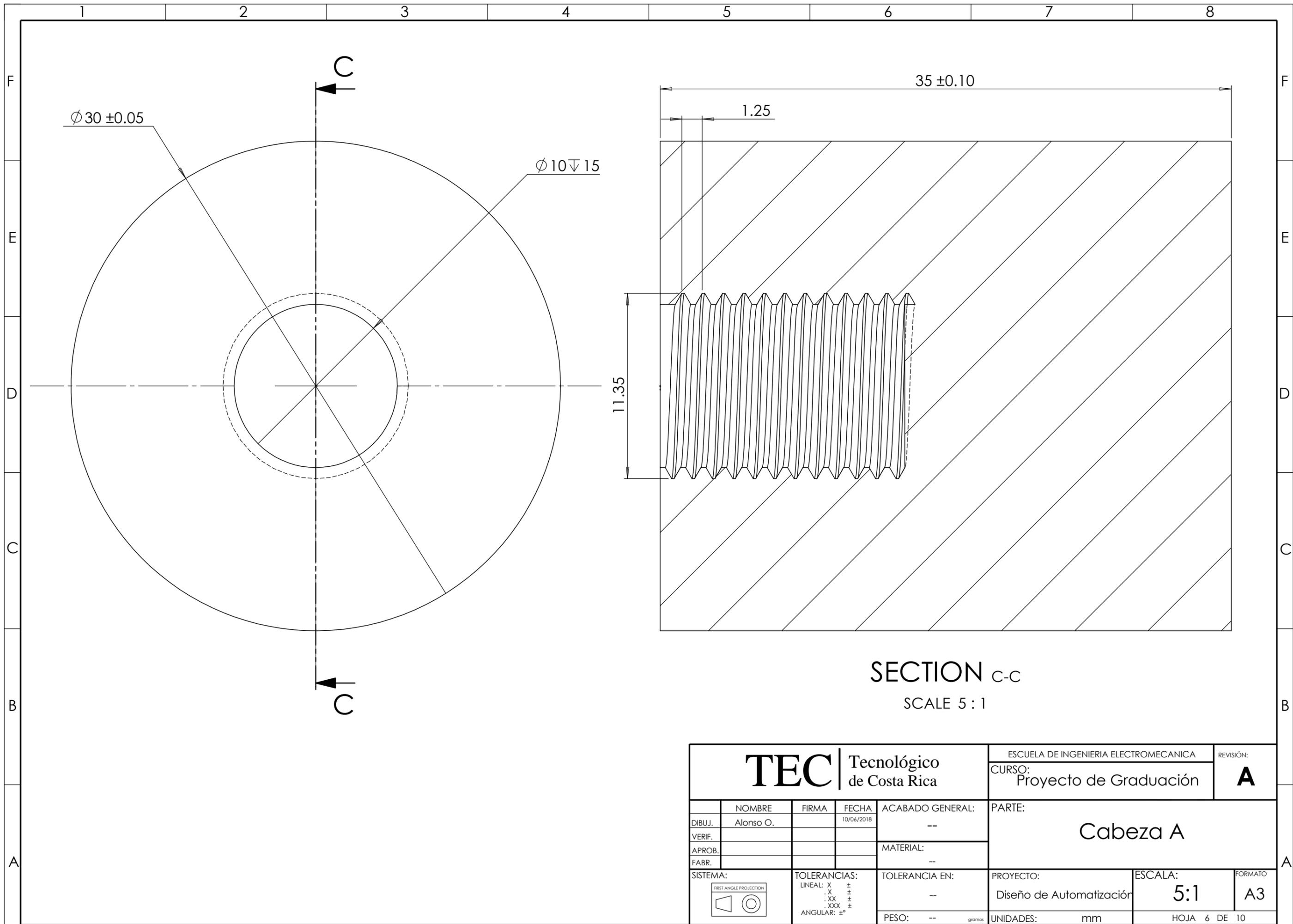


SECTION B-B

<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:	
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>	
DIBUJ.	NOMBRE Alonso O.	FIRMA	FECHA 10/06/2018	ACABADO GENERAL: --	PARTE:  <b>Base 2</b>		
VERIF.				MATERIAL: --			
APROB.							
FABR.							
SISTEMA: 		TOLERANCIAS: LINEAL: X ± .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		TOLERANCIA EN: --	PROYECTO: Diseño de Automatización	ESCALA: <b>2:1</b>	FORMATO <b>A3</b>
				PESO: -- gramos	UNIDADES: mm	HOJA 4 DE 10	

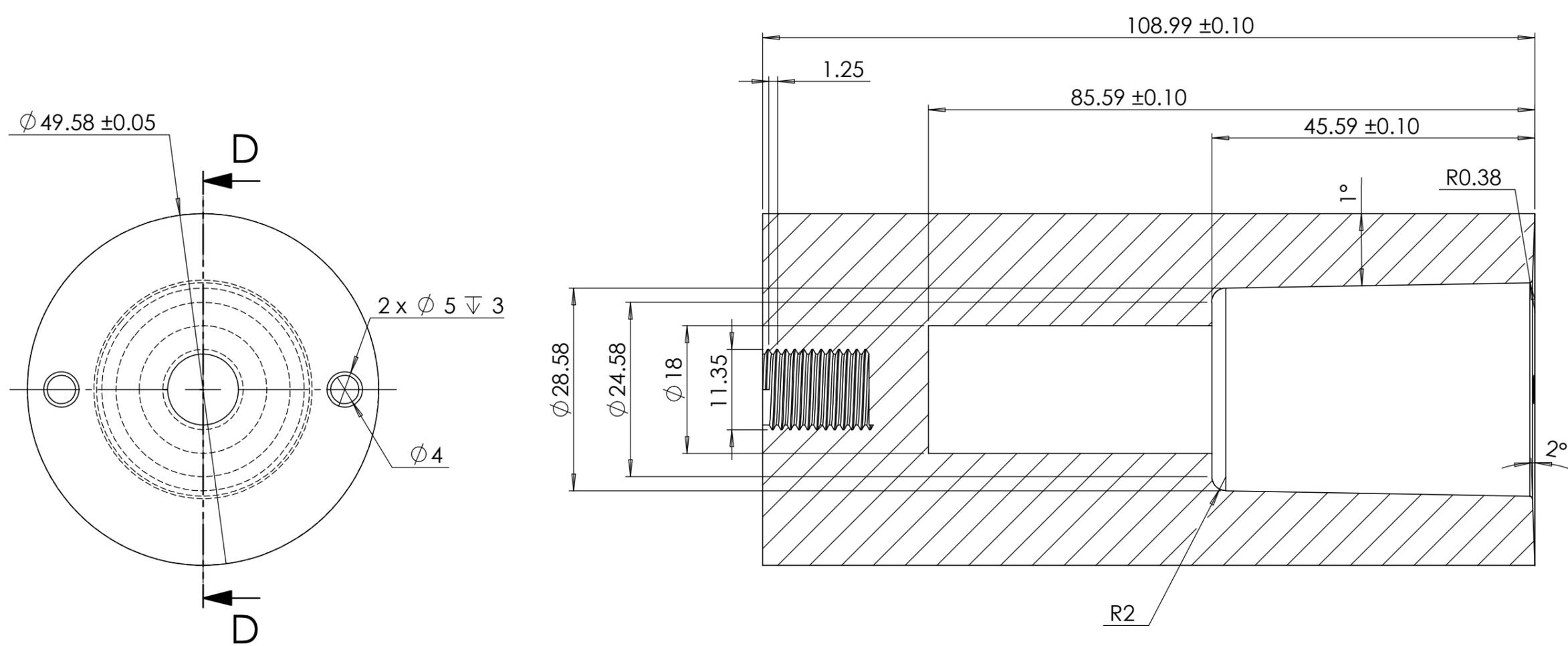


<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:	
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>	
DIBUJ.	NOMBRE Alonso O.	FIRMA	FECHA 10/06/2018	ACABADO GENERAL: --	PARTE:  <b>Base 3</b>		
VERIF.				MATERIAL: --			
APROB.							
FABR.							
SISTEMA: 		TOLERANCIAS: LINEAL: X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		TOLERANCIA EN: --	PROYECTO: Diseño de Automatización	ESCALA: <b>2:1</b>	FORMATO: <b>A3</b>
				PESO: -- gramos	UNIDADES: mm	HOJA 5 DE 10	



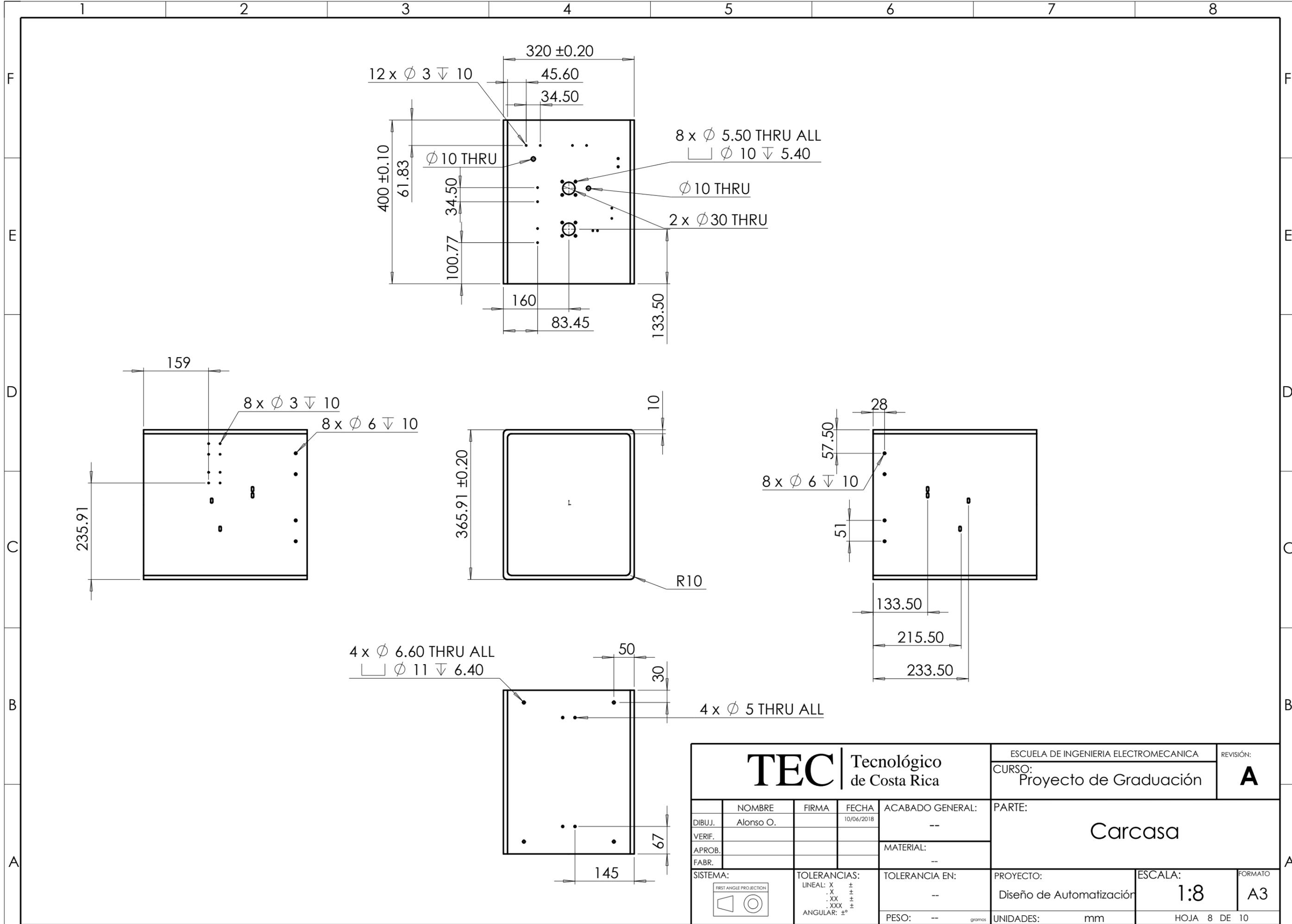
SECTION C-C  
SCALE 5 : 1

<b>TEC</b>   Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>
				PARTE: Cabeza A		
NOMBRE: Alonso O. FIRMA: FECHA: 10/06/2018		ACABADO GENERAL: --		PROYECTO: Diseño de Automatización ESCALA: 5:1 FORMATO: A3		
DIBUJ.: VERIF.: APROB.: FABR.:		MATERIAL: --				
SISTEMA:		TOLERANCIAS: LINEAL: X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		TOLERANCIA EN: -- PESO: -- gramos		UNIDADES: mm HOJA 6 DE 10

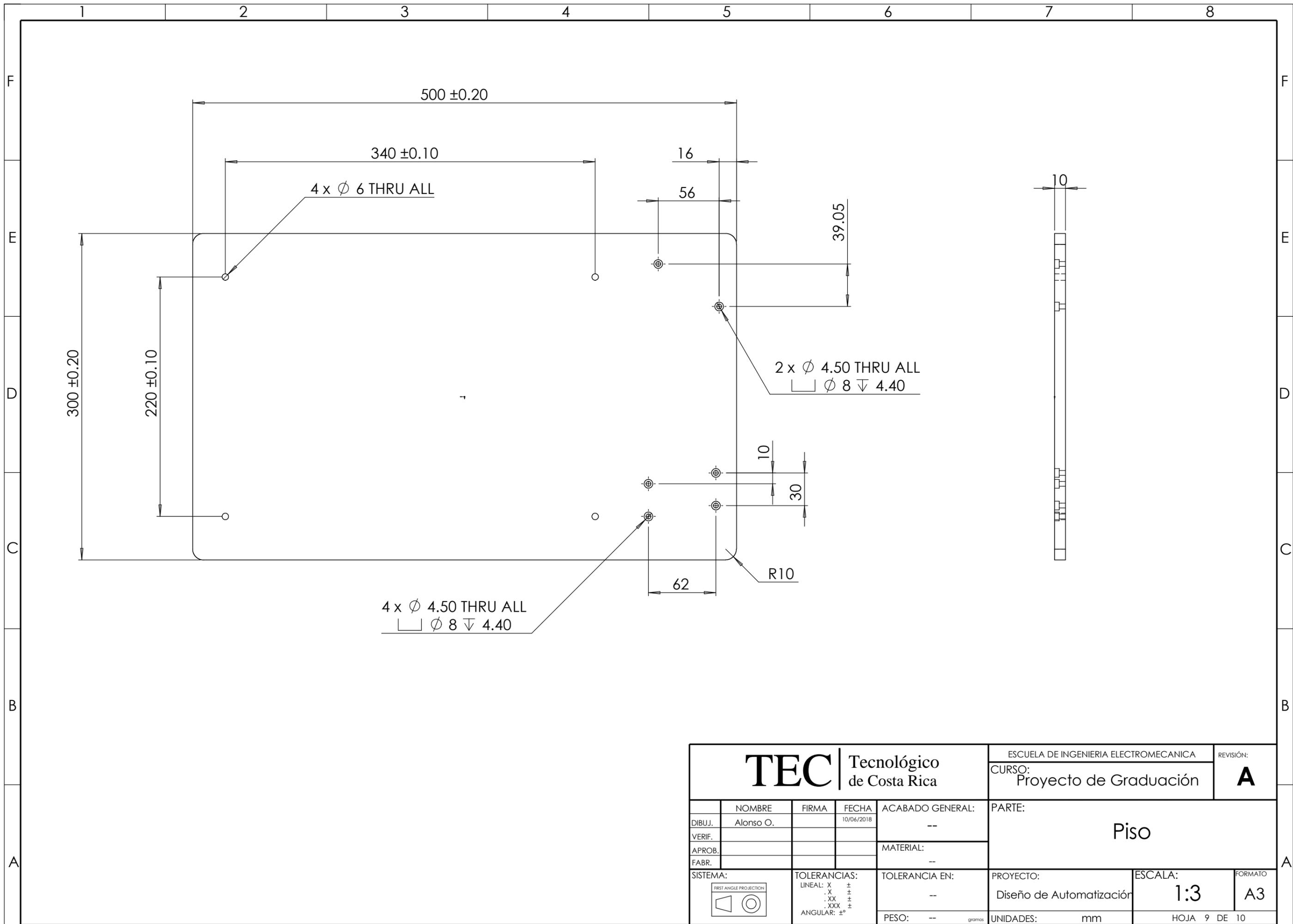


**SECTION D-D**  
SCALE 3:2

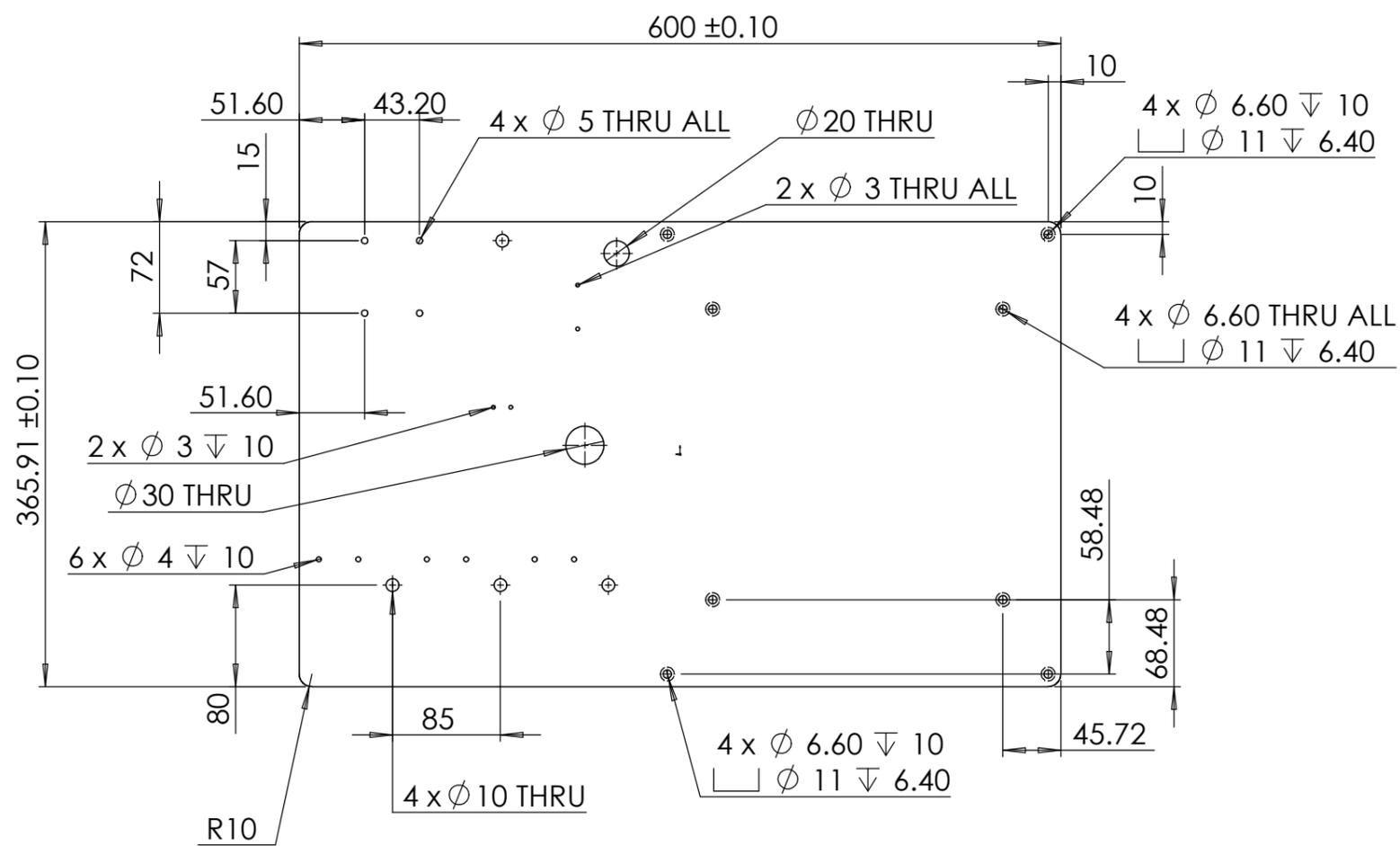
<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: Cabeza B	
VERIF.	Alonso O.		10/06/2018	--		
APROB.				MATERIAL:		
FABR.				--		
SISTEMA:	TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO:
	LINEAL: X ± ± .XX ± ± .XXX ± ± ANGULAR: ±°		--	Diseño de Automatización	<b>3:2</b>	<b>A3</b>
	PESO:	--	gramos	UNIDADES:	mm	HOJA 7 DE 10



 <b>Tecnológico de Costa Rica</b>				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA REVISIÓN: <b>A</b>			
				CURSO: Proyecto de Graduación			
DIBUJ. Alonso O.    FIRMA:    FECHA: 10/06/2018    ACABADO GENERAL: --				PARTE: <h1 style="text-align: center;">Carcasa</h1>			
VERIF.    APROB.    FABR.    MATERIAL: --							
SISTEMA: 		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±    .XX ±    .XXX ± ANGULAR: ±°				TOLERANCIA EN: --	
PESO: -- gramos		PROYECTO: Diseño de Automatización				ESCALA: <b>1:8</b> FORMATO: <b>A3</b>	
UNIDADES: mm				HOJA 8 DE 10			



<b>TEC</b>   Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: <b>Piso</b>	
DIBUJ.	Alonso O.		10/06/2018	--		
VERIF.				MATERIAL:		
APROB.				--		
FABR.						
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:
		LINEAL: X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		--	Diseño de Automatización	<b>1:3</b>
				PESO: -- gramos	UNIDADES: mm	FORMATO: <b>A3</b>
						HOJA 9 DE 10



<b>TEC</b> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto de Graduación		<b>A</b>
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: Tapa	
DIBUJ.	Alonso O.		10/06/2018	--		
VERIF.				MATERIAL:		
APROB.				--		
FABR.						
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:
FIRST ANGLE PROJECTION		LINEAL: X ± .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±°		--	Diseño de Automatización	1:5
				PESO: -- gramos	UNIDADES: mm	FORMATO: A3
						HOJA 10 DE 10