



# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO ELECTRONEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PROCESOS MECÁNICOS (LAIPM)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**CÁRDENAS ANCHATIPÁN ANDRÉS GUSTAVO**

**andres.cardenas@epn.edu.ec**

**SUÁREZ LÓPEZ SANTIAGO FERNANDO**

**santiago.suarez@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. SOTO RICARDO, M.Sc.**

**ricardo.soto@epn.edu.ec**

**Quito, julio 2018**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **CÁRDENAS ANCHATIPÁN ANDRÉS GUSTAVO** y **SUÁREZ LÓPEZ SANTIAGO FERNANDO**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Ricardo Soto, M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Andrés Gustavo Cárdenas Anchatipán** y **Santiago Fernando Suárez López**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Andrés Gustavo Cárdenas Anchatipán

---

Santiago Fernando Suárez López

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo principalmente a mis padres quienes pese a todas las adversidades siempre me guiaron por un buen camino y supieron darme los mejores consejos para superar cualquier obstáculo.

A mis hermanos, quienes estuvieron a mi lado durante toda esta etapa estudiantil apoyándome y motivándome para seguir adelante.

**Andrés**

Pienso que este logro tan inmenso no lo hubiese llegado obtener sin aquellas personas que hacen que mi vida sea un poquito más alegre y llevadera, es decir a toda mi familia, y en especial a las mujeres que realmente les debo todo lo que soy, Teresita, Hilda, Wendy, Susy y Toñita.

A mi querido retoño, mi pequeño Santy, el que me permite soñar y me impulsa alcanzar esos sueños.

**Santiago**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis amigos y compañeros de facultad que hicieron de esta etapa estudiantil algo más que solo estudios y con quienes he compartido muchas experiencias y alegrías que siempre las llevaré presentes.

A mi mejor amigo Cristian, quien ha estado conmigo para compartir los buenos momentos pero sobre me ha brindado su apoyo en aquellos momentos más adversos.

A Mary, quien ha estado a mi lado, me ha apoyado incondicionalmente y ha creído en mí.

A todos mis profesores que supieron compartir sus conocimientos y experiencia que me han servido para desenvolverme de la mejor manera en el campo laboral.

Al ingeniero Óscar González quien fue el promotor de este proyecto de tesis y además nos guio en muchos de los temas del mismo.

Al ingeniero Cristian Tapia, quien nos facilitó el uso de los equipos del laboratorio en la etapa final de construcción y programación de este proyecto.

**Andrés**

Agradezco infinitamente a todas las personas que hicieron que este sueño se convierta en realidad, a mi familia y amigos.

Al ingeniero Oscar Gonzales, quien fue el mentor del proyecto.

A los ingenieros Christian Tapia y Ricardo Soto, quienes nos facilitaron las instalaciones, equipos y materiales del laboratorio.

**Santiago**

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Sistemas electroneumáticos .....	4
1.1.1. Técnica de relés.....	4
1.1.2. Controlador lógico programable .....	4
1.1.3. Microprocesadores.....	4
1.2. Generación y tratamiento de aire comprimido .....	5
1.2.1. Compresores .....	5
1.2.2. Selección de compresores .....	5
1.2.3. Elementos complementarios del sistema de generación de aire. ....	6
(Fuente: Parker Hannifin Corporation, 2003) .....	6
1.2.4. Depósitos y acumuladores intermedios.....	7
1.2.5. Red de distribución .....	8
1.2.6. Tratamiento del aire .....	9
1.3. Cilindros neumáticos.....	10
1.3.1. Cilindros de simple efecto .....	10

1.3.2.	Cilindros de doble efecto.....	11
1.3.3.	Cilindros sin vástago .....	11
1.3.4.	Selección de cilindros neumáticos .....	12
1.4.	Válvulas neumáticas .....	13
1.4.1.	Válvulas de control direccional.....	14
1.4.2.	Simbología de válvulas .....	14
	Identificación de los orificios .....	16
1.4.3.	Electroválvulas.....	16
1.4.5.	Válvulas auxiliares .....	17
1.5.	Controlador Lógico programable (PLC).....	20
1.5.1.	Estructura interna.....	21
1.5.2.	Lenguaje de programación.....	22
1.6.	Sistemas electroneumáticos de entrenamiento .....	24
1.6.1.	Banco de entrenamiento de neumática / electroneumática c.....	24
1.6.2.	Equipo didáctico tecnológico para electroneumática (TP200) .....	25
1.6.3.	Panel de neumática y electroneumática eléctricos generales.....	26
2.	METODOLOGÍA .....	28
2.1.	Método.....	28
2.1.1.	Voz del usuario .....	28
2.1.2.	Análisis de competitividad .....	28
2.1.3.	Voz del ingeniero .....	29
2.2.	Diseño.....	30
2.2.1.	Voz del usuario .....	30
2.2.2.	La voz del ingeniero .....	31
2.2.3.	Suposiciones y consideraciones .....	31
2.2.4.	Conclusiones de la casa de la calidad.....	31
2.2.5.	Especificaciones técnicas .....	32
2.3.	Estructura funcional .....	33
2.3.1.	Análisis funcional .....	34

2.3.2.	Diagrama funcional .....	34
2.3.3.	Análisis del diagrama funcional .....	37
2.4.	Evaluación de alternativas .....	37
2.4.1.	Módulo 1 - Soporte.....	38
2.4.2.	Módulo 3: Circuitos .....	55
2.4.3.	Módulo Control.....	58
2.5.	Cálculos y selección de componentes.....	63
2.5.1.	Soporte .....	64
2.5.1.1.	Perfiles de aluminio .....	64
2.5.1.2.	Barra de sujeción .....	67
2.5.2.	Sistema de aire comprimido .....	68
2.5.2.1.	Compresor .....	68
2.5.2.2.	Consumo de aire de los elementos neumáticos .....	69
2.5.2.3.	Unidad de mantenimiento .....	70
2.5.3.	Circuito neumático. ....	71
2.5.3.1.	Diagrama de movimientos.....	71
2.5.3.2.	Cilindros neumáticos.....	72
2.5.3.3.	Pandeo del vástago .....	74
2.5.3.4.	Velocidad del émbolo o pistón.....	75
2.5.3.5.	Válvulas de control.....	75
2.5.3.6.	Reguladores de caudal .....	76
2.5.3.7.	Tubería de conexión .....	77
2.5.4.	Módulo de control.....	78
2.5.4.1.	Finales de carrera .....	78
2.5.4.2.	PLC.....	78
2.5.4.3.	Placas de comunicación.....	79
2.6.	Construcción y montaje.....	81
2.6.1.	Operaciones.....	81
2.6.2.	Planos de construcción y montaje .....	82



2.6.3.	Soporte .....	83
2.6.4.	Montaje de la Base del módulo .....	84
2.6.5.	Montaje del circuito electroneumático .....	85
2.6.6.	Montaje del Módulo de control .....	86
2.7.	Programación.....	87
2.7.1.	Interfaz gráfica en FluidSIM .....	87
2.7.2.	Comunicación PLC-PC .....	90
2.7.3.	Líneas de programación para el PLC .....	92
2.8.	Análisis de costos .....	98
2.8.1.	Costos directos .....	98
2.8.1.1.	Costos de materia prima .....	98
2.8.1.2.	Costos de elementos normalizados.....	98
2.8.1.3.	Costo de los elementos de control .....	99
2.8.1.4.	Costos de los procesos de manufactura .....	100
2.8.1.5.	Costos de ingeniería .....	101
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	102
3.1.	Protocolo de pruebas .....	102
3.1.1.	Nombre del proceso: Ensayo 1 (General) .....	102
3.1.2.	Nombre del proceso: Ensayo 2 (Sistema neumático).....	103
3.1.3.	Nombre del proceso: Ensayo 3 (Sistema eléctrico) .....	104
3.2.	Guía de prácticas .....	106
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1.	Conclusiones .....	107
4.2.	Recomendaciones .....	109
	Referencias Bibliográficas .....	111
	ANEXOS.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general neumático.....	3
Figura 1.2. Esquemmatización, acondicionamiento y almacenamiento de aire comprimido. .....	6
Figura 1.3. Depósito y acumuladores.....	7
Figura 1.4. Red de distribución. ....	8
Figura 1.5.Unidad de tratamiento de aire. ....	9
Figura 1.6. Cilindro de simple efecto. ....	10
Figura 1.7. Cilindro de doble efecto. ....	11
Figura 1.8. Partes de un cilindro si vástago. ....	12
Figura 1.9. Cilindro sin vástago de acoplamiento magnético.....	12
Figura 1.10. Esquema de una válvula antirretorno.....	18
Figura 1.11. a) regulador de caudal bidireccional. b) regulador de caudal unidireccional. .....	18
Figura 1.12. Válvula reguladora de presión.....	19
Figura 1.13. Esquema de válvula de simultaneidad y simbología. ....	19
Figura 1.14. Esquema de válvula selectora y simbología.....	20
Figura 1.15. Esquema básico de un PLC.....	21
Figura 1.16. Banco de entrenamiento Parker.....	24
Figura 1.17. Equipo didáctico FESTO.....	25
Figura 1.18. Panel de neumática y electroneumática.....	26
Figura 2.1. Nivel 0 del Diagrama funcional.....	34
Figura 2.2. Nivel 1 del Diagrama funcional.....	35
Figura 2.3. Nivel 2 del Diagrama funcional.....	36
Figura 2.4.Geometría disposición horizontal. ....	39
Figura 2.5. Geometría disposición vertical. ....	40
Figura 2.6. Geometría disposición inclinada. ....	41
Figura 2.7. Perfil de aluminio. ....	42
Figura 2.8. Placa de acero inoxidable. ....	43
Figura 2.9. Sujeción perno – tuerca. ....	45
Figura 2.10. Tuerca St en el panel de aluminio.....	46
Figura 2.11. Solución para módulo de soporte.....	52
Figura 2.12. Compresor Campbell. ....	53
Figura 2.13. Unidad de tratamiento de aire. ....	53
Figura 2.14. Distribuidor de aire.....	54

Figura 2.15. Puerta automática.....	55
Figura 2.16. Taladro de bancada.....	56
Figura 2.17. Fresado.....	56
Figura 2.18. Propiedades de los perfiles de aluminio.....	65
Figura 2.19. Barra de sujeción.....	67
Figura 2.20. Caudales de operación.....	70
Figura 2.21. Esquema del circuito neumático en FluidSim.....	71
Figura 2.22. Tipo de fijación del cilindro.....	74
Figura 2.23. Características de hardware PLC Micrologix.....	78
Figura 2.24. Voltajes PLC Micrologix.....	79
Figura 2.25. Entradas y salidas.....	79
Figura 2.26. Diseño de placa en Proteus.....	80
Figura 2.27. Borneras de la placa de comunicación.....	80
Figura 2.28. Pistas de la placa de comunicación.....	81
Figura 2.29. Taladro de banco.....	81
Figura 2.30. Torneado.....	82
Figura 2.31. Esquema del soporte.....	83
Figura 2.32. Esquema de la Base del módulo.....	84
Figura 2.33. Esquema del Circuito electroneumático.....	85
Figura 2.34. Esquema del Módulo de control.....	86
Figura 2.35. Circuito en FluidSIM-Neumática.....	88
Figura 2.36. Grupos del circuito.....	88
Figura 2.37. Líneas de control en FluidSIM.....	89
Figura 2.38. Entorno RSLinx.....	90
Figura 2.39. Conexión RS232.....	90
Figura 2.40. Puerto del cable RS232.....	91
Figura 2.41. Comunicación exitosa PLC-PC.....	91
Figura 2.42. Selección del PLC en RSLogix 500.....	92
Figura 2.43. Entorno de programación RSLogix 500.....	93
Figura 2.44. Segmento 0000.....	94
Figura 2.45. Segmento 0001.....	94
Figura 2.46. Segmento 0002.....	95
Figura 2.47. Segmento 0003.....	95
Figura 2.48. Segmento 0004.....	96
Figura 2.49. Segmento 0005.....	96
Figura 2.50. Segmento 0006.....	96
Figura 2.51. Segmento 0007.....	97

Figura 2.52. Segmento 0008.....	97
Figura 2.53. Segmento 0009.....	97
Figura 3.1. Diagrama del Ensayo 2.....	104
Figura 3.2. Diagrama del Ensayo 3.....	106
Figura 4.1. Ejercicio de taladro con Relés.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Simbología de válvulas .....	14
Tabla 1.2. Accionamiento de válvulas. ....	15
Tabla 1.3. Identificación de los orificios de la válvula. ....	16
Tabla 1.4. Identificación de los orificios de la válvula. ....	17
Tabla 1.5. Elementos de lenguaje Ladder. ....	22
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas. ....	33
Tabla 2.2 Alternativas Módulo Soporte. ....	47
Tabla 2.3. Alternativas de diseño “Soporte elementos de trabajo”. ....	48
Tabla 2.4. Ponderación de criterios “Soporte elementos de trabajo”. ....	49
Tabla 2.5. Soporte elementos de trabajo – Peso específico para el criterio Espacio... 49	
Tabla 2.6. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio Ergonomía. .....	49
Tabla 2.7. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio de Esteticidad. .....	49
Tabla 2.8. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio Resistencia. .....	50
Tabla 2.9. Soporte elementos de trabajo – Conclusiones. ....	50
Tabla 2.10. Ponderación de criterios “Soporte componentes de control”. ....	50
Tabla 2.11. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Autónomo. .....	51
Tabla 2.12. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Ergonómico. ....	51
Tabla 2.13. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Resistencia. ....	51
Tabla 2.14. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Costo. 51	
Tabla 2.15. Soporte componentes de control – Conclusiones. ....	51
Tabla 2.16. Alternativas del Módulo 2: Aire comprimido. ....	54
Tabla 2.17. Ponderación de criterios Módulo Circuitos. ....	57
Tabla 2.18. Circuitos – Peso específico para el criterio Espacio. ....	57
Tabla 2.19. Circuitos – Peso específico para el criterio Versatilidad. ....	58
Tabla 2.20. Circuitos – Peso específico para el criterio Complejidad. ....	58
Tabla 2.21. Circuitos – Peso específico para el criterio Costo. ....	58
Tabla 2.22. Módulo Circuitos – Conclusiones. ....	58
Tabla 2.23. Alternativas de control. ....	61

Tabla 2.24. Ponderación de criterios Módulo Control.....	62
Tabla 2.25. Control – Peso específico para el criterio Versatilidad.....	62
Tabla 2.26. Control - Peso específico para el criterio Mantenimiento.....	62
Tabla 2.27. Control - Peso específico para el criterio Fiabilidad.....	62
Tabla 2.28. Control - Peso específico para el criterio Espacio. ....	63
Tabla 2.29. Control – Conclusiones. ....	63
Tabla 2.30. Elementos por módulo. ....	63
Tabla 2.31. Perfiles de aluminio.....	64
Tabla 2.32. Carga de soporte. ....	65
Tabla 2.33. Propiedades físicas y mecánicas. ....	66
Tabla 2.34. Esfuerzo en los perfiles. ....	66
Tabla 2.35. Características del compresor.....	68
Tabla 2.36. Datos del cilindro neumático. ....	69
Tabla 2.37. Diagrama espacio-tiempo. ....	72
Tabla 2.38. Fuerzas de avance y retroceso a distintas presiones. ....	73
Tabla 2.39. Selección de válvulas.....	76
Tabla 2.40. Reguladores de caudal ....	76
Tabla 2.41. Selección de la tubería.....	77
Tabla 2.42. Numeración de los planos.....	83
Tabla 2.43. Actividades de ensamble de la base. ....	84
Tabla 2.44. Actividades de ensamble del Circuito.....	85
Tabla 2.45. Actividades de ensamble del Panel de control. ....	86
Tabla 2.46. Acciones de cada grupo del circuito. ....	89
Tabla 2.47. Variables de la programación.....	93
Tabla 2.48. Costos de Materia Prima.....	98
Tabla 2.49. Costos de Elementos Normalizados.....	99
Tabla 2.50. Costos de los Elementos de Control. ....	100
Tabla 2.51. Costos de los Procesos de Manufactura. ....	100
Tabla 2.52. Costos de Ingeniería. ....	101
Tabla 2.53. Costo total del Proyecto. ....	101

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un módulo electroneumático de entrenamiento destinado para el Laboratorio de Automatización Industrial y Procesos Mecánicos (LAIPM). El proyecto está basado en la metodología de diseño concurrente, que se caracteriza por considerar todos los elementos en la manufactura del producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, y sobre todo considerando las necesidades del usuario. Para lo tanto, para el diseño del módulo se han establecido cuatro puntos de análisis. En el primero, se definió la casa de la calidad, la cual es una herramienta que permitió conducir las necesidades del usuario en especificaciones técnicas para la máquina. Como segundo punto, se realizó el diagrama funcional, en el cual se establecieron cuatro módulos Soporte, Aire Comprimido, Control y Circuitos. En el tercer punto, se generaron las alternativas de diseño para cada uno de los módulos definidos en el punto anterior. Como paso final de diseño, se realizó una evaluación de todas las alternativas planteadas y como conclusión se obtuvo un diseño compuesto por perfiles figurados de aluminio y placa de acrílico, controlado mediante PLC. Obtenido el diseño, se procedió a manufacturar, montar, acoplar y programar todos los componentes del módulo. Finalmente, se realizó el protocolo de pruebas que permitió verificar que todos los componentes se encuentren colocados en el lugar correcto y funcionando adecuadamente. En conclusión todas las etapas de diseño y construcción se realizaron satisfactoriamente, y como resultado se obtuvo una maquina muy versátil, que permitirá realizar modificaciones tanto para las posiciones de los componentes como las secuencias de trabajo.

**Palabras clave:** Circuitos, Control, módulo electroneumático, PLC, y programación.

## ABSTRACT

This Project has target to design and build a didactic electro-pneumatic module, which will implement in Laboratorio de Automatización Industrial y Procesos Mecánicos (LAIPM). It was built below methodology of concurrent design, which catheterizes for considering all elements in manufacturing of a product, from conceptual design until availability, and takes account costumer needs. By developing part of design, the project was divided in four parts. Initially, it was defined quality house, which allowed translating user needs to technical specification. Next step, it was to stablish diagram functional. This is a tool which to let divide the principal function to sub functions which were defined as Support, compressed air, control, and circuits. In the third part, it was generated design alternatives for each of modules of previous point. The last point was to evaluate whole alternatives of design, and the conclusion was to build a module, which contain figurative aluminum profiles and an acrylic plate. In addition, this is controlling for a PLC. Obtained the design, it proceeded to manufacture, assemble, attach, and program all module components. Finally, it was done a test protocol, which let to check the adequate function of all components. In conclusion, all part of design, manufacturing, assembly, and programming were made satisfactorily, and it obtained a versatile machine. This model allows configuring not only components position, but also working sequences.

**Keywords:** Circuits, control, Electro-pneumatic module, PLC, and programming.



# **DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO ELECTRONEUMÁTICO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PROCESOS MECÁNICOS (LAIPM)**

## **INTRODUCCIÓN**

Una de las formas de energía más utilizadas desde la antigüedad ha sido el aire comprimido, pero no fue sino hasta a partir de 1950 que se puede encontrar aplicaciones industriales reales, esto debido a la necesidad de optimizar los procesos de fabricación para reducir los costos de producción. (Automatización micromecánica)

La técnica o conjunto de técnicas que utilizan el aire comprimido como modo de transmisión de energía se denomina Neumática y hace referencia al estudio del movimiento del aire para mover y hacer funcionar mecanismos ya sean giratorios o rectilíneos. Los sistemas neumáticos al complementarse con sistemas eléctricos y electrónicos adquieren una más alta fiabilidad, versatilidad y flexibilidad, y recibe el nombre de sistemas electroneumáticos.

Hoy en día esta técnica es ampliamente utilizada en la industria debido a que presenta diversas ventajas como la fácil disponibilidad de la energía neumática, bajo coste de sus componentes, facilidad de implementación y mantenimiento, etc.

Estas ventajas sumadas a la necesidad de las industrias de optimizar recursos, operaciones y tiempo, han hecho que dichas industrias vean en los sistemas neumáticos y electroneumáticos una opción viable para la automatización de sus procesos productivos. (Creus Solé, 2007)

Dicha necesidad de automatización de procesos no es ajena a la realidad de nuestra industria nacional y es por esto que los estudiantes de Ingeniería Mecánica, según su perfil profesional, deben conocer muy bien el campo de la automatización, pero lastimosamente no existe el equipo suficiente para su capacitación en cuanto a este tipo de sistemas.

Esto representa una gran desventaja para los estudiantes ya que al graduarse e incursionar en el campo laboral, muchos de ellos no conocen al menos los aspectos y

elementos básicos de un sistema neumático, y deben capacitarse aparte pagando cursos que muchas veces resultan costosos.

Por lo tanto es necesario complementar los conocimientos y habilidades en automatización de los estudiantes con un módulo de entrenamiento de tipo electroneumático, aprovechando los elementos de los módulos neumáticos que se encuentran en el laboratorio y que están sin utilizar, como válvulas, actuadores, sensores, etc.

## **Objetivo general**

Diseñar y construir un módulo de entrenamiento electroneumático para el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos. (LAIPM)

## **Objetivos específicos**

- Realizar un diseño esquemático virtual del módulo, tomando en cuenta todos los requerimientos solicitados por parte del laboratorio.
- Realizar el diseño mecánico del módulo de acuerdo a las funciones que va a desempeñar.
- Dimensionar y seleccionar todos los elementos eléctricos, mecánicos, neumáticos, de acuerdo a los requerimientos de espacio, capacidad, potencia, etc.
- Ensamblar el módulo didáctico y establecer un protocolo de pruebas para su puesta en funcionamiento.
- Realizar una guía de prácticas para la utilización del módulo.

# 1. MARCO TEÓRICO

La neumática se refiere al estudio del movimiento del aire, el cual producirá el movimiento y funcionamiento de diversos mecanismos. Pero este movimiento debe ser controlado para que dicho mecanismo cumpla de manera correcta una determinada función. El movimiento controlado se logra con el empleo de motores neumáticos, compresores etc. que son la fuente de aire comprimido, y posteriormente, la aplicación de actuadores, válvulas de control, y otros dispositivos hacen posible el correcto funcionamiento de un sistema neumático.

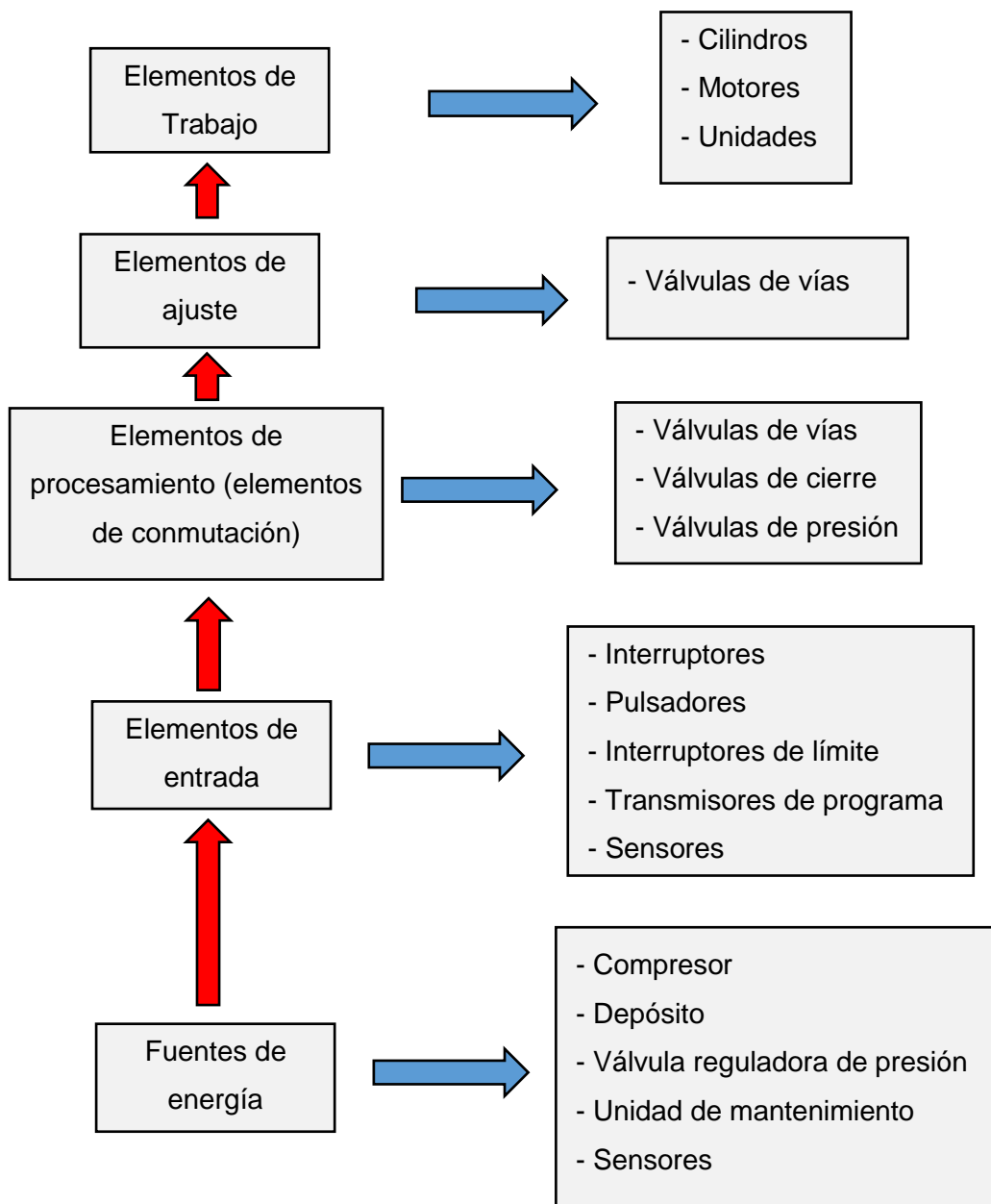


Figura 1.1. Esquema general neumático.  
(Fuente: FESTO Neumatic)

## **1.1. Sistemas electroneumáticos**

En sistemas neumáticos tradicionales, el control de los actuadores, motores neumáticos, cilindros, etc. se efectúa mediante válvulas exclusivamente neumáticas y con ello se ha conseguido cierto grado de automatización en procesos relativamente sencillos, pero para sistemas más complejos se hace necesaria la participación de señales eléctricas.

En sistemas electroneumáticos, los actuadores siguen siendo de tipo neumático, pero el mando, la regulación y automatización es eléctrica, y son las denominadas electroválvulas las encargadas de gobernar el movimiento de los actuadores.

Los circuitos de un sistema electroneumático pueden controlarse mediante: Técnica de relés, microprocesador, PLCs entre otras.

### **1.1.1. Técnica de relés**

En la técnica de relés las conexiones eléctricas de mando se realizan manualmente mediante una lógica cableada. Se usan relés con contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC) para la transmisión de señales en la secuencia deseada y evitar la presencia de señales bloqueantes o solapadas.

### **1.1.2. Controlador lógico programable**

Un PLC permite programar la lógica de funcionamiento a través de lenguaje ladder o escalera, de modo que presenta la ventaja de ser modificable y así realizar nuevas instalaciones de forma rápida, o simplemente diseñar mejoras en el circuito. Es capaz de controlar bucles de proceso e incluso el funcionamiento de dos o más sistemas o máquinas independientes al mismo tiempo.

### **1.1.3. Microprocesadores**

Los primeros sistemas de control industrial eran diseñados y controlados con microprocesadores. Permiten una instalación simplificada y permite disponer de varias posibilidades de control. Actualmente su uso en la industria es limitado debido a costes de software y adquisición de sistemas.

## 1.2. Generación y tratamiento de aire comprimido

El principal componente de producción de aire comprimido, es el compresor. Su trabajo inicia con la extracción del aire atmosférico de su alrededor y posterior aumento de presión. Finalmente se da paso a la distribución del fluido a través del circuito neumático. (Creus Solé, 2007). La alimentación se realiza desde una estación central y llega a las demás instalaciones a través de tuberías. (Automatización micromecánica)

### 1.2.1. Compresores

Los parámetros de selección de un compresor, principalmente son: Presión de trabajo y caudal de suministro. Para esto se distinguen dos tipos de compresores básicos:

- *De desplazamiento positivo:* Los cuales basan su funcionamiento en la reducción de volumen del fluido. Posteriormente, al alcanzar cierta presión en el mismo se produce una apertura de válvulas.
- *De desplazamiento dinámico:* Se basa en el principio de compresión de aire por fuerza centrífuga. El aire tomado en sentido axial es arrojado a gran velocidad en sentido radial. La fuerza centrífuga que actúa sobre el aire lo comprime sobre la cámara de compresión. (Parker Hannifin Corporation, 2003)

### 1.2.2. Selección de compresores

A continuación se detallan algunos de los aspectos más significativos para la selección de un compresor (Automatización micromecánica)

- Caudal de desplazamiento
- Temperatura de descarga
- Presión de funcionamiento del compresor
- Altura de la instalación
- Rango de admisión de temperatura / humedad
- Enfriamiento disponible
- Tipo de impulsión
- Condiciones atmosféricas
- Condiciones de descarga

### 1.2.3. Elementos complementarios del sistema de generación de aire.

La vida útil y el buen funcionamiento de los componentes neumáticos como cilindros, válvulas, reguladores, etc. dependen directamente de la calidad de aire que transita por el circuito. Para garantizar la calidad del aire, se dota al circuito neumático ciertos componentes que filtren impurezas, enfríen y retiren la humedad presente. (Serrano Nicolás, 2009)

En la figura 1.2 se puede observar los componentes que conforman sistema de generación de aire, filtro de admisión, motor eléctrico, separador de condensado, compresor, recipiente, enfriador intermedio, enfriador posterior y secador. Uno de los elementos más importantes y del cual se tratara en este apartado es el secador. Es el encargado de la de desmitificación del aire. A pesar de que este es un elemento que puede elevar el costo total de la instalación de aire, se ha llegado a determinar que los perjuicios causados por aire húmedo sobre los elementos neumáticos pueden llegar en ocasiones a sobrepasar el valor de la inversión del mismo. Por lo tanto es una buena opción emplear este tipo de componente en el circuito. (Parker Hannifin Corporation, 2003)

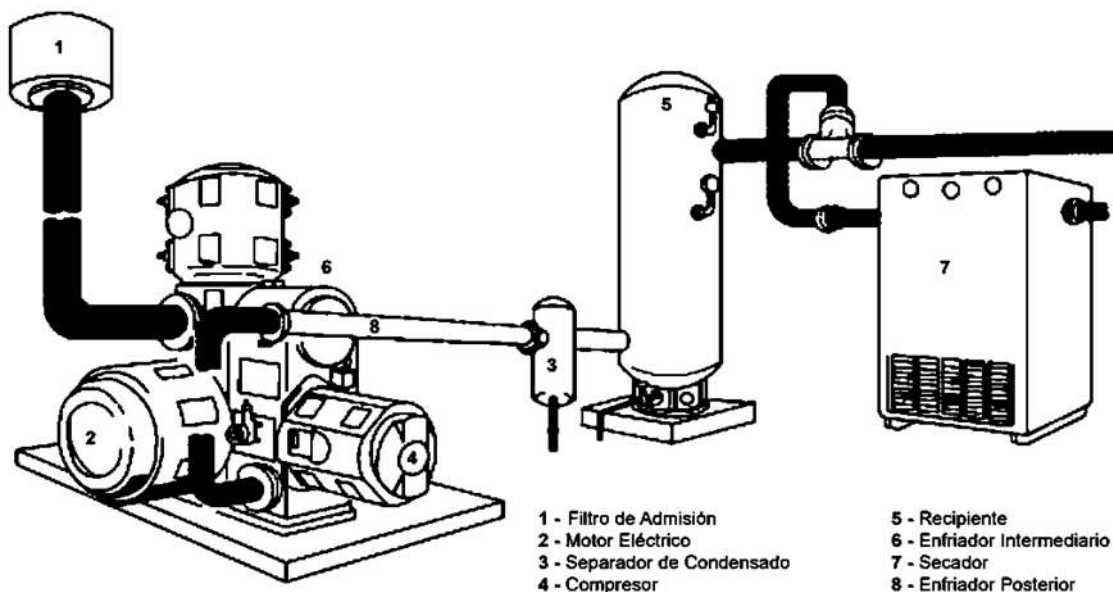


Figura 1.2. Esquemización, acondicionamiento y almacenamiento de aire comprimido.  
(Fuente: Parker Hannifin Corporation, 2003)

Dependiendo de las necesidades del circuito neumático y de las condiciones del entorno, se debe seleccionar secador más adecuado. A continuación se hace una descripción de los tipos de secadores que se encuentran en el mercado.

- Secado por refrigeración: Se basa en someter el aire a una temperatura suficientemente baja, con el propósito de retirar la mayor cantidad de agua presente en el aire. Además de la remoción del agua, en el compartimiento de enfriamiento, una emulsión compuesta por aceite del compresor, ayudando a la remoción de aceite.
- Secado por absorción: También llamado proceso químico de secado, utiliza una sustancia sólida o líquida, con capacidad de absorber otra sustancia líquida o gaseosa.
- Secado por adsorción: Consiste en fijar las moléculas de una sustancia en la superficie de un absorbente generalmente poroso y granulado, es decir, depositar moléculas de una sustancia (agua) en la superficie de otra sustancia, generalmente sólida ( $\text{SiO}_2$ ).

#### 1.2.4. Depósitos y acumuladores intermedios

El depósito y los acumuladores intermedios son los encargados de almacenar el aire comprimido. Dentro de las tareas principales, se pueden enunciar las consiguientes. Acumular y abastecer el fluido a los elementos neumáticos por un periodo de tiempo, en el caso de falla del tendido eléctrico. Evitar o disminuir los arranques frecuentes del motor del compresor. Absorber las fluctuaciones provenientes tanto de los generadores como del consumo de los actuadores. Refrigerar y condensar el aire. Finalmente, este tipo de componentes deben ser instalados o colocados en zonas aisladas del sol y ventiladas. (Serrano Nicolás, 2009)

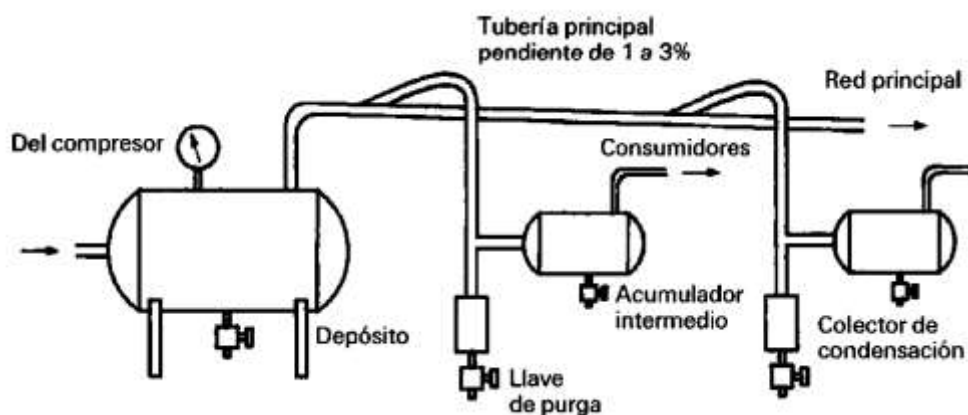


Figura 1.3. Depósito y acumuladores.  
(Fuente: Serrano Nicolás)

En el fondo de los depósitos y los acumuladores intermedios se instala una llave de purga, manual o automatizada, que sirve para evacuar toda el agua que se ha condensado en el proceso.

### 1.2.5. Red de distribución

La tubería, que conduce el aire desde el depósito hasta el lugar de trabajo, se denomina red de distribución. La construcción de la red se lo hace con tuberías de acero, y son unidas entre sí con varios tipos de racores. El fluido almacenado en el depósito se distribuye sobre la red principal, la cual es un rectángulo que contiene secciones transversales de comunicación. Esta configuración permite que el aire se pueda distribuir uniformemente sobre toda la red. En cada esquina se colocan acumuladores intermedios, con sus respectivas llaves de purgas al final de cada depósito. Las secciones transversales dan paso a la red secundaria., cada una de las redes están compuestas por un colector de condensación, un acumulador intermedio, y llaves de purgas. Finalmente se ubican las tomas de aire para los dispositivos neumáticos. (Serrano Nicolás, 2009)

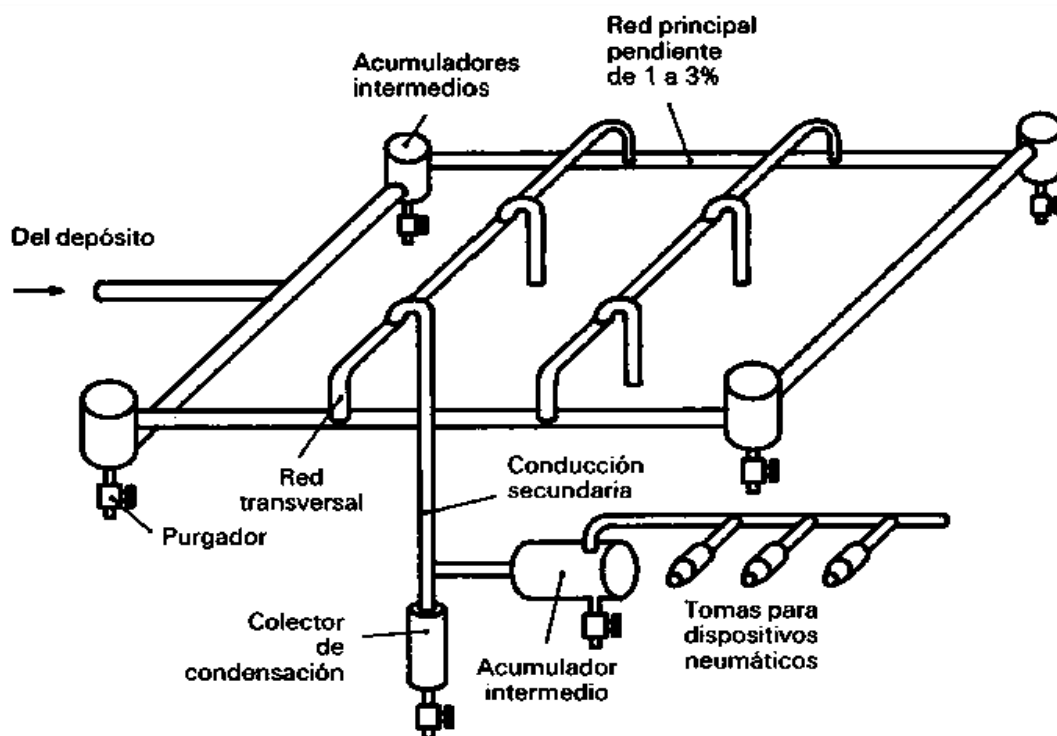


Figura 1.4. Red de distribución.  
(Fuente: Serrano Nicolás)



En conclusión, el objetivo de la red de distribución, es abastecer de fluido a los elementos neumáticos, asegurándose que el aire sea de alta calidad, es decir libre de humedad. Para llevar a cabo dicho propósito se han de colocar los distintos componentes como acumuladores intermedios, colectores de condensación y llaves de purgas.

### 1.2.6. Tratamiento del aire

Elementos como humo, polvo, suciedad, emanaciones de gases químicos y aceite pueden encontrarse en el interior del compresor. Estas impurezas combinadas pueden obstruir filtros y pasajes pequeños, producir cienos corrosivos, etc. (Automatización micromecánica)

Para evitar los problemas mencionados es necesario tratar el aire a través de grupos conocidos como unidades de mantenimiento, las cuales son encargados de realizar los siguientes procesos: filtración, regulación de presión, y lubricación. (Serrano Nicolás, 2009)

Por lo tanto, los elementos: filtro, regulador de presión y lubricador conforman una unidad indispensable para un funcionamiento adecuado de un sistema neumático.



Figura 1.5.Unidad de tratamiento de aire.  
(Fuente: Catálogo FESTO)

### 1.3. Cilindros neumáticos

Una vez producido y preparado el aire, éste es puesto a trabajar. Por lo tanto, se requiere de un dispositivo que transforme la energía del aire comprimido en trabajo mecánico (Parker Hannifin Corporation, 2003) generando así un movimiento ya sea lineal, rotatorio u oscilante.

En este sentido, los actuadores de tipo lineal son los de uso más frecuente en neumática y están representados por los denominados cilindros neumáticos.

Principalmente existen tres tipos de cilindros:

- Simple efecto o simple acción
- Doble efecto o doble acción
- Cilindros sin vástago

#### 1.3.1. Cilindros de simple efecto

La carrera de avance del vástago es producida por efecto del aire comprimido, y el retorno a su posición natural se realiza de forma mecánica, generalmente por la acción de un resorte ubicado en el interior del cilindro. (Automatización micromecánica).

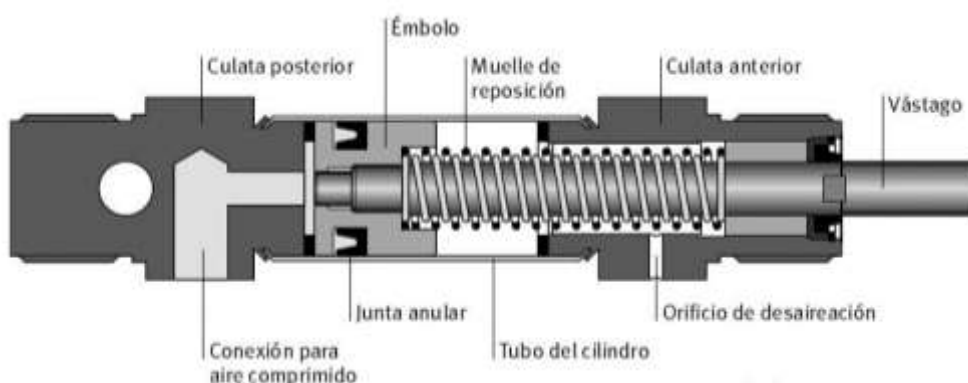


Figura 1.6. Cilindro de simple efecto.

(Fuente: <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Imagen:SimpleEfecto.jpg>)

### 1.3.2. Cilindros de doble efecto

Para permitir la carrera de avance del vástago, el aire comprimido entra por el orificio de la cámara trasera llenándola y empujando el vástago. El avance de éste produce que el aire de la cámara delantera sea desalojado hacia el exterior a través del orificio correspondiente. Para la carrera de retroceso, se invierte el proceso haciendo que el aire ingrese por el orificio de la tapa delantera, y sea expulsado al exterior a través del conducto junto a la tapa trasera. (Serrano Nicolás, 2009)

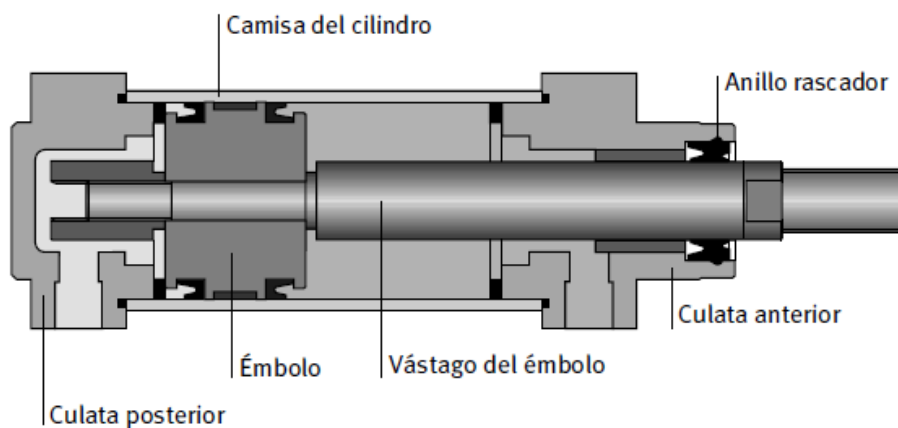


Figura 1.7. Cilindro de doble efecto.  
(Fuente: FESTO electroneumática)

### 1.3.3. Cilindros sin vástago

Este tipo de cilindros ofrecen diversas ventajas como elevadas carreras, absorción de cargas exteriores y reducción de la longitud. Por esta razón, son muy utilizados en aplicaciones en donde el espacio disponible para los cilindros es limitado, como por ejemplo: robótica, puertas automáticas, ascensores para elevación de piezas, etc. Básicamente existen dos grupos: cilindros sin vástago de bandas, y de acoplamiento magnético. (Serrano Nicolás, 2009).

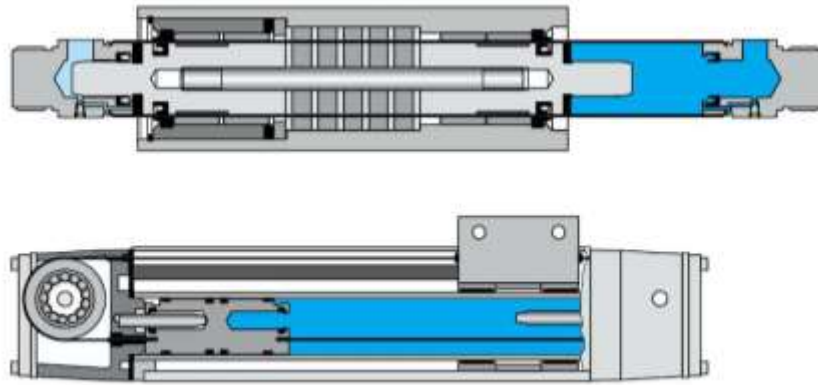


Figura 1.8. Partes de un cilindro si vástago.  
(Fuente: FESTO, Alemania)

Los cilindros de acoplamiento magnético (Figura 1.9) se componen de: el carro (1), un tubo de acero inoxidable magnético (2) por el que se desplaza el pistón (7) provisto de juntas de estanqueidad (8), e imanes (9). Por el exterior del tubo se desliza la corredera (3) que posee en el interior otro conjunto de imanes (4), unos casquillos guías (5) y anillos rascadores (6) para la limpieza del exterior del cilindro cuando la corredera se desplaza en ambos sentidos.

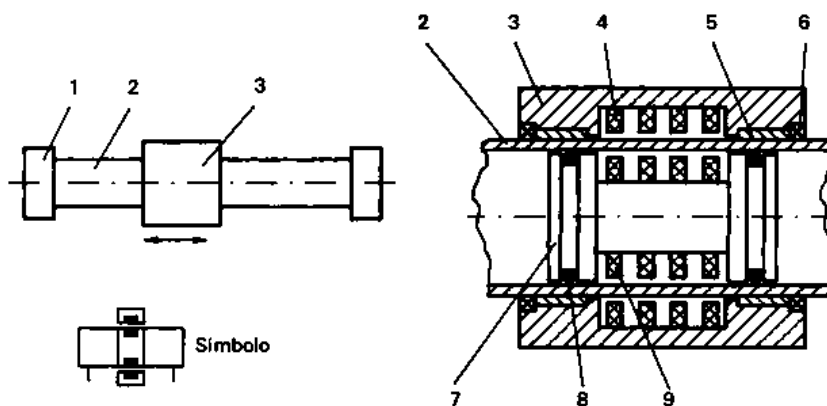


Figura 1.9. Cilindro sin vástago de acoplamiento magnético.  
(Fuente: FESTO, Alemania)

#### 1.3.4. Selección de cilindros neumáticos

Los aspectos esenciales a considerar en la selección de un cilindro son: fuerza del cilindro, la carga, el consumo de aire, y la velocidad del pistón. (Creus Solé, 2007). La fuerza desarrollada por el pistón es quizás la más importante de todas y su valor depende del diámetro del pistón y la presión del aire de alimentación.

Esta selección se simplifica notablemente con la ayuda de gráficos combinados de los valores teóricos de fuerza a diferentes presiones y diámetros. La expresión que lo sustenta es la ecuación 1 (Creus Solé, 2007):

$$F = \frac{P * A}{10} - F_{muelle} = P * \left( \frac{\pi * d^2}{40} \right) - F_{muelle}$$

Ecuación (1)

En donde:  $F = \text{Fuerza [N]}$

$A = \text{Área del pistón [mm}^2\text{]}$

$P = \text{Presión del aire [bar]}$

$F_{muelle} = \text{Fuerza del muelle [N]}$

## 1.4. Válvulas neumáticas

Existen varios sistemas de accionamiento que permiten comandar o pilotar un circuito neumático mediante la regulación del arranque, parada, dirección, presión y caudal del aire comprimido de los cilindros neumáticos. Por lo tanto, estos elementos son los que determinan las características y forma de funcionamiento del circuito neumático. (Automatización micromecánica)

Los sistemas más utilizados son: las válvulas distribuidoras, válvulas antirretorno, reguladores de presión y reguladores de flujo.

Pueden funcionar como válvulas distribuidoras o como válvulas de mando o pilotaje. Estos últimos pueden ser montados en paneles de control para ser accionadas por un operador, o bien cerca de los actuadores para ser pulsados mecánicamente. (Serrano Nicolás, 2009)

Estas válvulas son clasificadas en los siguientes grupos:

- De control direccional
- De control de flujo
- De control de presión

### 1.4.1. Válvulas de control direccional

Las válvulas direccionan el flujo de trabajo para que realice una función específica. Para la selección de una válvula direccional, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Número de vías:** Número de orificios que pueden ser controlados, a excepción del pilotaje.
- **Posiciones:** Se refiere al número de maniobras estables que el elemento de distribución puede ejecutar.
- **Caudal:** Volumen del fluido que pasa a través de la válvula en la unidad de tiempo.
- **Tipo de accionamiento:** Es la forma en que se realizará el cambio de posición de la válvula. Puede ser: muscular, mecánico, neumático, eléctrico, o combinado.

### 1.4.2. Simbología de válvulas

Tabla 1.1. Simbología de válvulas


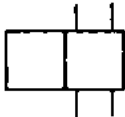


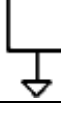
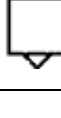




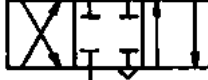












Número de posiciones	 <p>1 posición      2 posiciones      3 posiciones</p>	
Tipos de conexiones		Válvula de 2 posiciones y 4 conexiones con el exterior
		Conexión general
		Conexión con toma de presión
Tipos de conexiones		Escape con tubo conectable al exterior
		Escape directo al exterior

Tabla 1.1. Simbología de válvulas. (Continuación)

Líneas de flujo		Sentido de flujo
		Cierre de paso
		Unión de los conductos en un punto
		Válvula 3 orificios, 2 posiciones (3/2)
		Válvula 4 orificios, 3 posiciones (3/2)

(Fuente: FESTO, Alemania)

Tabla 1.2. Accionamiento de válvulas.

Tipo	Descripción	Figura
Muscular	Manual general	
	Pulsador	
	Pulsador con enclavamiento	
	Rodillo	
	Pedal	
Mecánico	Pulsador mecánico	
	Rodillo	
	Rodillo escamotable	
	De proximidad magnético	
Eléctrico / Neumático	Electroimán	
	De presión	
	Electroimán servopilotado	

(Fuente: FESTO, Alemania)

## Identificación de los orificios

La identificación de los orificios en las válvulas está estandarizada, de esta manera se facilita la instalación y manipulación de los componentes. La siguiente tabla presenta una propuesta de codificación.

Tabla 1.3. Identificación de los orificios de la válvula.

<b>Función</b>	<b>Números</b>	<b>Letras</b>
Alimentación de aire	1	P
Orificios de trabajo	2,4,...	A, B,...
Orificios de escape	3,5,...	R, S,...
Orificio de pilotaje de 1 a 2	12	x, y,...
Orificio de pilotaje de 1 a 4	14	x, y,...

(Fuente: (Automatización micromecánica))

### 1.4.3. Electroválvulas

En estas válvulas el accionamiento viene dado como consecuencia del paso de corriente por un electroimán. (Majumdar, 1997). El paso de corriente produce una fuerza electromagnética que cambia la configuración interna de la válvula, para permitir o no el paso del fluido. (Automatización micromecánica)

Por lo general, se opta por el uso de las electroválvulas de accionamiento eléctrico para mandos con largas distancias y cortos tiempos de conexión. (Automatización micromecánica)

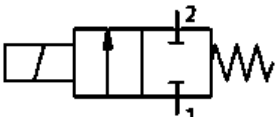
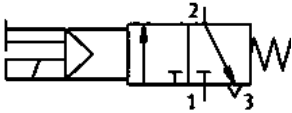
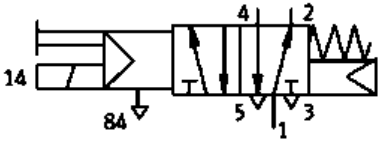
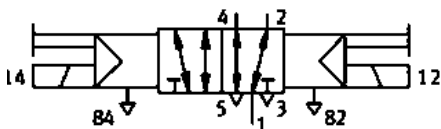
Para la selección de electroválvulas, se necesitan conocer datos de voltaje, frecuencia, potencia, además de características constructivas como el aislamiento, la protección y el tiempo de conexión.

### 1.4.4. Tipos de electroválvulas

A continuación se muestran las características y esquemas de algunos tipos de electroválvulas.



Tabla 1.4. Identificación de los orificios de la válvula.

Denominación	Características	Simbología
Electroválvula 2/2 Sin servopilotaje	2 vías, 2 posiciones Accionamiento por solenoide y retorno x muelle	
Electroválvula 3/2 monoestable con servopilotaje	3 vías, 2 posiciones Accionamiento por solenoide y retorno x muelle	
Electroválvula 5/2 monoestable con servopilotaje	5 vías, 2 posiciones Accionamiento por solenoide y retorno x muelle	
Electroválvula 5/2 biestable con servopilotaje	5 vías, 2 posiciones Accionamiento y retorno por solenoide	

(Fuente: (Automatización micromecánica))

### 1.4.5. Válvulas auxiliares

Existen dispositivos que son complementarios y se deben tener en cuenta para el diseño de un sistema neumático. Éstos son muy útiles cuando la complejidad en el circuito aumenta. Permiten realizar acciones como la regulación, control, bloqueo, y regulación de velocidad del vástago. (Serrano Nicolás, 2009)

#### 1.4.5.1. Válvulas antirretorno

Permiten la circulación del fluido en un sentido, y bloquean el flujo en el sentido opuesto. Pueden ser de asiento o de bola, y funciona de la siguiente manera:

Como se muestra en la figura 1.10, el fluido circulará en dirección de la flecha al vencer la resistencia dada por el resorte, mientras que para el sentido contrario, la esfera o el asiento, nunca permitirá el paso del fluido.

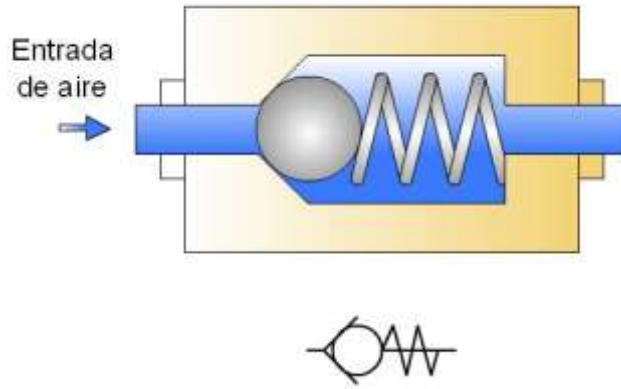


Figura 1.10. Esquema de una válvula antirretorno.

(Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/neumaticabachillerato-131214120329-phpapp01/95/neumatica-bachillerato-26-638.jpg?cb=1387022668>)

#### 1.4.5.2. Válvulas de control de flujo

Son ideales para controlar la velocidad de los cilindros neumáticos u otro tipo de actuador, así como también retardar señales neumáticas para la regulación del tiempo de presurización de cierto volumen. (Automatización micromecánica)

Se pueden encontrar reguladores de caudal de dos tipos: bidireccional y unidireccional

El primero (Fig. 1.11 a) regula el caudal en ambas direcciones, mientras que el otro (Fig. 1.11 b) lo hace solo en una dirección, permitiendo un flujo libre en la dirección contraria. (Serrano Nicolás, 2009).

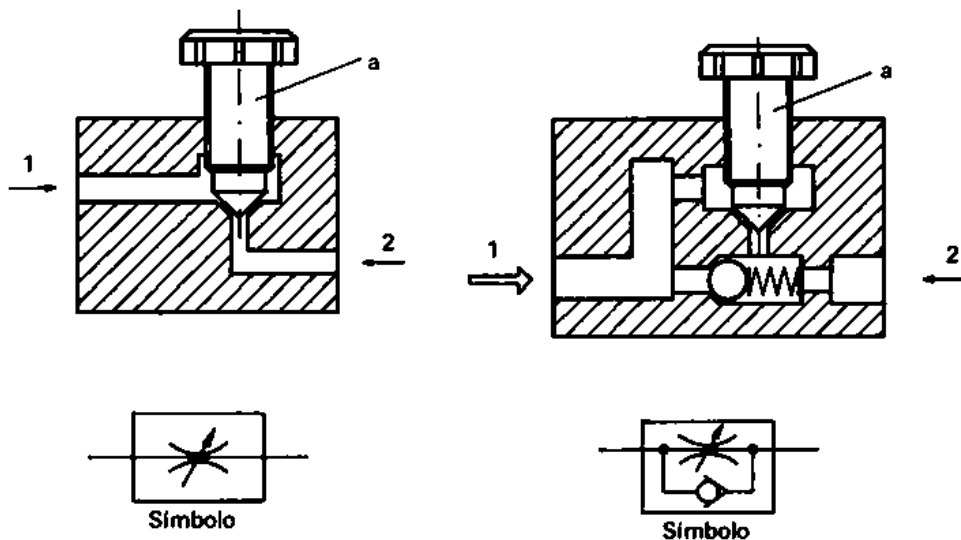


Figura 1.11. a) regulador de caudal bidireccional. b) regulador de caudal unidireccional.  
(Fuente: (Serrano Nicolás, 2009))

### 1.4.5.3. Válvula reguladora de presión

Estas válvulas regulan la presión del fluido desde cero hasta el valor máximo de la fuente de aire comprimido.

El principio funcionamiento de esta válvula se muestra en la figura 1.12., en donde la regulación se consigue gracias a la manipulación del tornillo roscado (1), acción que aumentará la compresión del resorte (2). Para vencer la acción del muelle es necesario ejercer una fuerza sobre el asiento (3) proporcional a la presión P. Al alcanzar cierta presión, el asiento cede permitiendo el paso del fluido hacia (A).

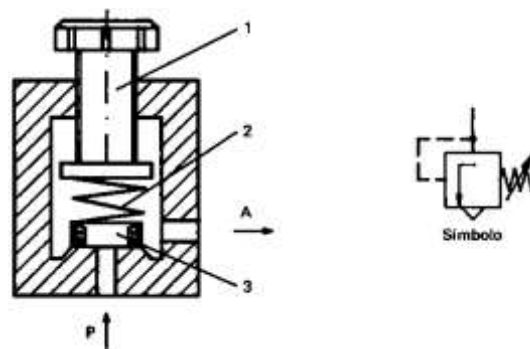


Figura 1.12. Válvula reguladora de presión.  
(Fuente: (Serrano Nicolás, 2009))

### 1.4.5.4. Válvula de simultaneidad: Función lógica "Y"

Está compuesta por dos entradas (1) y una salida (2). En esta válvula solo se permite el paso del aire si la válvula recibe una señal en ambas entradas. Al recibir la señal en una sola entrada, el paso se bloquea debido a la diferencia de fuerzas que actúan en la corredera del émbolo. (Festo Didactic, 2009). Cuando las señales llegan desfasadas, la que llega al final es la que pasa para la salida (2). (Automatización micromecánica).

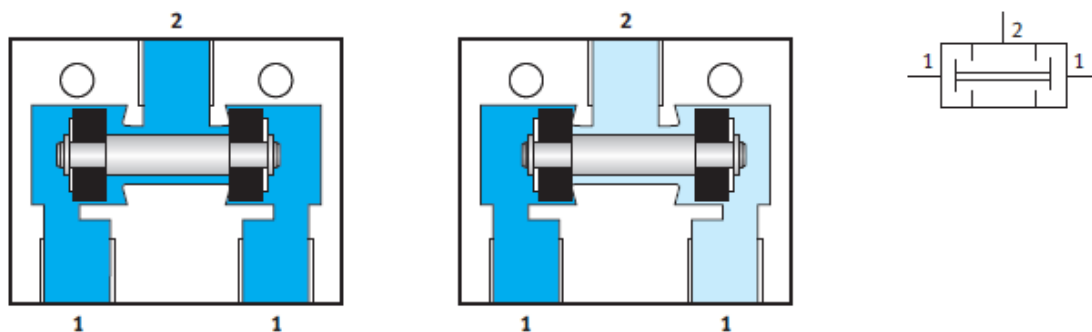


Figura 1.13. Esquema de válvula de simultaneidad y simbología.  
(Fuente: Festo Neumatic)

#### 1.4.5.5. Válvula selectora: Función lógica de “O”

Posee dos entradas (1) y una salida (2). Al aplicar la presión en una de las entradas, el émbolo bloquea la entrada contraria. Así fluye el aire desde una de las entradas hacia la salida y posteriormente a un actuador. Al fluir el aire en sentido contrario, hacia el escape, el émbolo mantiene su posición ya que las condiciones de presión no cambian. El uso de esta válvula se da en aplicaciones en donde se requiere que un actuador sea accionado desde múltiples puntos.

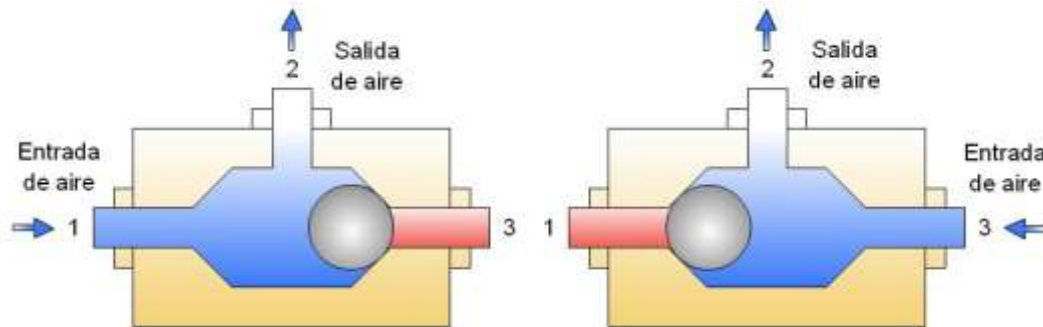


Figura 1.14. Esquema de válvula selectora y simbología.  
(Fuente: Festo Neumatic)

### 1.5. Controlador Lógico programable (PLC)

En la actualidad, el control de la mayoría de sistemas neumáticos y electroneumáticos se lo realiza eléctricamente, con el uso de relés estructurados o un autómata programable (PLC).

En un control mediante relés estructurados. Los relés, temporizadores, y contadores son conectados entre sí para realizar la tarea de control, por lo que el cableado suele ocupar mucho espacio, y en consecuencia es difícil la detección y reparación de fallos, aumentando así los costos de mantenimiento. (Lab-Volt Ltd., 2000)

En cuanto a los PLCs, éstos contienen internamente pequeños relés, temporizadores y otros elementos que en conjunto son capaces de generar, ordenar y controlar un conjunto de señales, las cuales permiten realizar el ciclo completo de una máquina o un sistema electroneumático. (Serrano Nicolás, 2009)

A continuación se muestran algunas de las principales ventajas de un PLC en comparación con los relés.

- Reducción de espacio en planta.

- Elimina la necesidad de cableado cuando se modifica el sistema.
- Facilita la detección de fallos en el sistema.
- Permite una reconfiguración fácil y rápida.
- Permite a un sistema realizar múltiples tareas reprogramando el PLC.

### 1.5.1. Estructura interna

Está compuesto principalmente de la unidad central de proceso CPU, y las interfaces de entrada y salida (Figura 1.15.).

El procesador del CPU ejecuta el programa almacenado y programado previamente por el usuario. La interfaz de entrada se encarga de adaptar las señales de los elementos captadores (sensores, finales de carrera, etc.) para que el CPU las interprete como información, y luego a través de la interfaz de salida active algún elemento actuador (cilindros, motor neumático, etc.)

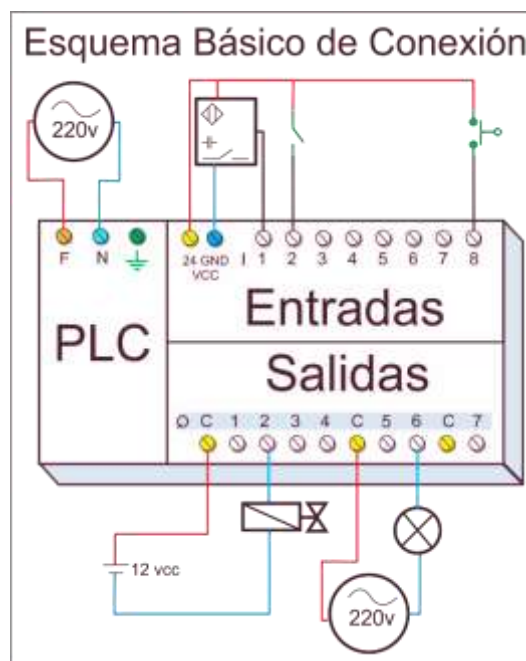


Figura 1.15. Esquema básico de un PLC.

(Fuente: <http://educacionurbana.com/wp-content/uploads/2015/05/esquema-plc.png>)

Cada modelo de PLC puede recibir al menos ocho señales de entrada de corriente continua de 24 V provenientes de elementos como botones, pulsadores, interruptores, fines de carrera etc. Además del control de seis dispositivos de salida de corriente continua de 24 V, tales como lámparas y solenoides de válvulas direccionales.

Es necesario por lo tanto una fuente de 24 V para dotar de potencia a los elementos de entrada y a los relés de salida internos. (Lab-Volt Ltd., 2000)

### 1.5.2. Lenguaje de programación

Para la comunicación entre el usuario y el PLC es necesario utilizar un lenguaje de programación. Los programas de aplicación que crean los usuarios están destinados a ejecutar a través del controlador, el control y automatización del sistema.

Actualmente la mayoría de fabricantes de PLCs diseñan su propio software de programación, por lo que existe una gran variedad de programas

Los tipos de lenguaje de programación más conocidos mundialmente son:

- Lenguaje de contactos o Ladder
- Lenguaje Booleano
- Diagrama de funciones

#### Lenguaje Ladder

El lenguaje de contactos o escalera, es el más conocido entre los usuarios, ya que utiliza símbolos eléctricos de control clásicos. Estos símbolos básicos están normalizados y todos los fabricantes los emplean. (Medina, s.f.)

Para programar un PLC mediante lenguaje Ladder se debe conocer bien las reglas de conmutación y cada uno de los elementos que utiliza este lenguaje. En la tabla 1.5 se muestran algunos de los elementos básicos con su respectiva descripción. (Escuela Politécnica Nacional, 2010)

Tabla 1.5. Elementos de lenguaje Ladder.

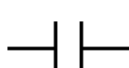
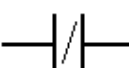




Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.

Tabla 1.5. Elementos de lenguaje Ladder. (Continuación)

Símbolo	Nombre	Descripción
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina RESET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Para la programación se debe tener claro cómo se estructura el programa y cuál es el orden de ejecución, que generalmente es de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, iniciando con los contactos, y luego las bobinas.

### Lenguaje Booleano

Esta lista de instrucciones utiliza la sintaxis de álgebra booleana para ingresar y explicar la lógica de control. Se utilizan las funciones AND, OR y NOT en la implementación de programas de control. (Medina, s.f.)

### Diagrama de Funciones

Lenguaje de diagrama de funciones, es un sistema de tipo gráfico, que permite programar rápidamente, tanto expresiones booleanas como lógicas. Se caracteriza por tener sus funciones básicas resumidas en bloques. Esto genera ventajas al usuario, ya que, solo se debe preocupar por la programación funcional de su rutina y no por programaciones intermedias. En conclusión, este tipo de lenguaje es adecuado para usuarios que no posean muchas habilidades en programación. (Medina, s.f.)

## 1.6. Sistemas electroneumáticos de entrenamiento

Con el objetivo de mejorar la formación académica y profesional en cuanto a automatización industrial, existen diversos módulos de entrenamiento que permiten observar y desarrollar una amplia variedad de ejemplos de neumática y electroneumática.

A continuación se mostrarán algunos ejemplos de módulos de entrenamiento existentes, sus características, elementos.

### 1.6.1. Banco de entrenamiento de neumática / electroneumática c

Permite la simulación desde circuitos simples hasta secuencias complejas tipo cascada y paso a paso. Posibilita una amplia gama de ejercicios utilizando elementos neumáticos y eléctricos en conjunto. (Parker Hannifin, s.f.)



Figura 1.16. Banco de entrenamiento Parker.  
(Fuente: [https://www.parker.com/literature/Brazil/1003\\_5\\_br\\_e.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/1003_5_br_e.pdf))

#### Características generales

- Construido en perfil de aluminio, con panel vertical
- Panel con guías para fácil intercambio de componentes neumáticos y eléctricos.
- Dimensiones: Longitud: 1270; Ancho: 760; Alto: 1900 mm



**Elementos:**

- Fuente 24 V cc/ 5ª 110/220 VCA
- Distribuidor eléctrico
- Juego de cables
- Válvulas direccionales solenoides monoestables 3/2 y 5/2
- Válvulas direccionales solenoides biestables 3/2 y 5/2
- Contactores
- Relay con retardo de energización
- Botonera
- Sensores de proximidad capacitivos
- Sensor de proximidad inductivo
- Sensor de proximidad óptico

**1.6.2. Equipo didáctico tecnológico para electroneumática (TP200)**

Este sistema constituye una base para la formación de carácter práctico e incluye exclusivamente unidades de control electroneumático, adecuado para adquirir los conocimientos básicos de electroneumática, su funcionamiento y utilización. (FESTO, 2009)



Figura 1.17. Equipo didáctico FESTO.

(Fuente: [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/542505\\_leseprobe.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/542505_leseprobe.pdf))

## Componentes:

- Cilindros simple y doble efecto
- Válvulas de estrangulación y antirretorno
- Electroválvulas 3/2 y 5/2
- Sensor de presión
- Finales de carrera
- Pulsadores eléctricos
- Relés
- Bloque distribuidor
- Unidad de mantenimiento de aire comprimido
- Fuente DC 24 V

### 1.6.3. Panel de neumática y electroneumática eléctricos generales

Permite el desarrollo de una amplia variedad de circuitos neumáticos y electroneumáticos aplicados a la industria y controlados por PLC. (Eléctricos Generales, s.f.)



Figura 1.18. Panel de neumática y electroneumática.

(Fuente: <http://www.electricosgenerales.com.pe/lineas/panel-de-neumatica-y-electroneumatica/>)

**Componentes:**

- Fuente de alimentación de aire comprimido
- Unidades de mando eléctrico
- Unidades de interface con relés
- Unidad de contador y temporizador eléctrico
- Controlador lógico programable
- Válvulas neumáticas
- Cilindros de simple y doble efecto
- Electroválvulas, sensores, etc.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Método

Se empleará el método globalizador denominado como QFD (quality function deployment), que tiene como objetivo principal asegurarse que en la definición del producto se consideren las necesidades y requerimientos de los usuarios (o la voz del usuario), además que la misma constituye una herramienta de planificación de la calidad durante el ciclo de vida. En sí, este es un proceso ordenado que permite trasladar los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería. (Riba, 2002, pg. 177)

Se inicia la planificación del producto o **casa de la calidad**. La misma, es una matriz semejante a una casa, que traslada todos los deseos y demandas de los usuarios en requerimientos técnicos del producto. Para conseguir la casa de la calidad se tienen que seguir los siguientes pasos y las siguientes consideraciones.

#### 2.1.1. Voz del usuario

El primer paso consiste en pedir a un grupo de usuarios cuáles son sus deseos y requerimientos. Una vez obtenida la información es necesario categorizarla en:

***Demandas básicas:*** Generalmente estas no son formuladas por el usuario debido a que se consideran obvias.

***Demanda unidimensionales:*** Al mejorar las cualidades del producto, aumenta proporcionalmente la satisfacción del usuario.

***Demandas estimulantes:*** Estas complacen al usuario y diferencian al producto del mercado.

(Riba, 2002, pg. 179)

#### 2.1.2. Análisis de competitividad

Posteriormente, se debe formular al grupo de personas las siguientes tres preguntas acerca del análisis de la competencia en relación con cada demanda.

- ¿Qué importancia tiene para usted su cumplimiento?
- ¿En qué grado los productos de la empresa la cumplen?
- ¿En qué grado los productos de la competencia la cumple?

Una vez generada la información (ponderadas entre 1 y 5), se compila y los resultados se introducen en la casa de la calidad. De la forma siguiente:

*Columna A:* evaluación del cumplimiento del producto de la empresa

*Columna B y C:* evaluación del cumplimiento de los productos de la competencia.

Con el análisis de competencia se procede a establecer lo siguiente. Objetivos a cumplir, índice de mejora, factor de venta e importancia.

*Columna D:* Objetivos (Fijación del nivel deseado, ponderado entre 1 a 5)

*Columna E:* Índice de mejora  $E = D/A \geq 1$

*Columna F:* Factor de venta (evaluación en niveles de 1/1,2/1,5)

*Columna G:* Importancia (a partir de respuestas de los usuarios, de 1 a 5)

Finalmente se establece una ponderación y una ponderación porcentual, de la siguiente forma.

*Columna H:* Ponderación ( $H = E * F * G$ )

*Columna I:* Ponderación porcentual (en % sobre el total de las demandas)<sup>1</sup>

### **2.1.3. Voz del ingeniero**

Es la traducción de las *demandas subjetivas* provenientes de los usuarios en *características técnicas objetivas* del producto. Para llevar esto a cabo, el equipo de diseño debe crear una lista de características técnicas (peso, dimensiones, tiempo, vibraciones, etc.) que puedan dar cumplimiento a las demandas.

### **Correlaciones**

Estas se visualizan en el cuerpo de la casa de la calidad, y muestran la aptitud de cada característica técnica (voz del ingeniero) en satisfacer cada una de las demandas del usuario (voz del usuario). Una herramienta que nos permite establecer cada una de las correlaciones, es a través de la pregunta "Hasta qué punto se podrá predecir que se van a satisfacer las demandas a partir de las características técnicas elegidas". La respuesta a esta pregunta se la puede categorizar en tres niveles: fuerte, mediano y débil (simbolizados por un círculo con punto, un círculo y un triángulo) respectivamente. En el caso de que no existiese relación alguna, simplemente se deja el espacio en blanco.

---

<sup>1</sup> (Riba, 2002, pg. 180)

## Comparación técnica

Una vez terminado el cuadro de correlaciones se procede a realizar la comparación técnica. Este consiste en la valoración de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del cliente. Para esto, se calcula la incidencia de cada característica técnica en base al sumatorio de productos de los factores de incidencia,  $I_d$ , considerando la función de cada correlación, multiplicado por el correspondiente valor de la ponderación,  $S_{dt}$ .

$$\text{Importancia } t = \sum I_d * S_{dt}$$

Importancia porcentual (en forma de % sobre el total de características técnicas)

## Compromisos técnicos

En el techo de la casa de la calidad se puede visualizar los distintos convenios entre las características del producto que se está diseñando. Además de lo mencionado, este permite tomar decisiones que permitan situar al producto en lo más alto en el mercado. Se han fijado cuatro niveles de correlación con sus respectivos símbolos: muy negativa, negativa, positiva y muy positiva. (Riba Romeva, 2002)

## 2.2. Diseño

### 2.2.1. Voz del usuario

Se estableció todos los requerimientos y deseos provenientes del cliente "**Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos (LAIPM)**". Así, a través de una entrevista con el profesor a cargo del laboratorio y se pudo establecer dichos requerimientos. Los cuales se listan a continuación.

- Ocupe poco espacio
- Ligero
- Didáctico
- Fácil manejo
- Conste de tres circuitos
- Durable
- Silencioso

- Circuitos modificables
- Estable, rígido

### 2.2.2. La voz del ingeniero

Una vez identificados los deseos y requerimientos del cliente, se procede traducirlos a un lenguaje técnico, es decir llevar la información generada a variables que puedan ser medibles. Por lo tanto, se procede a establecer lo siguiente.

- Tamaño [m<sup>2</sup>]
- Peso [kg]
- Control electrónico [m]
- Ergonómico
- Número de circuitos
- Durabilidad
- Nivel de ruido [dB]

### 2.2.3. Suposiciones y consideraciones

En el análisis de competitividad es necesario definir la ponderación del cumplimiento del producto de la empresa "**columna A**". En este caso se otorgará el valor de 1, consecuencia de que el mismo es un producto nuevo en el mercado "**Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos (LAIPM)**". Adicionalmente, se asignara idéntico valor para la evaluación de ingeniería (Técnica), por la razón anteriormente mencionada. Por otro lado, como competencia se encuentran los módulos similares que se encuentran disponibles en los distintos laboratorios de la institución (EPN), **columna B y C**, Los valores de ponderación se irán introduciendo de acuerdo a como los mismos reaccionan en cada una de las demandas del usuario.

La casa de la calidad para el diseño de este módulo se encuentra en el Anexo I.

### 2.2.4. Conclusiones de la casa de la calidad

Luego de llenar la casa de la calidad con las correlaciones entre necesidades y características técnicas, y además de calcular la incidencia de cada una de ellas, se puede concluir que los principales parámetros en cuanto a los requerimientos del usuario son:

- **Didáctico**

Característica muy importante ya que el módulo está destinado al entrenamiento de los estudiantes en electroneumática.

- **Circuitos modificables**

Es un requerimiento muy ligado al primero (didáctico) ya que ésta característica permitirá al usuario simular el proceso que desee dentro de las restricciones del módulo y así interiorizar de mejor manera su conocimiento.

- **Estable, rígido**

Característica a tomar en cuenta ya que al ser un sistema cíclico, su estructura debe soportar las cargas dinámicas y estáticas al entrar en funcionamiento.

- **Fácil manejo**

Requerimiento relacionado también a los dos primeros. Debe ser diseñado para que los estudiantes puedan observar su funcionamiento y controlarlo de una manera automática.

Estos cuatro requerimientos inciden en un 66,7% del total, y serán los parámetros más preponderantes en el diseño del módulo electroneumático.

En lo que tiene que ver con las características técnicas (voz del ingeniero), los aspectos que más incidencia poseen son:

- Control electrónico
- Número de circuitos
- Ergonómico

## **2.2.5. Especificaciones técnicas**



Estas especificaciones son parámetros que definen el producto o máquina, y en el caso del presente proyecto, el módulo electroneumático y por lo tanto guiarán al diseño y construcción del mismo.

Con los resultados obtenidos en la casa de la calidad se ha podido determinar las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas.

<b>Cliente: Laboratorio de automatización industrial de procesos mecánicos</b>		<b>PRODUCTO: Módulo electroneumático para el LAIPM</b>		<b>Fecha inicial: 28/05/2017</b> <b>Última revisión: 26/07/2017</b> <b>Página 1/1</b>
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Propone</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>	
Funciones	C	R	Control electrónico	
	C	R	Circuitos modificables	
	C	R	Interfaz gráfica	
Dimensiones	D	D	Longitud del módulo máx.= 1m	
	D	D	Ancho del módulo máx. = 0,7 m	
Movimiento	D	D	Velocidad de cilindros controlada	
Materiales	C	R	Liviano	
	D	D	Peso máximo < 70 kg	
Capacidad	C	R	Montaje y desmontaje de circuitos	
	D	D	Nivel de ruido < 30 dB	
Seguridad y ergonomía	D	D	Botonera con ON/ STOP	
<b>Leyendas de Proponente</b> C: Cliente D: Diseño		<b>Leyendas de tipo</b> R: Requerimiento D: Deseo		

### 2.3. Estructura funcional

Antes de definir el concepto de estructura funcional, se partirá del concepto de función global que se define como la tarea global que va a realizar el producto. La función global no es más que una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. La desventaja de trabajar con esta herramienta es que es muy esquemática, y por esta razón es necesario dividirla en sub-funciones (sub-tareas), y a su vez establecer las relaciones de flujo entre las sub-funciones. A la representación de la subdivisión e instauración de relaciones se le da el nombre de **estructura funcional**. (Riba, pág. 126)

### 2.3.1. Análisis funcional

Es una técnica que permite dividir la función principal en sub-funciones, y esta a su vez en funciones más precisas y pulidas. El objetivo de la misma es obtener el diseño más adecuado de un producto.

Luego de dividir la función global en sub-funciones y en funciones detalladas, se procede a organizarlas. Esto permitirá agrupar las funciones en bloques denominados módulos, con los cuales se da inicio al proceso de selección de alternativas.

Las funciones presentadas en cada módulo deben ser estudiadas cuidadosamente intentando cumplir las necesidades con las soluciones más óptimas. Es decir, las opciones que presenten un bajo precio en la implementación y un alto desempeño.

El proceso que se debe seguir para el análisis funcional es el siguiente:

- Ordenar las funciones para poder definir los módulos.
- Establecer la relación de material, energía y señal que ingresa a cada módulo.
- Proponer las soluciones necesarias para cada función
- Finalmente desarrollar la matriz morfológica.

### 2.3.2. Diagrama funcional

Todas las funciones que desempeñará el módulo se muestran a continuación. En la figura 2.1 se inicia con la función global del módulo (Nivel 0), hasta obtener un desarrollo más detallado que incluye hasta las funciones más simples (Nivel 2) (Figura 2.3).

Nivel 0

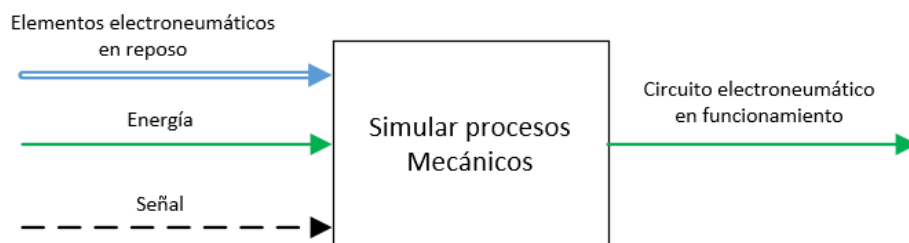


Figura 2.1. Nivel 0 del Diagrama funcional  
(Fuente: propia)

Nivel 1

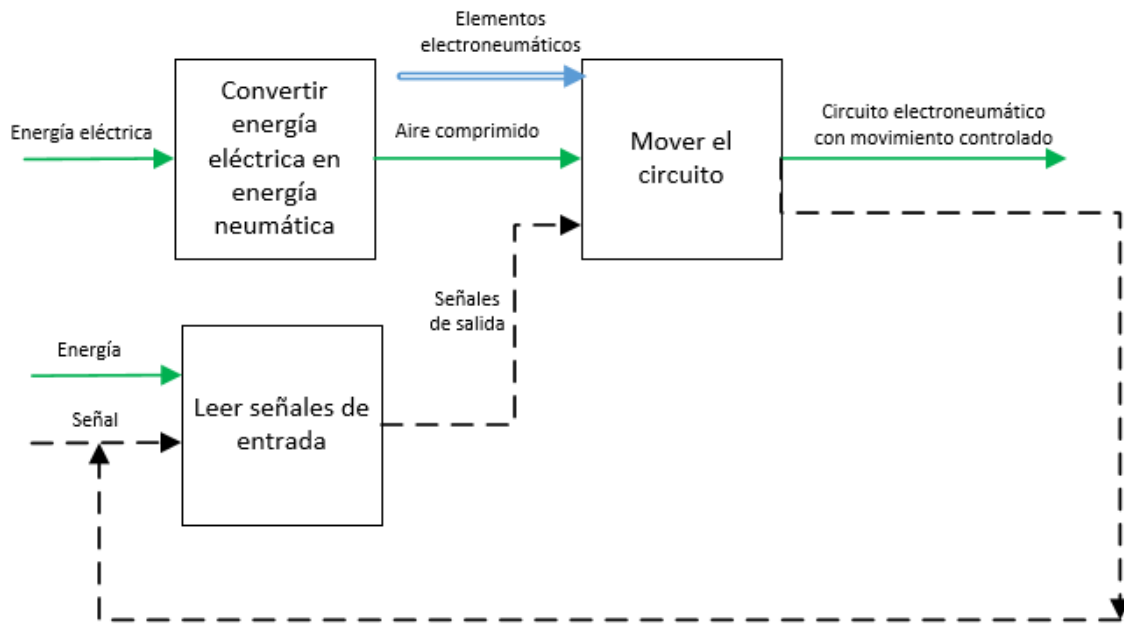


Figura 2.2. Nivel 1 del Diagrama funcional.  
(Fuente: Propia)

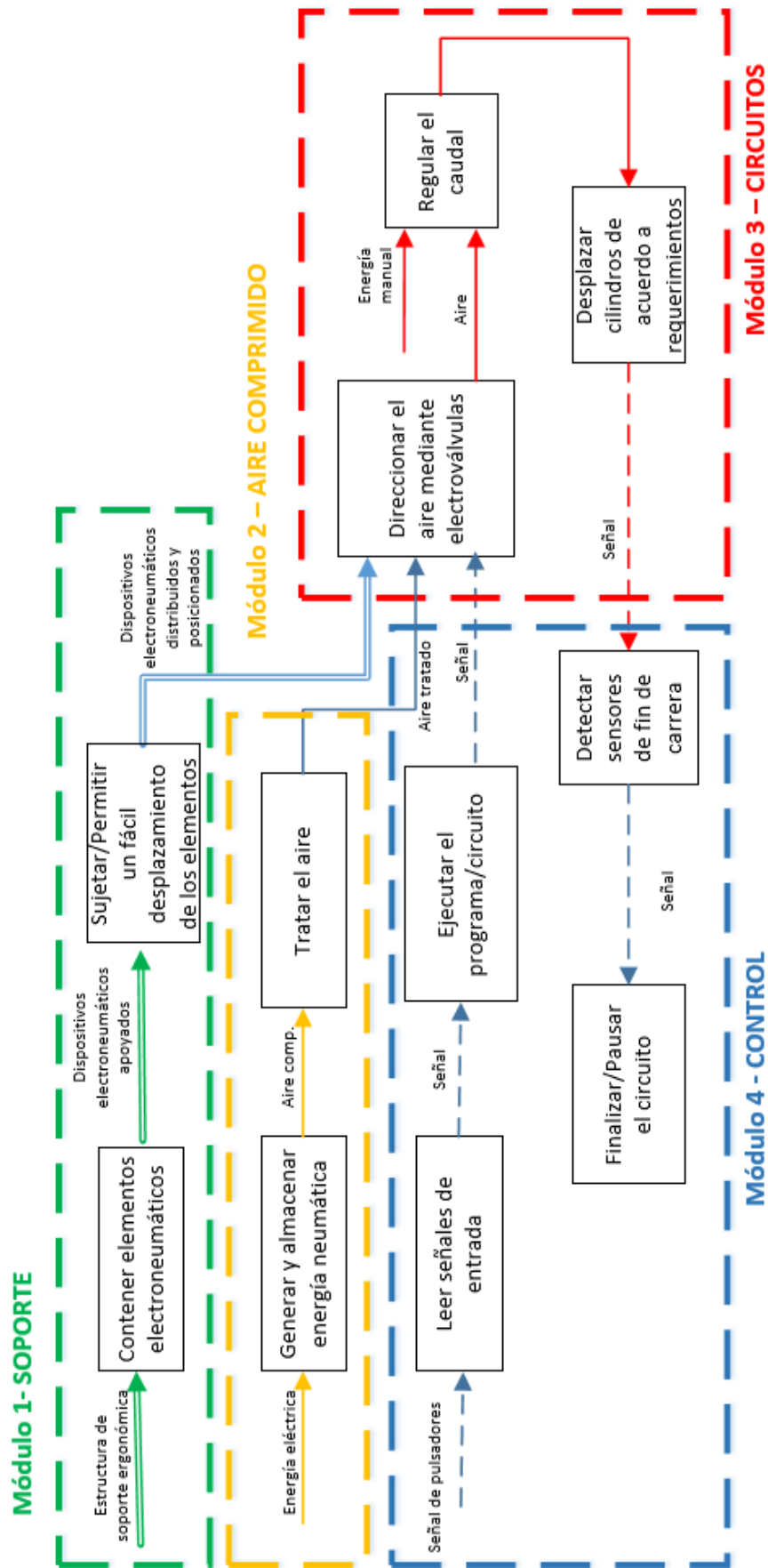


Figura 2.3. Nivel 2 del Diagrama funcional.  
(Fuente: propia)

### **2.3.3. Análisis del diagrama funcional**

En la figura 2.1 se encuentra el Nivel 0 del diagrama funcional. Éste muestra la función global que realizará la máquina, la cual es simular procesos mecánicos en los cuales intervienen elementos neumáticos y electroneumáticos. La entrada de material en este caso sería todos los elementos que intervienen en el proceso. Para hacer posible el movimiento de dichos elementos también posee una entrada de energía y una señal de entrada para permitir controlar el sistema.

Para el Nivel 1, la función global se despliega en 3 funciones más específicas: Convertir la energía eléctrica en energía neumática, leer el programa y señales, y movilizar el circuito, obteniendo como resultado final el movimiento de acuerdo a los requerimientos.

El nivel 2 se refiere a funciones más específicas aún. Se inicia con la estructura de soporte que contendrá los elementos electroneumáticos, paralelamente, se encuentran las funciones de almacenamiento de energía y lectura de señales de entrada. Luego vienen las funciones de tratamiento del aire comprimido y la ejecución del programa o circuito. La siguiente etapa es el direccionamiento y regulación del aire por medio de las electroválvulas y estranguladores respectivamente. Finalmente se encuentran otras funciones de control como la detección de señales de parte de los sensores (finales de carrera) y la finalización o pausa del circuito electroneumático.

En la figura 2.3, además de las funciones para el Nivel 2, se puede observar las funciones se han agrupado en módulos, los cuales serán independientes, pero en conjunto permitirán el correcto funcionamiento de todo el sistema.

## **2.4. Evaluación de alternativas**

La siguiente etapa exige encontrar la solución más conveniente para cada uno, tomando en cuenta los criterios más relevantes obtenidos en la Casa de la calidad.

Según (Riba Romeva, 2002), Para cada módulo se debe presentar al menos 3 alternativas con características diferentes.

Los criterios con los cuales se evaluarán las alternativas también deben ser definidos y para este caso son: Tamaño, Costo, Ergonomía.

### **2.4.1. Módulo 1 - Soporte**

Este módulo es una estructura firme y rígida que realizará las siguientes funciones:

- Contener a los componentes de los módulos, no solo a los componentes de trabajo sino también a los de control.
- Sujetar y permitir un fácil desplazamiento de los elementos.

Esta segunda función se refiere a que el anclaje debe permitir modificar con relativa facilidad la posición de los elementos en el panel.

Adicionalmente, dicho modulo se lo dividirá en dos sub divisiones, debido a que se necesita establecer un soporte para los componentes de trabajo y otro para los componentes de control.

#### **2.4.1.1. Contener a los componentes del módulo**

Este módulo estará encargado principalmente de contener o soportar a los elementos de trabajo como electroválvulas, cilindros, válvulas, relés, etc. Pero, es probable, que también pueda servir de soporte a los elementos de control. Por lo tanto, con esta consideración, se ha establecido dos sub conjuntos de análisis, el primero se enfocara en determinar un soporte para los elementos de trabajo, y el segundo para los componentes de control.

##### **A. Soporte para los componentes de trabajo**

Debido a que el soporte está relacionado directamente con la geometría y el material, es importante dividir este módulo en sub módulos. Los cuales permitan tener una mejor apreciación del módulo y a la vez tomar la mejor opción. Como se muestra a continuación.

##### **A.1. Geometría**

###### **A.1.1. Disposición horizontal**

La geometría con disposición horizontal es la variante de base o soporte fundamental que se debe implementar. La misma permitirá que los elementos se distribuyan de la manera más correcta sobre la superficie de trabajo. Adicionalmente, los componentes podrán ocupar tantas posiciones como se

requieran, como se observa en la figura 2.4. La desventaja con este tipo de opción, es la poca estética, lo cual es de gran importancia cuando se refiere al uso de material didáctico.

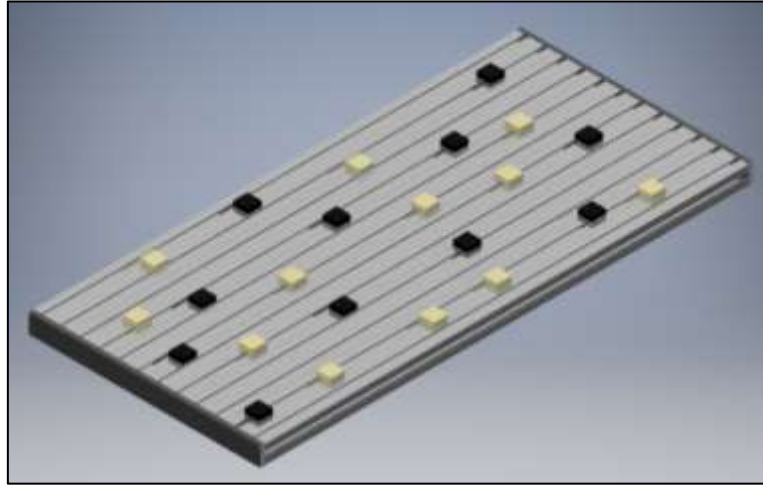


Figura 2.4. Geometría disposición horizontal.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Estabilidad
- Bajo requerimiento de material (costo peso)
- Fácil montaje y desmontaje
- Amigable con el usuario

### **Desventajas**

- Requiere más espacio horizontal (en una mesa de trabajo)
- Dificultad de movilización
- Manipulación y control es menos ergonómica

### **A.1.2. Disposición vertical**

El soporte ensamblado con disposición vertical tiene un grado de complejidad mayor al anteriormente mencionado, por el hecho de que se necesita un soporte horizontal o bancada que establezca o de rigidez a todo el conjunto, como se observa en la figura 2.5. Al igual que el modulo anterior, este brinda soporte y distribución a los elementos del módulo, pero, la ventaja que tiene ante su variante horizontal, es que este permite una visualización más amplia o más detallada de la distribución de los componentes sobre los perfiles de aluminio.

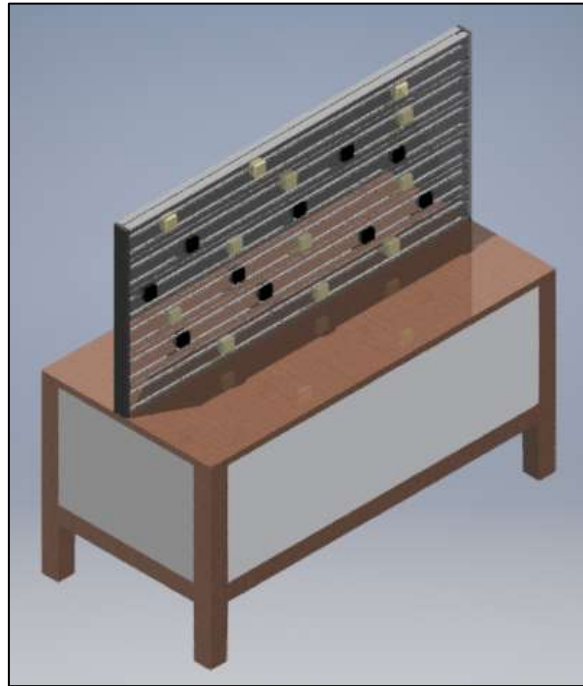


Figura 2.5. Geometría disposición vertical.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Mejor visualización del funcionamiento de los circuitos.
- Ocupa menos espacio horizontal en una mesa de trabajo
- Se facilita el transporte del módulo (ruedas)
- Mayor espacio de trabajo para los elementos

### **Desventajas**

- Es menos estable debido a que el anclaje es únicamente inferior.
- Ocupa mayor cantidad de material (costo y peso).
- Requiere rigidizadores.

### **A.1.3. Disposición Inclinada**

El soporte con disposición inclinada ofrece mucho más ventajas que las opciones descritas anteriormente, y esto se debe a que esta posee una combinación de ambas. Por lo tanto, ofrecerá una adecuada distribución de los componentes, excelente visualización, y fácil movilización. En contraste con esto, la desventaja que este puede generar, es la necesidad de implementar una bancada o estructura



soporte, la cual permita sostener, y además crear el ángulo de inclinación de la base del módulo .Como se muestra en la figura 2.6.

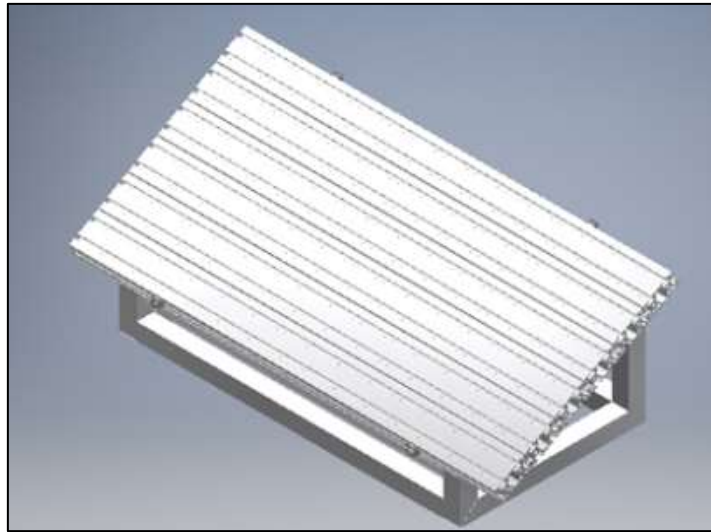


Figura 2.6. Geometría disposición inclinada.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Excelente visualización de los componentes.
- Estable
- Fácil movilización
- Mayor espacio de trabajo para los elementos

### **Desventajas**

- Costo
- Se dificulta el transporte del módulo

## **A.2. Material**

### **A.2.1. Perfiles figurados de aluminio.**

Los perfiles figurados se caracterizan por ofrecer una alta resistencia no solo a la corrosión sino también a las cargas estáticas o dinámicas que se presenten. Por su diseño, estos muestran una gran ventaja en relación a otros materiales, ya que tienen una combinación de estética y funcionalidad.

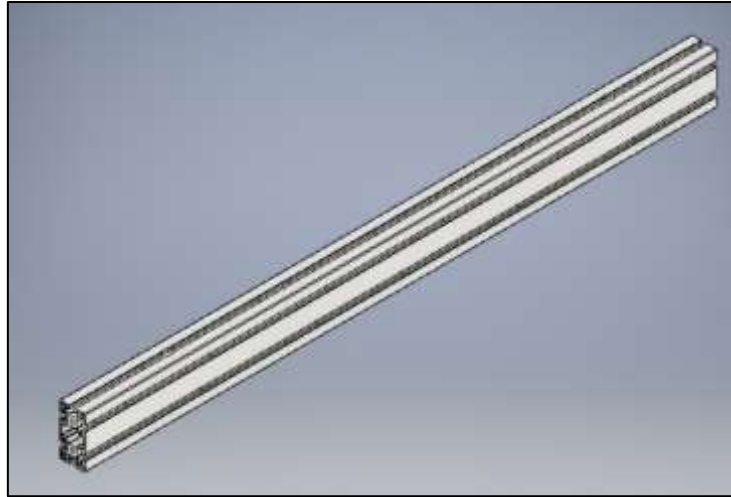


Figura 2.7. Perfil de aluminio.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Altamente resistente a las cargas estáticas
- Libre desplazamiento de los componentes.
- Resistente a la corrosión
- Altamente estético
- Fácil de manufacturar (cortar)

### **Desventajas**

- Costo (perfiles importados)
- Peso ( $2700 \text{ kg/m}^3$ )
- Baja disponibilidad

### **A.2.2. Plancha de acero inoxidable**

Al igual que los perfiles figurados de aluminio, el acero inoxidable posee excelentes propiedades químicas, lo cual permite que sea altamente resistente a la corrosión. La implementación también es sencilla solo se necesita preparar un panel de acero inoxidable. La desventaja que presenta esta placa es la falta de estética, lo cual es un factor muy influyente, al momento de la selección de alternativas.

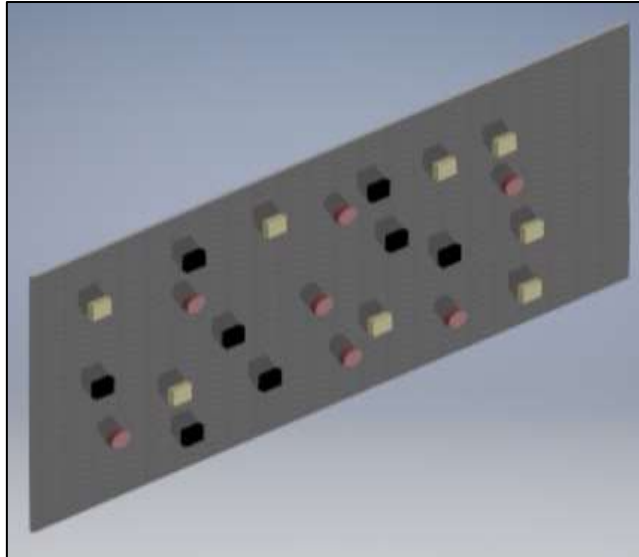


Figura 2.8. Placa de acero inoxidable.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Más barato que los perfiles figurados
- Liviano
- Alta disponibilidad

### **Desventajas**

- Poco estético
- Dificultad en el posicionamiento de los elementos

## **B. Soporte para los componentes de control**

El soporte permitirá fijar todos los elementos de control PLC, botones, fuente, placa, etc. Dentro de las alternativas de implementación se establecen dos. La primera opción utilizar un módulo de control ya establecido, y como segunda opción es implementar un soporte que se acople con el soporte de los componentes de trabajo. Por lo tanto, para determinar cuál de las alternativas anteriormente mencionadas es la mejor, se procede a realizar el siguiente análisis.

### **B.1. Soporte incorporado de aluminio**

Consiste en acoplar fijamente con el soporte que contiene los componentes de trabajo. Esta ofrece muchas ventajas no solo desde el punto de vista de resistencia

sino también de funcionalidad, ya que al encontrarse acoplado brinda autonomía y ergonomía.

### **Ventajas**

- Ergonómico
- Componente fijo
- Peso
- Autónomo

### **Desventajas**

- Costo
- No muy estético

### **B.2. Soporte incorporado de acrílico**

Esta alternativa de diseño es una variante del soporte anteriormente mencionado. Sera constituido de acrílico y brindara las mismas ventajas de ergonomía y funcionalidad. Adicionalmente, por la naturaleza de su material podrá ser procesado con facilidad (corte y perforado). Por otro lado, la desventaja que presenta esta opción es la baja resistencia a cargas.

### **Ventajas**

- Autónomo
- Estético
- Ergonómico
- Componente fijo
- Peso

### **Desventajas**

- Costo
- Resistencia

### **B.2. Tablero del laboratorio**

Dicho soporte ya se encuentra elaborado, el mismo que sirve como módulo de control para ciertas tesis del laboratorio. Este presenta muchas ventajas sobre las alternativas anteriormente mencionadas, entre ellas se puede referir a su excelente estética y resistencia, pero el punto más sobresaliente es su costo cero, debido a que ya está construido. Por otro lado, el módulo electroneumático no será autónomo

con este componente, ya que el mismo no trabajara exclusivamente con el módulo, y esto a su vez generara que exista desorden y tiempo perdido.

### **Ventajas**

- Bajo coste de adaptación (Cableado)
- Estético
- Altamente resistente

### **Desventajas**

- No autonomía
- Débil ergonomía
- Componente móvil

## **2.4.1.2. Sujeción de los elementos**

Se definirá el elemento que permitirá realizar la sujeción entre el soporte y los componentes del módulo electroneumático.

### **A. Pernos y tuercas**

Son elementos metálicos generalmente fabricados de acero o hierro, con diferente grado de dureza. Estos se caracterizan por unir a los componentes de una manera fija, es decir que restringen todos los grados de libertad a los componentes del módulo.

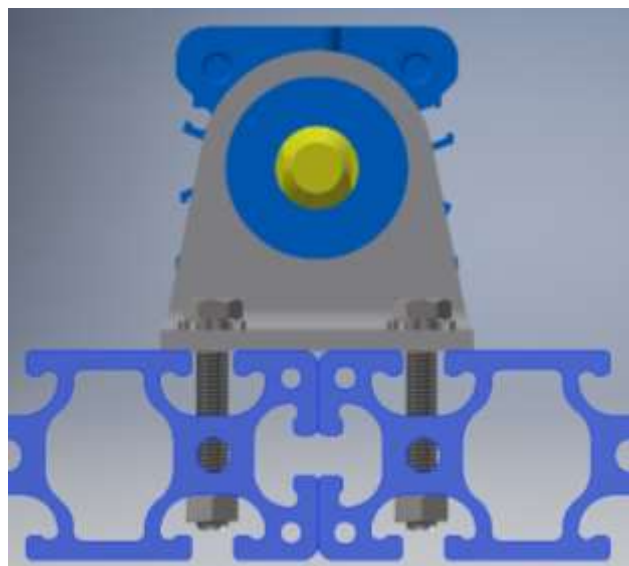


Figura 2.9. Sujeción perno – tuerca.  
(Fuente: propia)

### **Ventajas**

- Bajo costo
- Alta disponibilidad

### **Desventajas**

- No permite modificar de manera rápida la disposición de elementos.
- Afectación a los perfiles de aluminio debido a las perforaciones.

### **B. Tuercas St**

Es una variante de la tuerca habitual, y se caracteriza por poseer la forma del canal de los paneles de aluminio, de tal forma que se desplazaran a través de los mismos como una corredera.



Figura 2.10. Tuerca St en el panel de aluminio.  
(Fuente: Catálogo ITEM24)

### **Ventajas**

- Permite una modificación rápida de la posición de los elementos del módulo.
- La integridad de los paneles de aluminio no es afectada.
- Instalación rápida y sencilla

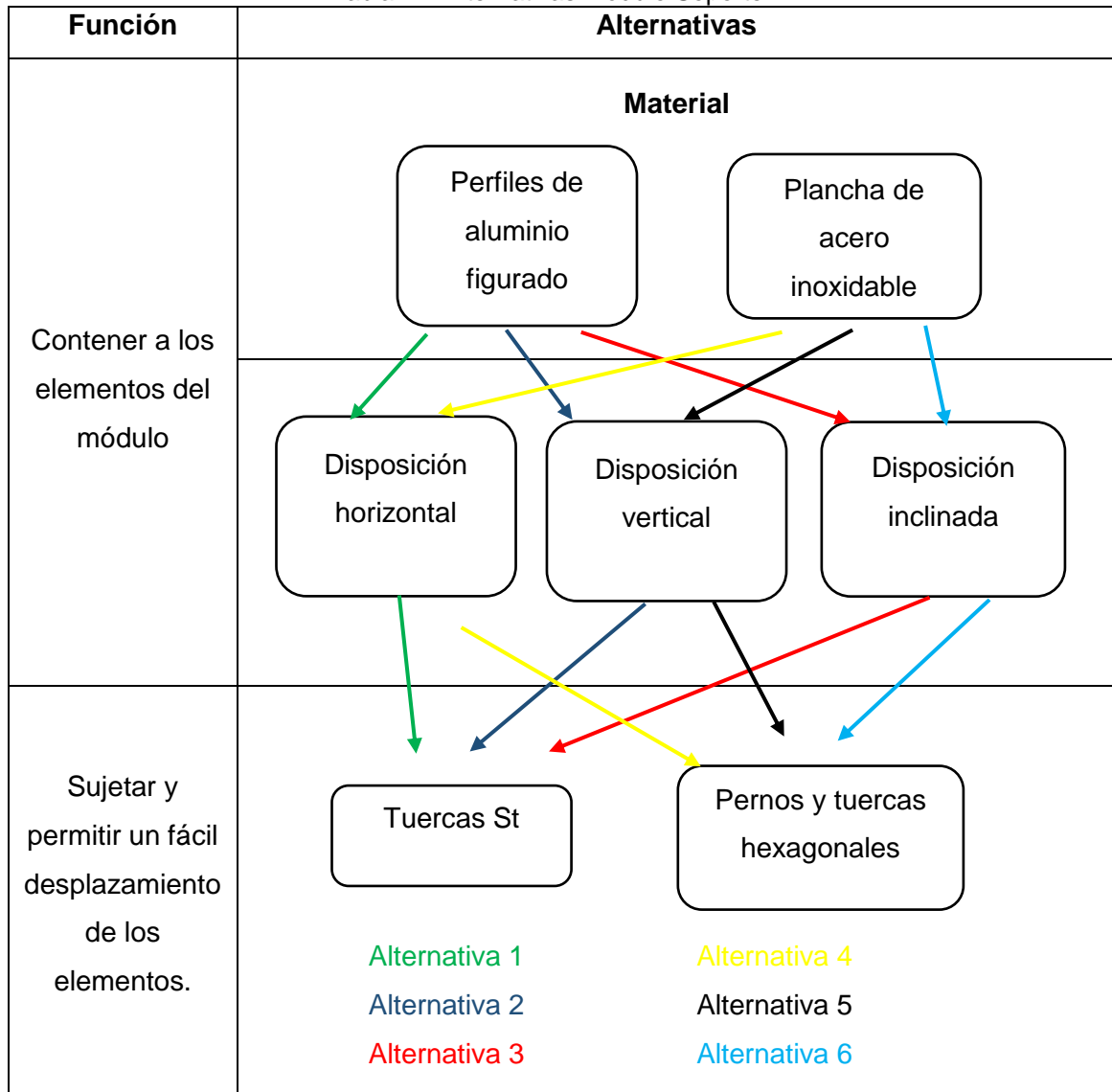
### **Desventajas**

- Costo elevado (hasta 10 veces vs perno)
- Baja disponibilidad (accesorio importado)

### 2.4.1.3. Alternativas de módulo de soporte

A continuación se muestran las alternativas del módulo, las cuales son resultado de la combinación de las soluciones para cada función.

Tabla 2.2 Alternativas Módulo Soporte.



### 2.4.1.4. Evaluación y selección (Módulo 1)

Al igual que las alternativas de diseño, es importante dividir la evaluación y selección en dos sub módulos. El primero correspondiente al soporte de los componentes de trabajo y el segundo referente a los elementos de control. Por otro lado los criterios de ergonomía, espacio, resistencia y estética evaluarán el primer sub módulo, mientras que

autonomía, ergonomía, resistencia y costo serán los encargados de valorar al segundo sub módulo. Dichos criterios de ponderación se describen a continuación.

- **Ergonómico:** Fácil manejo por parte del usuario en cuanto a modificación de la posición de los componentes, transporte de todo el módulo, encendido, etc.
- **Espacio:** El módulo electroneumático debe ser lo más compacto en lo posible, ya que el laboratorio de automatización es limitado en espacio.
- **Resistencia:** Los elementos constituyentes del módulo electroneumático deben ser resistente a procesos de oxidación natural, además de poseer buena resistencia mecánica para soportar el peso de los componentes y vibraciones durante la operación.
- **Estético:** La máquina debe ser agradable desde la perspectiva de los estudiantes. Además, la misma reflejará la sensación de modernismo en el laboratorio de automatización.
- **Autónomo:** Hace referencia a que el módulo de control, trabaje exclusivamente con el módulo electroneumático. Es decir que el panel de control y los componentes de trabajo se encuentren acoplados en un solo conjunto
- **Costo:** Es toda la inversión monetaria que involucra la construcción del módulo.

#### A. Soporte para los elementos de trabajo

En la tabla 2.3 se mencionan todas las alternativas de diseño posibles que se pueden generar con los subconjuntos establecidos. Para lo cual se realizará una combinación entre las tres alternativas geométricas y las dos alternativas de material.

Tabla 2.3. Alternativas de diseño “Soporte elementos de trabajo”.

Alternativa	Combinación
1	Panel figurado disposición horizontal
2	Panel figurado disposición vertical
3	Panel figurado disposición inclinada
4	Placa de acero inoxidable disposición horizontal
5	Placa de acero inoxidable disposición vertical
6	Placa de acero inoxidable disposición inclinada

A continuación se procederá a realizar la ponderación y evaluación para cada una de las alternativas.



Tabla 2.4. Ponderación de criterios “Soporte elementos de trabajo”.

Espacio > Ergonómico > Estético = Resistencia						
Criterio	Espacio	Ergonómico	Estético	Resistencia	$\sum_1^+$	Ponderación
Espacio		1	1	1	4	0,4
Ergonómico	0		1	1	3	0,3
Estético	0	0		0,5	1,5	0,15
Resistencia	0	0	0,5		1,5	0,15
				Suma	10	1

Tabla 2.5. Soporte elementos de trabajo – Peso específico para el criterio Espacio.

Panel Fig. Inc. = Placa Ace. Inc. > Panel Fig. Hor. = Placa Ace. Hor. > Panel Fig. Ver. = Placa Ace. Ver.								
Espacio	Panel Fig. Hor.	Panel Fig. Ver.	Panel Fig. Inc.	Placa Ace. Hor.	Placa Ace. Ver.	Placa Ace. Inc.	$\sum + 1$	Ponderación
Panel Fig. Hor.		1	0	0,5	0	0	2,5	0,13
Panel Fig. Ver.	0		0	0	0,5	0	1,5	0,08
Panel Fig. Inc.	1	1		1	1	0,5	5,5	0,28
Placa Ace. Hor.	0,5	1	0		1	0	3,5	0,18
Placa Ace. Ver.	0	0,5	0	0		0	1,5	0,08
Placa Ace. Inc.	1	1	0,5	1	1		5,5	0,28
						suma	20	1,00

Tabla 2.6. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio Ergonomía.

Panel Fig. Inc. = Placa Ace. Inc. > Panel Fig. Ver. = Placa Ace. Ver. > Panel Fig. Hor. = Placa Ace. Hor.								
Espacio	Panel Fig. Hor.	Panel Fig. Ver.	Panel Fig. Inc.	Placa Ace. Hor.	Placa Ace. Ver.	Placa Ace. Inc.	$\sum + 1$	Ponderación
Panel Fig. Hor.		0	0	0,5	0	0	1,5	0,07
Panel Fig. Ver.	1		0	1	0,5	0	3,5	0,17
Panel Fig. Inc.	1	1		1	1	0,5	5,5	0,26
Placa Ace. Hor.	0,5	0	0		0	0	1,5	0,07
Placa Ace. Ver.	1	0,5	0	1		0	3,5	0,17
Placa Ace. Inc.	1	1	0,5	1	1		5,5	0,26
						suma	21	1,00

Tabla 2.7. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio de Esteticidad.

Panel Fig. Inc. > Panel Fig. Ver. > Panel Fig. Hor. = Placa Ace. Inc. > Placa Ace. Ver. > Placa Ace. Hor.								
Espacio	Panel Fig. Hor.	Panel Fig. Ver.	Panel Fig. Inc.	Placa Ace. Hor.	Placa Ace. Ver.	Placa Ace. Inc.	$\sum + 1$	Ponderación
Panel Fig. Hor.		0	0	1	1	0,5	3,5	0,17
Panel Fig. Ver.	1		0	1	1	1	5	0,24
Panel Fig. Inc.	1	1		1	1	1	6	0,29
Placa Ace. Hor.	0	0	0		0	0	1	0,05
Placa Ace. Ver.	0	0	0	1		0	2	0,10
Placa Ace. Inc.	0,5	0	0	1	1		3,5	0,17
						suma	21	1,00

Tabla 2.8. Soporte elementos de trabajo - Peso específico para el criterio Resistencia.

Panel Fig. Inc. = Panel Fig. Ver. = Panel Fig. Hor. > Placa Ace. Inc. = Placa Ace. Ver. = Placa Ace. Hor.								
Espacio	Panel Fig. Hor.	Panel Fig. Ver.	Panel Fig. Inc.	Placa Ace. Hor.	Placa Ace. Ver.	Placa Ace. Inc.	$\sum + 1$	Ponderación
Panel Fig. Hor.	0,5	0,5	0,5	1	1	1	5	0,24
Panel Fig. Ver.	0,5	0,5	0,5	1	1	1	5	0,24
Panel Fig. Inc.	0,5	0,5	0,5	1	1	1	5	0,24
Placa Ace. Hor.	0	0	0	0,5	0,5	0,5	2	0,10
Placa Ace. Ver.	0	0	0	0,5	0,5	0,5	2	0,10
Placa Ace. Inc.	0	0	0	0,5	0,5	0,5	2	0,10
						suma	21	1,00

Tabla 2.9. Soporte elementos de trabajo – Conclusiones.

Alternativas	Espacio	Ergonomía	Esteticidad	Resistencia	Suma	Prioridad
Panel Fig. Hor.	0,05	0,02	0,03	0,04	0,13	4
Panel Fig. Ver.	0,03	0,05	0,04	0,07	0,18	3
Panel Fig. Inc.	0,11	0,08	0,04	0,04	0,27	1
Placa Ace. Hor.	0,07	0,02	0,01	0,03	0,12	5
Placa Ace. Ver.	0,03	0,05	0,01	0,01	0,11	6
Placa Ace. Inc.	0,11	0,08	0,03	0,03	0,24	2

Según la tabla 2.9 la alternativa que mejor cumple los criterios de evaluación es la número 3, es decir el panel figurado con disposición inclinada.

### B. Soporte para los componentes de control.

Las alternativas que se procederán a ponderar y evaluar son las que se definieron en la sección anterior, es decir tanto el soporte acoplado de aluminio como el de acrílico, y el soporte aislado. Como se muestra a continuación.

Tabla 2.10. Ponderación de criterios “Soporte componentes de control”.

Autonomo > Ergonomico > Resistencia > Costo						
Criterio	Autonomo	Ergonomico	Resistente	Costo	$\sum + 1$	Ponderación
Autonomo	1	1	1	1	4	0,4
Ergonomico	0	1	1	1	3	0,3
Resistente	0	0	1	1	2	0,2
Costo	0	0	0	1	1	0,1
				suma	10	1

Tabla 2.11. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Autónomo.

Sop. Inc. Al. = Sop. Inc. Ac. > Sop. Aislado					
Autónomo	Sop. Inc. Al.	Sop. Inc. Ac.	Sop. Aislado	$\Sigma + 1$	Ponderación
Sop. Inc. Al.		0,5	1	2,5	0,417
Sop. Inc. Ac.	0,5		1	2,5	0,417
Sop. Aislado	0	0		1	0,167
			suma	6	1

Tabla 2.12. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Ergonómico.

Sop. Inc. Ac. > Sop. Inc. Al. > Sop. Aislado					
Ergonomico	Sop. Inc. Al.	Sop. Inc. Ac.	Sop. Aislado	$\Sigma + 1$	Ponderación
Sop. Inc. Al.		0	1	2	0,333
Sop. Inc. Ac.	1		1	3	0,500
Sop. Aislado	0	0		1	0,167
			suma	6	1

Tabla 2.13. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Resistencia.

Sop. Aislado > Sop. Inc. Al. > Sop. Inc. Ac.					
Autonomo	Sop. Inc. Al.	Sop. Inc. Ac.	Sop. Aislado	$\Sigma + 1$	Ponderación
Sop. Inc. Al.		1	0	2	0,333
Sop. Inc. Ac.	0		0	1	0,167
Sop. Aislado	1	1		3	0,500
			suma	6	1

Tabla 2.14. Soporte componentes de control– Peso específico para el criterio Costo.

Sop. Aislado > Sop. Inc. Ac. > Sop. Inc. Al.					
Autonomo	Sop. Inc. Al.	Sop. Inc. Ac.	Sop. Aislado	$\Sigma + 1$	Ponderación
Sop. Inc. Al.		0	0	1	0,167
Sop. Inc. Ac.	1		0	2	0,333
Sop. Aislado	1	1		3	0,500
			suma	6	1

Tabla 2.15. Soporte componentes de control – Conclusiones.

Alternativas	Autonomo	Ergonomico	Resistencia	Costo	$\Sigma + 1$	Prioridad
Sop. Inc. Al.	0,167	0,1	0,067	0,017	0,350	2
Sop. Inc. Ac.	0,167	0,15	0,033	0,033	0,383	1
Sop. Aislado	0,067	0,05	0,100	0,050	0,267	3

Como se muestra en la tabla 2.15 la mejor alternativa de implementación es el soporte incorporado de acrílico.

En conclusión la mejor alternativa de diseño para este módulo es el que está compuesto por el soporte con perfiles figurados disposición inclinada y el soporte de acrílico.

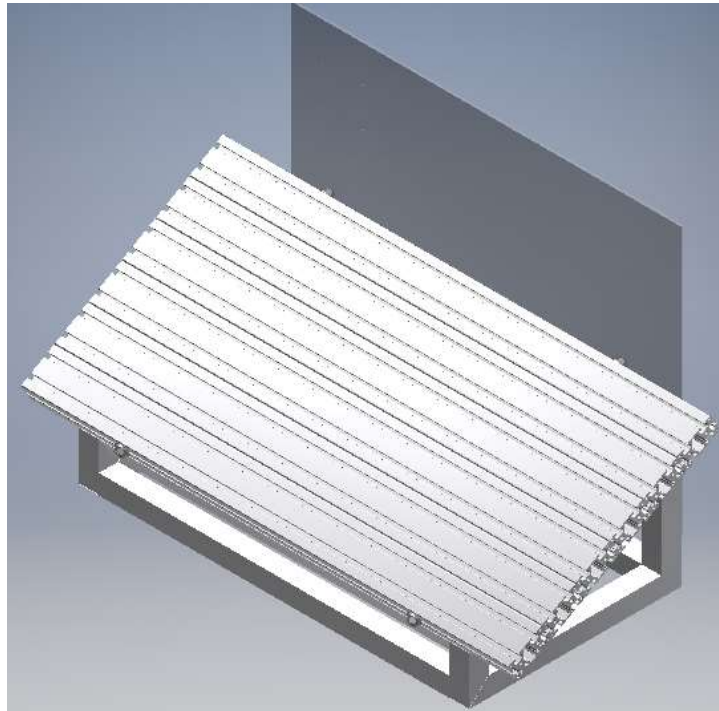


Figura 2.11. Solución para módulo de soporte

## **Módulo 2: Aire comprimido**

Este módulo es el encargado de realizar las siguientes funciones:

- Elevar la presión del aire.
- Tratamiento del aire antes de que entre al circuito electroneumático.
- Distribución del aire hacia los elementos del módulo.

### **2.4.1.5. Elevar la presión del aire**

Para esta función se ha dispuesto una única opción, que es el compresor de pistón que se encuentra en el laboratorio.



Figura 2.12. Compresor Campbell.  
Fuente: <https://campbellhausfeld.com/product>

#### 2.4.1.6. Tratamiento de aire

Esta función se llevará a cabo mediante una unidad de mantenimiento, que es una unidad fundamental de todo sistema neumático, y se coloca justo en el inicio del mismo. El mismo realizara las funciones de filtración, regulación de presión y lubricación.

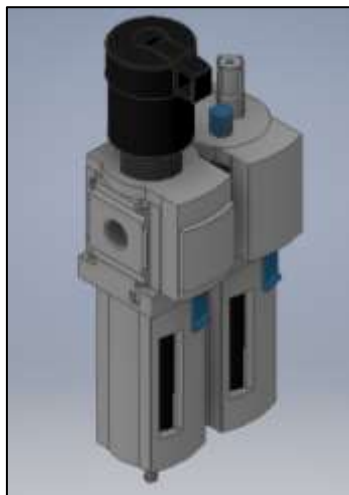


Figura 2.13. Unidad de tratamiento de aire.

#### 2.4.1.7. Distribución del aire

Debido a su amplia disponibilidad y uso local, se ha dispuesto utilizar un distribuidor tipo VTR como el que se muestra a continuación en la figura 2.14.



Figura 2.14. Distribuidor de aire.

(Fuente: [https://www.schmalz.com/media/asset/file/cache/thumbnail/712x548/v/a/vacuum-compressed-air-distributors-vtr-PGE-00111-350-214\\_D\\_1010x673.jpg](https://www.schmalz.com/media/asset/file/cache/thumbnail/712x548/v/a/vacuum-compressed-air-distributors-vtr-PGE-00111-350-214_D_1010x673.jpg))

### 2.4.1.8. Evaluación y selección de los módulos

Tabla 2.16. Alternativas del Módulo 2: Aire comprimido.

Función	Alternativas
Generación de aire comprimido	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Compresor de pistones</div>
Tratamiento de aire	<div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Unidad de mantenimiento: filtro, regulador de presión</div>
Distribución de aire	<div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Distribuidor tipo VTR</div> <p style="text-align: center; color: green; margin-top: 10px;">Alternativa 1</p>

## 2.4.2. Módulo 3: Circuitos

Este módulo hace referencia, a la configuración que se realizará a los elementos neumáticos y electroneumáticos. El objetivo es conseguir optimizar espacio y componentes, para así poder lograr el mayor número de circuitos posibles.

Los circuitos electroneumáticos son una representación didáctica y a pequeña escala de un determinado proceso mecánico que se utiliza en la industria. Dependerán de los diseños didácticos y el grado de aprendizaje que se quiera enseñar.

### 2.4.2.1. Puerta automática (2 cilindros)

#### Ventajas

- Aplicación muy conocida y usada en la industria.
- Bajo costo de elementos
- Ocupa poco espacio

#### Desventajas

- Baja complejidad
- Circuitos secundarios escasos

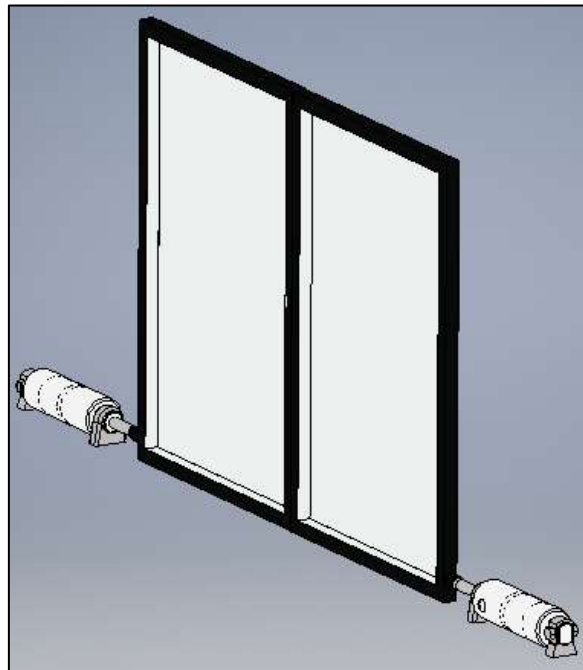


Figura 2.15. Puerta automática.  
(Fuente: propia)

### 2.4.2.2. Proceso de taladrado (3 cilindros)

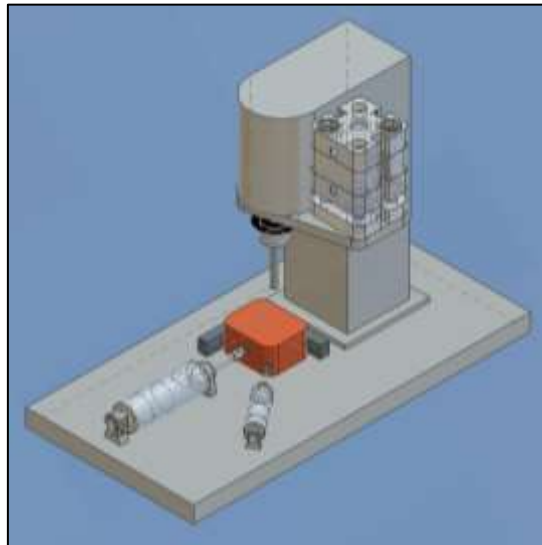


Figura 2.16. Taladro de bancada.  
(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Más didáctico ya que intervienen diversos elementos en el panel.
- Aplicación muy conocida y usada en la industria.
- Mejor aprovechamiento de los elementos disponibles.
- Se derivan más circuitos a partir de éste.

#### Desventajas

- Ocupa más espacio
- Mayor nivel de ruido y vibración.

### 2.4.2.3. Proceso de fresado (5 cilindros)

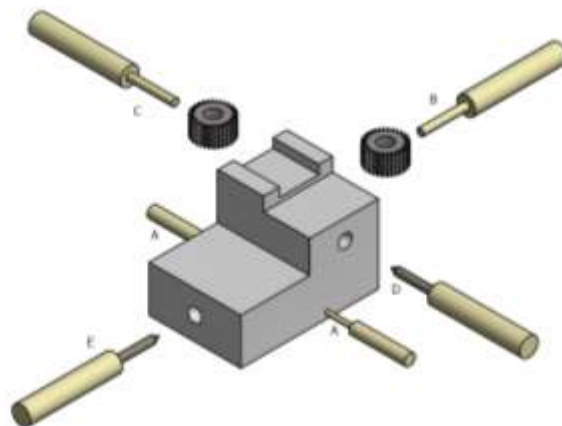


Figura 2.17. Fresado.  
(Fuente: Propia)



## Ventajas

- Involucra dos procesos mecánicos muy conocidos y aplicados
- Mejor aprovechamiento de los elementos disponibles.
- Se derivan circuitos más sencillos a partir de éste.

## Desventajas

- Ocupa más espacio
- Mayor nivel de ruido y vibración.
- Mayor consumo de aire y energía eléctrica.
- Mayor costo

### 2.4.2.4. Evaluación y selección de alternativas (Módulo 3)

Los criterios para la evaluación y selección de alternativas de este módulo son los siguientes:

- Espacio.
- Versatilidad: Criterio que hace referencia a los circuitos secundarios que se pueden derivar a partir del principal.
- Costo.
- Complejidad: Lo que se desea es configurar un circuito de cierta complejidad para un mejor aprendizaje.

Tabla 2.17. Ponderación de criterios Módulo Circuitos.

Espacio > Versatilidad > Complejidad > Costo						
Criterio	Espacio	Versatilidad	Complejidad	Costo	$\sum + 1$	Ponderación
Espacio		1	1	1	4	0,40
Versatilidad	0		1	1	3	0,30
Complejidad	0	0		1	2	0,20
Costo	0	0	0		1	0,10
				suma	10	1,00

Tabla 2.18. Circuitos – Peso específico para el criterio Espacio.

Puerta automática > Taladrado > Fresado					
Espacio	Puerta automática	Taladrado	Fresado	$\sum + 1$	Ponderación
Puerta automática		1	1	3	0,50
Taladrado	0		1	2	0,33
Fresado	0	0		1	0,17
			suma	6	1,00

Tabla 2.19. Circuitos – Peso específico para el criterio Versatilidad.

Fresado > Taladrado > Puerta automática					
Versatilidad	Puerta automática	Taladrado	Fresado	$\sum + 1$	Ponderación
Puerta automática		0	0	1	0,17
Taladrado	1		0	2	0,33
Fresado	1	1		3	0,50
			suma	6	1,00

Tabla 2.20. Circuitos – Peso específico para el criterio Complejidad.

Fresado = Taladrado > Puerta automática					
Complejidad	Puerta automática	Taladrado	Fresado	$\sum + 1$	Ponderación
Puerta automática		0	0	1	0,17
Taladrado	1		0,5	2,5	0,42
Fresado	1	0,5		2,5	0,42
			suma	6	1,00

Tabla 2.21. Circuitos – Peso específico para el criterio Costo.

Puerta automática > Taladrado > Fresado					
Costo	Puerta automática	Taladrado	Fresado	$\sum + 1$	Ponderación
Puerta automática		1	1	3	0,50
Taladrado	0		1	2	0,33
Fresado	0	0		1	0,17
			suma	6	1,00

Tabla 2.22. Módulo Circuitos – Conclusiones.

Alternativas	Espacio	Versatilidad	Complejidad	Costo	Suma	Prioridad
Puerta automática	0,20	0,05	0,03	0,05	0,33	1
Taladrado	0,13	0,10	0,08	0,03	0,35	2
Fresado	0,07	0,15	0,08	0,02	0,32	3

### 2.4.3. Módulo Control

Las funciones que desempeñará este módulo son:

- Recibir señales de los pulsadores y enviar señales a los actuadores (electroválvulas).
- Detectar los inicios y finales de carrera de los cilindros neumáticos.

### **2.4.3.1. Recibir las señales de los pulsadores de mando y enviar señales a los actuadores**

Un circuito electroneumático puede ser controlado de diferentes formas y a continuación se presentan algunas de ellas como alternativas.

#### **A. Técnica de relés**

##### **Ventajas**

- Facilidad de conexión
- Vida útil prolongada
- Pequeña potencia de conexión
- Produce bajo nivel de ruido

##### **Desventajas**

- Se debe eliminar chispas
- Tiempos de maniobra prolongados
- Considerable cantidad de cables para las conexiones
- Costo de mantenimiento considerable

#### **B. PLC**

##### **Ventajas**

- Facilidad en la conexión
- Se reduce el uso de cables
- Tiempos de respuesta más rápidos
- Permite modificar fácilmente los circuitos
- Mantenimiento de bajo costo
- Lenguaje ladder de fácil programación.

##### **Desventajas**

- Modificaciones se las realiza mediante programación y no manualmente
- Costo de mantenimiento más alto incluso para tareas y programaciones sencillas.

## **C. Arduino**

### **Ventajas**

- Pueden ejecutarse sin un computador
- Se reduce al mínimo el uso de cables
- Ocupa poco espacio
- Bajo costo

### **Desventajas**

- Trabaja con voltajes bajos.
- Poca flexibilidad en la modificación de proyectos.
- Poco robusto
- Costo de las librerías para la programación elevado

## **2.4.3.2. Detectar los inicios y finales de carrera de los cilindros neumáticos**

### **A. Interruptor eléctrico básico**

#### **Ventajas:**

- Bajo costo
- Instalación sencilla
- Se puede posicionar en cualquier lugar del recorrido del émbolo.
- Se lo puede configurar como normalmente abierto o normalmente cerrado.
- Amplia gama de terminales de contacto
- Ocupa poco espacio.

#### **Desventajas:**

- Produce ruido
- Menor vida útil debido a contactos mecánicos mecánico

### **B. Células fotoeléctricas (Serrano Nicolás, 2009)**

#### **Ventajas:**

- Poseen larga vida útil al no tener contactos mecánicos.
- Son de gran alcance
- Mayor precisión en la detección de objetos.

**Desventajas:**

- El costo es mayor
- Ocupa mayor espacio

**C. Detectores de proximidad electrónicos**

**Ventajas:**

- No sufren desgaste al no poseer elementos móviles
- Menor tiempo de respuesta
- Amplio rango de detección de objetos (15 a 200 mm).

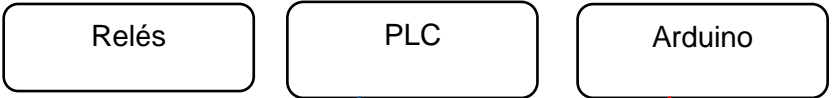

**Desventajas:**

- Ocupan más espacio.
- Costo más elevado.
- Los objetos a detectar deben tener la misma superficie de la cara sensible del detector.

**2.4.3.3. Alternativas de Módulo de Control**

A continuación se muestran las alternativas del módulo, las cuales son resultado de la combinación de las soluciones para cada función.

Tabla 2.23. Alternativas de control.

Función	Alternativas
Recibir señales de los pulsadores de mando y enviar señales a los actuadores	 <p>The diagram shows three rounded rectangular boxes labeled 'Relés', 'PLC', and 'Arduino' arranged horizontally. These boxes represent the control alternatives for the first function.</p>
Detectar los inicios y finales de carrera de los cilindros neumáticos	 <p>The diagram shows three rounded rectangular boxes labeled 'Célula fotoeléctrica', 'Interruptor eléctrico', and 'Detectores de proximidad electrónicos' arranged horizontally. These boxes represent the detection alternatives for the second function.</p> <p>Alternativa 1                      Alternativa 2                      Alternativa 3</p>

#### 2.4.3.4. Evaluación y selección de alternativas (Módulo 4)

Los criterios establecidos para la selección de alternativas de este módulo son las siguientes:

- Versatilidad: Para permitir modificar los circuitos electroneumáticos.
- Costo
- Durabilidad
- Mantenimiento

Tabla 2.24. Ponderación de criterios Módulo Control.

Versatilidad > Bajo mantenimiento > Fiabilidad > Espacio						
Criterio	Versatilidad	Mantenimiento	Fiabilidad	Espacio	$\sum + 1$	Ponderación
Versatilidad		1	1	1	4	0,4
Mantenimiento	0		1	1	3	0,3
Fiabilidad	0	0		1	2	0,2
Espacio	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Tabla 2.25. Control – Peso específico para el criterio Versatilidad.

Arduino > PLC > Relés					
Versatilidad	Relés	PLC	Arduino	$\sum + 1$	Ponderación
Relés		1	1	3	0,50
PLC	0		1	2	0,33
Arduino	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 2.26. Control - Peso específico para el criterio Mantenimiento.

PLC = Arduino > Relés					
Mantenimiento	Relés	PLC	Arduino	$\sum + 1$	Ponderación
Relés		0,5	1	2,5	0,42
PLC	0,5		1	2,5	0,42
Arduino	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 2.27. Control - Peso específico para el criterio Fiabilidad.

PLC > Relés > Arduino					
Fiabilidad	Relés	PLC	Arduino	$\sum + 1$	Ponderación
Relés		0,5	1	2,5	0,42
PLC	0,5		1	2,5	0,42
Arduino	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 2.28. Control - Peso específico para el criterio Espacio.

Arduino > PLC > Relés					
Espacio	Relés	PLC	Arduino	$\sum + 1$	Ponderación
Relés		0	0	1	0,17
PLC	1		0	2	0,33
Arduino	1	1		3	0,50
			Suma	6	1,00

Tabla 2.29. Control – Conclusiones.

Alternativas	Versatilidad	Mantenimiento	Fiabilidad	Espacio	Suma	Prioridad
Relés	0,20	0,13	0,08	0,02	0,43	1
PLC	0,13	0,13	0,08	0,03	0,38	2
Arduino	0,07	0,05	0,03	0,02	0,17	3

Como se puede observar la tabla 2.29. Existe un virtual empate técnico entre las alternativas de relés y PLC. Se puede seleccionar cualquiera de las dos opciones, en nuestro caso se optará por el PLC, esta decisión se ha tomado debido a que en el laboratorio se cuenta con un PLC, y de esta manera se optimizara recursos.

## 2.5. Cálculos y selección de componentes

En esta parte se realiza el cálculo y diseño de los componentes mecánicos, así como también la selección justificada y con criterio de aquellos componentes eléctricos, electrónicos y neumáticos que permitan el funcionamiento del módulo electroneumático de acuerdo a las especificaciones determinadas previamente.

A continuación se presentan los módulos con sus respectivos elementos.

Tabla 2.30. Elementos por módulo.

Módulo	Elemento	Requerimiento
Base	Perfiles de aluminio	Selección
	Barra de sujeción	Diseño
	Pernos de anclaje	Diseño
Aire comprimido	Compresor	Selección
	Unidad de tratamiento	Selección
	Distribuidor	Selección

Tabla 2.30. Elementos por módulo. (Continuación)

<b>Módulo</b>	<b>Elemento</b>	<b>Requerimiento</b>
Circuitos	Cilindros doble efecto	Disponible
	Reguladores de caudal	Disponibles
	Racores o acoples rápidos	Selección
	Manguera neumática	Selección
Control	PLC	Disponible
	Placa de comunicación	Diseño
	Electroválvulas	Selección
	Finales de carrera	Selección
	Panel de control	Diseño

### 2.5.1. Soporte

Está constituido por todas las piezas que servirán de soporte a los elementos neumáticos y de control.

#### 2.5.1.1. Perfiles de aluminio

De acuerdo a los requerimientos de peso y dimensiones, se han seleccionado perfiles de aluminio de las siguientes características:

Tabla 2.31. Perfiles de aluminio.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Marca	ITEM
Serie	X
Material	Aluminio anodizado
Longitud [m]	1
Sección [mm]	80x40
Cantidad	6



Algunas propiedades físicas y de sección se muestran a continuación:



Perfil X 8 80x40 L						
A [cm <sup>2</sup> ]	m [kg/m]	I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]
11,46	3,09	17,18	71,65	10,02	8,59	17,91
natural, corte máx. 6000 mm						
natural, 1 pza. long. 6000 mm						

Figura 2.18. Propiedades de los perfiles de aluminio.  
(Fuente: Catálogo general ITEM)

### Esfuerzos en los perfiles

A continuación se realizara un análisis estático, esto permitirá determinar si las cargas provenientes de todos los elementos de control pueden producir una falla en los perfiles de aluminio estructural. Por lo tanto se realizaran las siguientes consideraciones.

### Apoyos

Se considera que los apoyos sobre caerán en las perforaciones para los tornillos, por lo tanto se colocaran dos fixed support en esas ubicaciones.

### Cargas

La carga total estimada que existirá sobre los perfiles de aluminio serán de 28 kilogramos, los cuales serán distribuidos para los seis perfiles, por lo tanto cada perfil soportara una carga distribuida de 4,7 kilogramos.

Tabla 2.32. Carga de soporte.

Elemento	Peso unitario [kg]	Cantidad [kg]	Peso parcial [kg]
Peso propio	3,09	6	18,54
Cilindro doble efecto	1,1	3	3,3
Electroválvula biestable	0,5	3	1,5
Regulador de caudal	0,2	6	1,2
Unidad de mantenimiento	1	1	1
Accesorios	2	1	2
<b>Total [kg]</b>			<b>28</b>

## Propiedades

Antes de proceder a realizar el análisis, es importante establecer las propiedades tanto físicas como mecánicas, como se muestra a continuación.

Tabla 2.33. Propiedades físicas y mecánicas.

Propiedades	Valor
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2700
Módulo de Young [GPa]	69
Radio de Poisson	0,33
Resistencia a la tracción [MPa]	110
Limite elástico [MPa]	95

(Fuente: [https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_417.html](https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html))

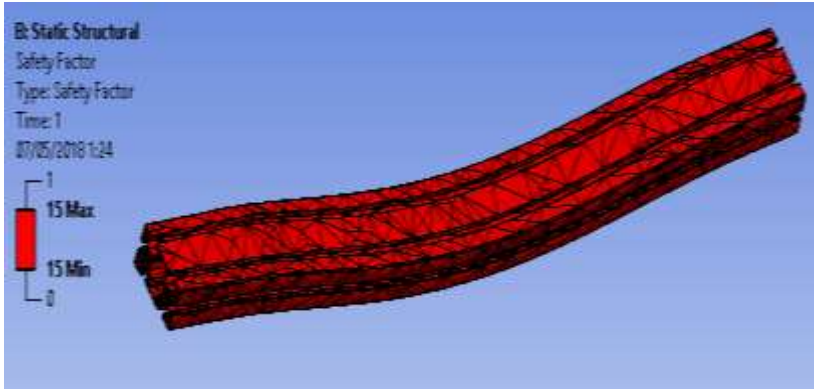
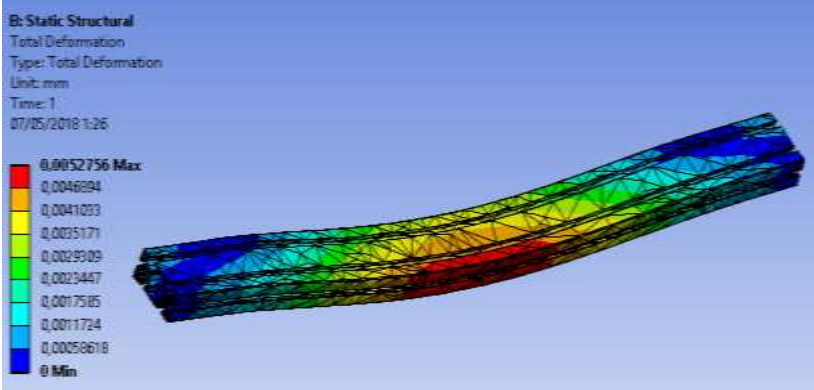
## Resultados

Una vez colocado la malla, apoyo y cargas se ha determinado que el perfil no falla en ningún momento como se puede ver con los resultados de la siguiente tabla:

Tabla 2.34. Esfuerzo en los perfiles.

Propiedad	Gráfico	Valor
Factor de seguridad	<p>El gráfico muestra un perfil de un elemento estructural curvado, representado con una malla de elementos finitos. El color del perfil indica el nivel de esfuerzo equivalente (von-Mises) en MPa. La leyenda a la izquierda del gráfico muestra una escala de colores que va desde azul (valor mínimo de 0,00012424 MPa) hasta rojo (valor máximo de 1,0054 MPa). El perfil está predominantemente en tonos de azul y verde, lo que indica que el esfuerzo está por debajo del límite elástico y que el factor de seguridad es mayor que 1.</p>	15

Tabla 2.34 Esfuerzo en los perfiles. (Continuación)

Propiedad	Gráfico	Valor
Deformación máxima [mm]	 <p>El gráfico muestra un perfil de aluminio curvado. El color rojo indica la zona de máxima deformación. El valor máximo es 0.0052756 mm. El gráfico incluye la siguiente información: B: Static Structural, Safety Factor, Type: Safety Factor, Time: 1, 07/05/2018 1:24, 15 Max, 15 Min, 0.</p>	0.0052756
Esfuerzo de Von mises [Mpa]	 <p>El gráfico muestra un perfil de aluminio curvado con una distribución de esfuerzo de Von Mises. El color rojo indica la zona de máximo esfuerzo. El valor máximo es 1,09 Mpa. El gráfico incluye la siguiente información: B: Static Structural, Total Deformation, Type: Total Deformation, Unit: mm, Time: 1, 07/05/2018 1:26, 0.0052756 Max, 0.0046094, 0.0041093, 0.0035171, 0.0029909, 0.0023447, 0.0017565, 0.0011724, 0.00058618, 0 Min.</p>	1,09

### 2.5.1.2. Barra de sujeción

Con el objetivo de unir los perfiles de aluminio previamente seleccionados, se ha determinado usar una barra redonda de acero, roscada en los extremos para la sujeción con pernos.

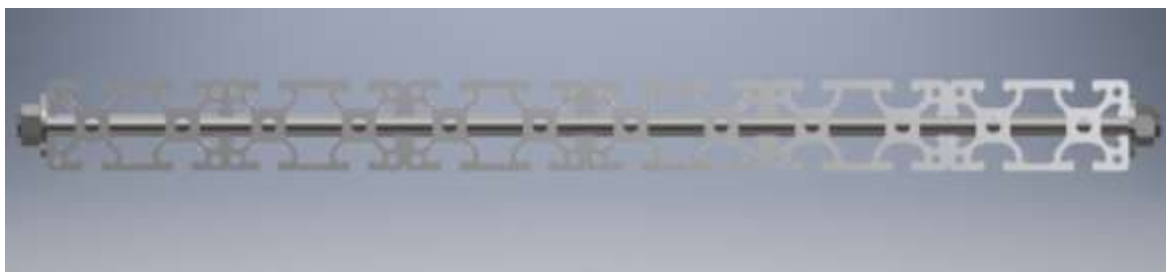


Figura 2.19. Barra de sujeción.  
(Fuente: propia)

## 2.5.2. Sistema de aire comprimido

En este apartado, se realizará los cálculos y selección de componentes que aseguren un suministro constante de aire a la presión de trabajo requerida.

### 2.5.2.1. Compresor

El compresor a usarse debe estar en la capacidad de suministrar el caudal y presión requerida por los cilindros de doble efecto.

La presión especificada por los cilindros es 12 bares cada uno y ya que éstos funcionarán en secuencia y no al mismo tiempo, la presión que se requiere en la fuente es de 12 bares.

El compresor más adecuado para este tipo de aplicaciones es el de émbolo, debido a las siguientes ventajas: (Serrano Nicolás, 2009)

- Existen de todos los tamaños posibles.
- Proporcionan desde caudales pequeños, hasta superiores (500 m<sup>3</sup>/min).
- Amplio rango de presiones. Desde 4 bar (baja presión), hasta 15 bares (dos etapas).
- Económicos.

Algunas características del compresor que utilizará se muestran a continuación:

Tabla 2.35. Características del compresor.

<b>Característica</b>	
<b>Marca</b>	<b>Campbell</b>
<b>Caudal</b>	SCFM (Standard cubic feet per minute) @ psi 5,5 @ 40 psi 4,6 @ 90 psi 125 psi máximo.
	L/min @ bar 160 @ 3 bar 135 @ 6 bar 9 bar máximo
<b>Voltaje</b>	120 V
<b>Frecuencia</b>	60 HZ
<b>Amperaje</b>	15,0 A
<b>Potencia</b>	1 HP

(Fuente: Catálogo Compresor Campbell)

### 2.5.2.2. Consumo de aire de los elementos neumáticos

Además de la presión es necesario determinar el caudal de aire necesario para alimentar el módulo, para lo cual se determinará el consumo específico de todos los elementos que consumen aire comprimido, en este caso, los cilindros.

Dicho consumo depende de factores como sección del cilindro, carrera, presión de trabajo y frecuencia de ciclo. Para cilindros de doble efecto como en este caso, el ciclo a considerar incluye avance y retroceso. Los datos necesarios para el cálculo se muestran a continuación en la tabla 2.36:

Tabla 2.36. Datos del cilindro neumático.

Símbolo	Significado	Valor
V	Volumen de aire	Calcular
D	Diámetro interior del cilindro	32 [mm]
d	diámetro del vástago	12 [mm]
C	Carrera del vástago	200 [mm]
R	Rendimiento del cilindro	R=0,85 (Hasta D=40mm) R=0,95 (D>40mm)
P <sub>atm</sub>	Presión atmosférica (Quito)	0,729 [bar]
P <sub>aire</sub>	Presión de trabajo del cilindro (máx.)	16 [bar]
n	Número de ciclos por minuto <sup>2</sup>	10

(Fuente: Martonair Data sheet)

El cálculo del consumo de aire para un cilindro neumático está dado por la ecuación 2.1 (Creus Solé, 2007).

Ejemplo de cálculo:

$$Q = 2 * \frac{P_{atm} + P_{aire}}{P_{atm}} * \frac{\pi * (D^2 - d^2) * C}{4\ 000\ 000} * n$$

Ecuación 2.1

Ya que el circuito seleccionado del presente módulo cuenta con 3 cilindros, el caudal total necesario es:

$$Q = 2 * \frac{0,729 + 16}{0,729} * \frac{\pi * (32^2 - 12^2) * 200}{4\ 000\ 000} * 10$$

<sup>2</sup> El número de ciclos por minuto se ha establecido a partir del cálculo la velocidad del émbolo.

$$Q = 63,4 \left[ \frac{lt}{min} \right] \text{ (Por cilindro)}$$

$$Q_{total} = 190 \left[ \frac{lt}{min} \right]$$

Éste último caudal está calculado para una condición crítica (16 bar.) y para una frecuencia de 10 carreras por minuto. Ya que la fuente de aire comprimido no está en capacidad de proveer esta presión, a continuación se muestran las curvas de caudal para diferentes frecuencias.

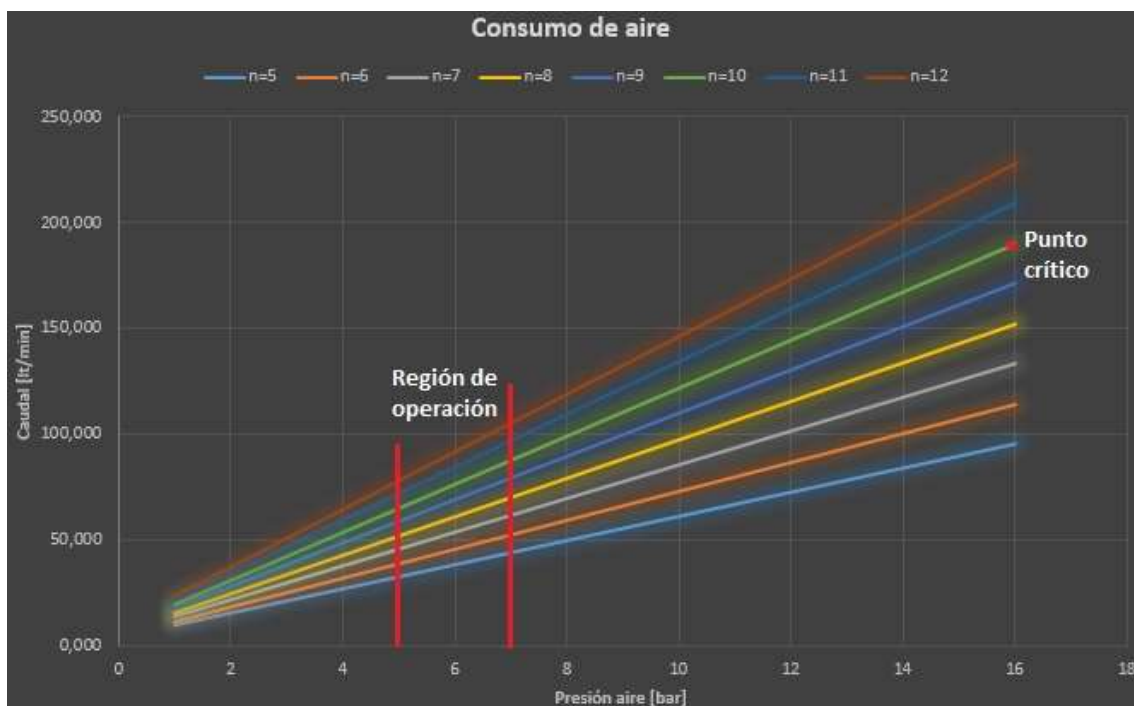


Figura 2.20. Caudales de operación

### 2.5.2.3. Unidad de mantenimiento

El uso de una unidad de mantenimiento es indispensable para cualquier sistema neumático ya que prolongan la vida útil de sus componentes. En este sentido, los parámetros más importantes son: el grado de filtración, la eliminación de la humedad, presión estable de alimentación y una adecuada lubricación de los componentes en fricción. (Parker Hannifin Corporation, 2003)

Debido a que en la ciudad de Quito el nivel de humedad no es un problema, la unidad de mantenimiento para este módulo deberá contener el filtro, regulador de presión y lubricador.

La ficha técnica con los datos de la unidad de mantenimiento que se va a utilizar se encuentra en el Anexo II.

### 2.5.3. Circuito neumático.

Comprende todos los elementos necesarios para transformar la energía del aire comprimido en trabajo (movimiento en los cilindros). A continuación se muestra el diagrama del circuito neumático con todos sus componentes, realizado en el programa FluidSim de Festo.

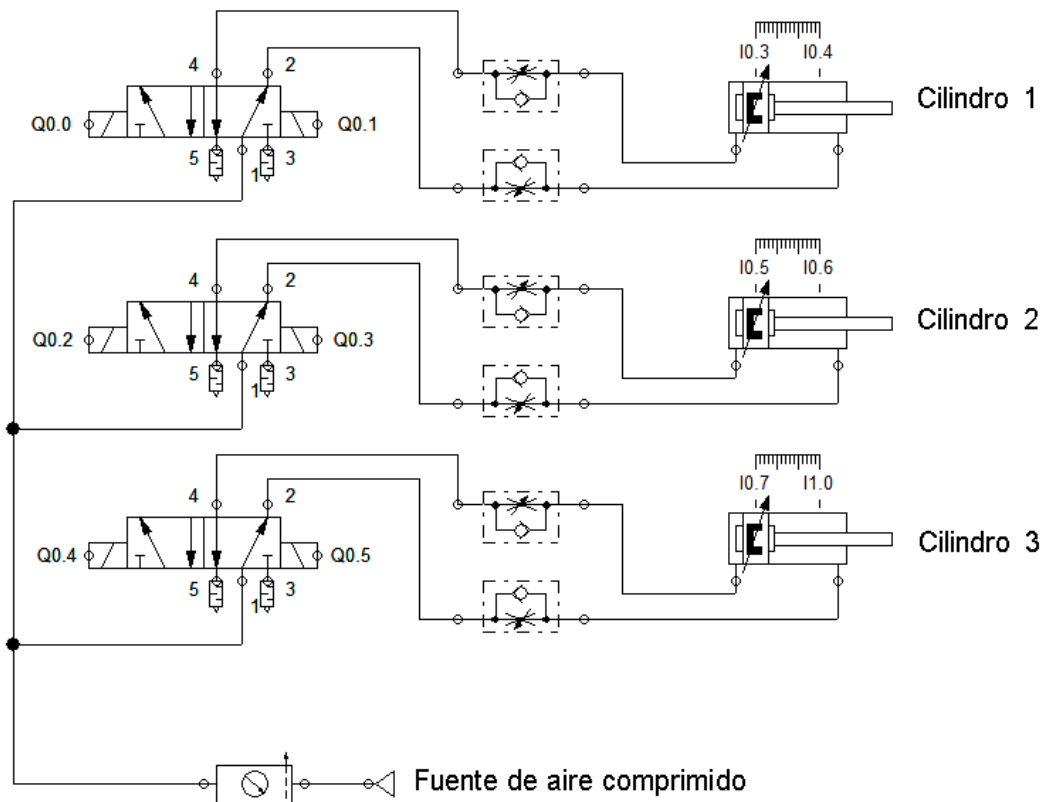
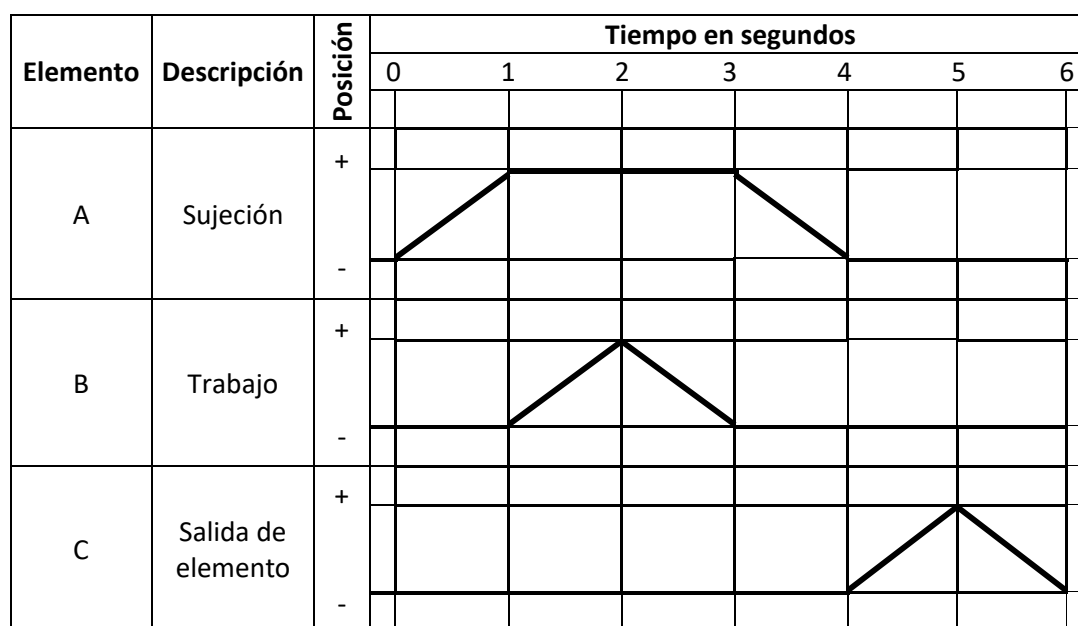


Figura 2.21. Esquema del circuito neumático en FluidSim.

#### 2.5.3.1. Diagrama de movimientos

En circuitos secuenciales, los movimientos de los actuadores pueden representarse mediante diagramas, en donde se muestra cada fase de trabajo.

Tabla 2.37. Diagrama espacio-tiempo.



En el diagrama se puede observar que el avance y retroceso de cada cilindro se lo realiza en un tiempo de 1 segundo. Este valor se ha obtenido a partir de la carrera del cilindro y la velocidad del mismo estimada en el numeral 2.7.3.4.

El circuito electroneumático no solo está en la capacidad de trabajar de la manera propuesta, el movimiento un cilindro empieza inmediatamente después de que finaliza el desplazamiento de su antecesor, sino también colocando tiempos de retardo o de adelanto entre el movimiento de cada cilindro. Para poder efectuar esta configuración en el circuito, es necesario el uso o la implementación de los denominados temporizadores.

Como se mencionó, pueden existir dos tipos de temporizadores. El primero es el llamado relé temporizado con retardo a la conexión, y se caracteriza por activar sus contactos al pasar el tiempo fijado del relé temporizado después de la activación del relé. Y el segundo, relé temporizado con retardo a la desconexión, este hace que los contactos temporizados se desactiven pasado el tiempo seleccionado a partir de desactivar la bobina del relé temporizado.

### 2.5.3.2. Cilindros neumáticos

Por lo general, el diseño de un sistema neumático inicia con la selección de los cilindros, y para esto la característica más importante que se debe conocer es la fuerza que los mismos deben desarrollar para cumplir con su función. Esto depende exclusivamente



del diámetro del cilindro, el rendimiento del mismo y la presión de la línea de aire comprimido.

Para el presente proyecto se utilizará los cilindros que ya están disponibles en el laboratorio, por lo que se realizará el proceso inverso, es decir, con la presión de la fuente establecida y las características de los cilindros disponibles, se calculará cuál es la fuerza que dicho cilindro será capaz de desarrollar.

Durante su funcionamiento, un cilindro de doble efecto desarrolla una fuerza de avance, y otra de retroceso.

La fuerza de avance viene dada por la ecuación 2.2 (Serrano Nicolás, 2009).

$$Fa = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R$$

Ecuación 2.2

$$Fa = \frac{\pi}{4} * 3,2^2 * 6 * 0,85$$

$$Fa = 41,01 \text{ daN}$$

$$\mathbf{Fa = 410,1 N}$$

Para la fuerza de retroceso se debe considerar además el diámetro del vástago, y su valor está dado por la ecuación 2.3 (Serrano Nicolás, 2009):

$$Fa = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * p * R$$

Ecuación 2.3

$$Fa = \frac{\pi}{4} * (3,2^2 - 1,2^2) * 6 * 0,85$$

$$Fa = 35,25 \text{ daN}$$

$$\mathbf{Fa = 352,5 N}$$

Los parámetros: D, d y R utilizados en las ecuaciones anteriores son fijos, a diferencia de p, que puede ser regulada al inicio del circuito, en la unidad de mantenimiento. Por lo tanto a continuación se indica las fuerzas de avance y retroceso que los cilindros serían capaces de desarrollar dentro del rango de presiones disponibles en la fuente.

Tabla 2.38. Fuerzas de avance y retroceso a distintas presiones.

Presiones [bar]	2	4	6	8	10	12
Fa [N]	136,7	273,4	410,2	546,9	683,6	820,3
Fr [N]	117,5	235,0	352,5	470,0	587,5	705,0

### 2.5.3.3. Pandeo del vástago

El vástago de un cilindro neumático puede trabajar ya sea a tracción, compresión o pandeo, dependiendo del tipo de fijación. La condición más perjudicial durante el funcionamiento de los cilindros es cuando se presentan esfuerzos radiales que producen flexión. Si estos esfuerzos existen, han de ser de magnitud moderada para evitar un deterioro prematuro del cojinete y la junta delantera. (Serrano Nicolás, 2009)

Los cilindros de este módulo al no estar destinados a movilizar cargas, no trabajan a tracción ni a compresión, sino a pandeo.

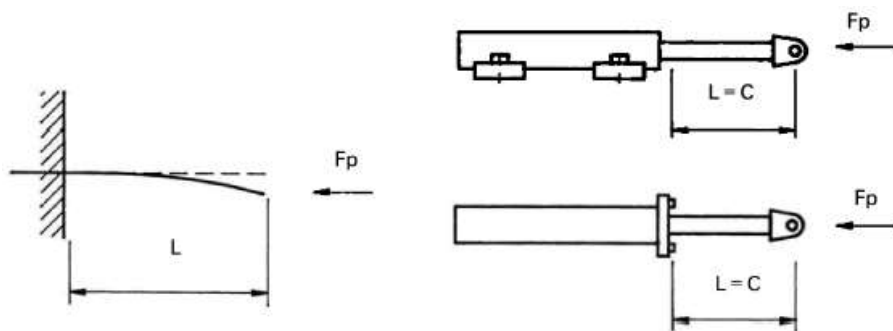


Figura 2.22. Tipo de fijación del cilindro.

Para el análisis de pandeo, se utilizan las fórmulas de Euler, y para este módulo, debemos utilizar la fórmula referida a elementos esbeltos empotrados en un extremo y libres en el otro (Ecuación 2.4) (Serrano Nicolás, 2009):

$$Fp = \frac{\pi^2 * E * I}{40 * L^2 * Cs}$$

Ecuación 2.4

Donde:

Fp = Carga axial permitida sobre el vástago [da N]

E = Módulo de elasticidad del material [daN/cm<sup>2</sup>] (Para el acero: E=2,1x10<sup>6</sup> [daN/cm<sup>2</sup>])

I = Momento de inercia del vástago

d = Diámetro del vástago del cilindro [cm]

L = Longitud de pandeo = Carrera del vástago [cm]

Cs=Coeficiente de seguridad en el círculo (generalmente de 2 a 4, para este caso, 3)

A su vez, la inercia I para una sección circular está dada por la ecuación 2.5 (Serrano Nicolás, 2009):

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

Ecuación 2.5

Entonces:

$$Fp = \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^6 * \pi * 1.2^4}{4 * 20^2 * 3}$$

$$Fp = 28128,9 \text{ daN}$$

$$Fp = 2812,89 \text{ [N]}$$

#### 2.5.3.4. Velocidad del émbolo o pistón

La velocidad de un pistón no se la calcula, debido a que depende de muchos factores que no se pueden controlar, además mientras desarrolla su carrera se produce una aceleración inicial y una desaceleración final, por lo cual lo más práctico es hablar de velocidad media.

Las velocidades normales de los cilindros oscilan entre 0,1 y 0,4 m/s. Velocidades más altas aceleran el desgaste de los vástagos y producen choques bruscos de los mecanismos. (Serrano Nicolás, 2009)

Por prácticas experimentales se ha establece una velocidad media de 0,2 m/s. De esta forma, con una carrera del émbolo de 0,2 m, el tiempo de avance y retroceso será de 1 segundo.

$$Vm = 0,2 \text{ [m/s]}$$

#### 2.5.3.5. Válvulas de control

Ya se ha determinado que las válvulas para este módulo serán de tipo eléctrico, pero la selección del tamaño es otro aspecto importante ya que el paso de las mismas influye en la velocidad del émbolo.

Una válvula con un paso muy reducido causa estrangulación de caudal y consecuentemente una baja velocidad del émbolo y se reduce el rendimiento. Por otro lado una válvula sobredimensionada supone un mayor un mayor costo de instalación.

La selección adecuada del tamaño de las válvulas no representa mayor dificultad en neumática. Para las velocidades de los émbolos determinadas en el punto anterior se puede seleccionar el tamaño de las válvulas de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 2.39.

Tabla 2.39. Selección de válvulas

Roscas GAS	Diámetro exterior [mm]	Diámetro interior [mm]	Paso en hilos por pulgada	Diámetro nominal de paso [mm]	Caudal normal aproximado [l/min]	Diámetro del cilindro [mm]
G 1/8	9,73	8,75	28	3 a 5	Hasta 180	Hasta 50
G 1/4	13,16	11,50	19	6 a 8	Hasta 1150	50 a 80
G 3/8	16,66	15,00	19	10 a 12	Hasta 1500	80 a 125
G 1/2	20,95	19,00	14	12 a 14	Hasta 3000	125 a 200
G 3/4	26,44	24,50	14	16 a 18	Hasta 6000	200 a 250
G 1	33,25	30,50	11	20 a 22	> de 6000	> de 250
G 1 1/4	41,9	39,30	11	40	> de 6001	> de 250
G 1 1/2	47,8	45,25	11	40	> de 6002	> de 250

(Fuente: Neumática práctica, Serrano Nicolás, 2009)

Para la utilización de esta tabla se requiere como datos de entrada el diámetro del cilindro y el caudal aproximado:

- Diámetro del cilindro = 32 mm
- Caudal aproximado por cilindro = 63,4 l/min

Se establece por los tanto que la válvula a utilizar debe ser al menos de tamaño G 1/8. Las válvulas disponibles en el laboratorio son de conexión G1/4, lo cual no es inconveniente ya que simplemente permiten el flujo de mayores cantidades de aire. Los datos técnicos de esta válvula se muestran en el Anexo II.

### 2.5.3.6. Reguladores de caudal

Estos dispositivos se encuentran disponibles en el laboratorio, y poseen las siguientes características.

Tabla 2.40. Reguladores de caudal

<b>Regulación</b>	Unidireccional
<b>Conexión</b>	G1/8
<b>Presión máxima [bar]</b>	10

### 2.5.3.7. Tubería de conexión

Los factores a considerar para la elección adecuada de la tubería de conducción del aire comprimido son:

- Presión de trabajo
- Temperatura del aire y del medio ambiente
- Pérdidas de carga
- Agresividad química del ambiente
- Facilidad de contaje y recambio

Para este módulo se utilizará manguera neumática de poliamida, la cual presenta las siguientes ventajas:

- Flexibilidad moderada
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Amplio rango de temperaturas de utilización
- Permite radios de curvatura reducidos
- Compatible con la mayoría de racores y conectores.

La siguiente tabla nos permite seleccionar el diámetro más adecuado en función de la presión y temperatura de operación de la línea de aire comprimido.

Tabla 2.41. Selección de la tubería.

Diámetro Ext. del tubo [mm]	Radio mínimo de curvatura en frío [mm]	Presión de trabajo [bar]		
		-15 a 35°C	31 a 50°C	51 a 70°C
4	30	18	15	12
6	35	18	15	11
8	55	14	11	8
10	70	14	11	8
12	75	14	11	8

(Fuente: Automatización micromecánica)

El diámetro más utilizado en nuestro entorno y el que se encontró disponible es el de 6 mm, el cual cumple los requisitos de presión y temperatura para esta aplicación. Los

radios de curvatura que se realizarán a las conexiones son mayores a 35 mm, por lo que en este aspecto tampoco habría inconvenientes.

## 2.5.4. Módulo de control

En este módulo se encuentran todos los elementos que permiten un funcionamiento automático y secuencial del circuito.

### 2.5.4.1. Finales de carrera

Se ha determinado que se utilizarán sensores de contacto también conocidos como interruptores eléctricos, los cuales detectarán el final de la carrera (en avance o retroceso) de los émbolos de los cilindros para inmediatamente enviar una señal que modifique el estado del circuito.

### 2.5.4.2. PLC

El Controlador lógico programable que se utilizará es el que dispone el laboratorio, marca Allen Bradley, modelo Micrologix 1100, que posee alimentación de 24 VDC, apta para las electroválvulas.

Las especificaciones del mismo se muestran a continuación.

#### Hardware Features

Feature	Description	Feature	Description
1	Output Terminal Block	7	LCD Keypad (ESC, OK, Up, Down, Left, Right)
2	Battery Connector	8	Status LED indicators
3	Bus Connector Interface to Expansion I/O	9	Memory Module Port Cover <sup>(1)</sup> -or- Memory Module <sup>(2)</sup>
4	Battery	10	DIN Rail Latches
5	Input Terminal Block	11	RS-232/485 Communication Port (Channel 0, isolated)
6	LCD	12	Ethernet Port (Channel 1)

Figura 2.23. Características de hardware PLC Micrologix.  
(Fuente: Micrologix 1100 Programmable controllers Data sheet, Abril 2017)

### Controller Input Power and Embedded I/O

Catalog Number	Description			
	Input Power	Digital Inputs	Analog Inputs	Digital Outputs
1763-L16AWA	120/240V AC	(10) 120V AC	(2) voltage input 0...10V DC	(6) relay All individually isolated
1763-L16BWA	120/240V AC	(6) 24V DC (4) high-speed 24V DC <sup>(1)</sup>	(2) voltage input 0...10V DC	(6) relay All individually isolated
1763-L16BBB	24V DC	(6) 24V DC (4) high-speed 24V DC <sup>(1)</sup>	(2) voltage input 0...10V DC	(2) relay (isolated) (2) 24V DC FET (2) high-speed 24V DC FET
1763-L16DWD	12...24V DC	(6) 12...24V DC (4) high-speed 12/24V DC <sup>(1)</sup>	(2) voltage input 0...10V DC	(6) relay All individually isolated

<sup>(1)</sup> The 4 high-speed inputs (inputs 0 through 3) can be used individually for pulse catch/latching inputs or combined as a high speed counter. Refer to Digital Input Specifications on page 155 and the Micrologix 1100 Instruction Set Reference Manual, publication 1763-RM001, for more information.

Figura 2.24. Voltajes PLC Micrologix.

(Fuente: Micrologix 1100 Programmable controllers Data sheet, Abril 2017)

Este controlador posee 11 puertos de entrada y 7 puertos de salida, por lo que no habría inconvenientes con el número de entradas y salidas requeridas por el módulo, y en caso de requerir un aumento de salidas, es posible aumentar hasta 4 módulos de expansión.

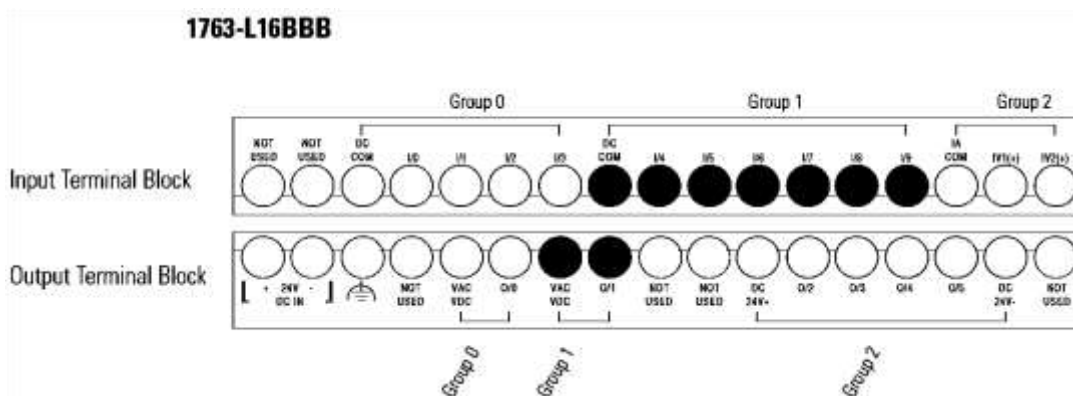


Figura 2.25. Entradas y salidas.

(Fuente: Micrologix 1100 Programmable controllers Data sheet, Abril 2017)

### 2.5.4.3. Placas de comunicación

Con el fin de evitar el uso excesivo de cables, se determinó realizar placas de comunicación electrónicas entre el panel y el PLC, las cuales estarán comunicadas a través de un cable Db25.

El circuito de estas placas se diseñó con la ayuda del programa Proteus 7 Professional.

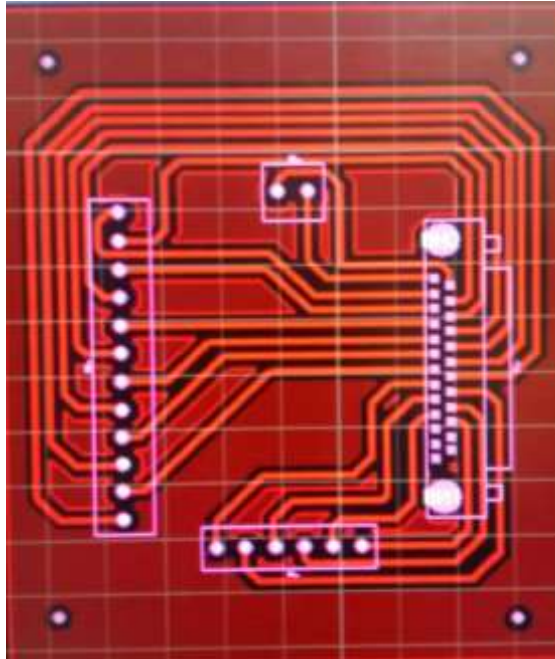


Figura 2.26. Diseño de placa en Proteus.  
(Fuente: Propia)

Éstas deberán disponer de 6 borneras para las señales de entrada del módulo (finales e inicios de carrera), así como también 6 borneras para las electroválvulas. Cada bornera posee dos pines de conexión, lo que da un total de 24 pines.

Una vez definido el diseño de la placa, se procedió a fabricar las mismas en baquelita.

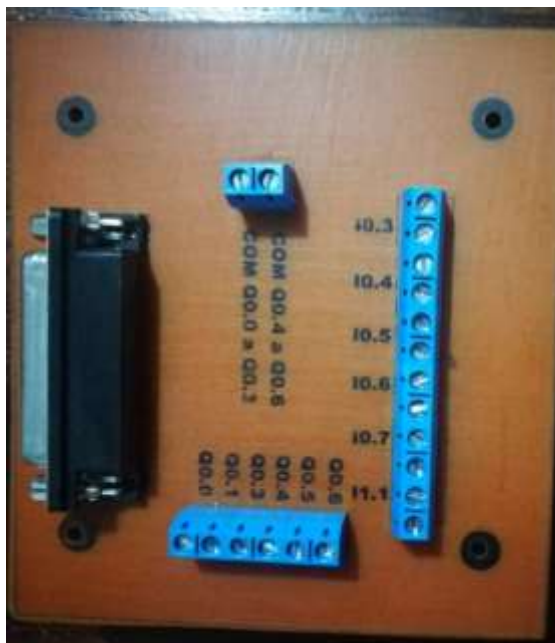


Figura 2.27. Borneras de la placa de comunicación.  
(Fuente: Propia)



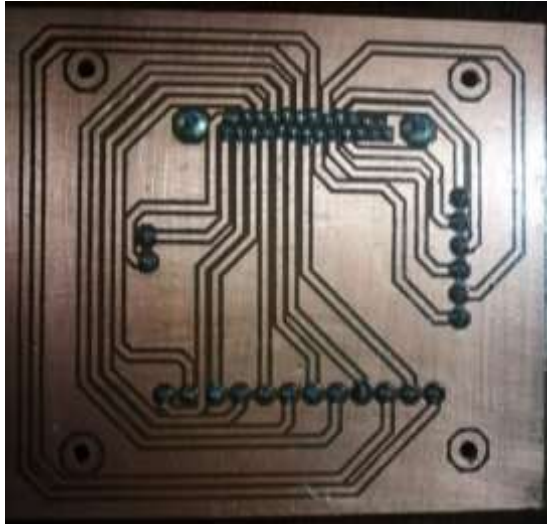


Figura 2.28. Pistas de la placa de comunicación.  
(Fuente: Propia)

## 2.6. Construcción y montaje

Una vez concluido el diseño (cálculos y selección de componentes) se procederá con la fabricación de las partes del módulo para su posterior ensamble.

### 2.6.1. Operaciones

- **Taladrado**

Con la ayuda del taladro de banco del laboratorio de Máquinas – Herramientas se procedió a realizar las perforaciones en los extremos de cada perfil. Se utilizó una broca M10 ya que a través de dichas perforaciones pasará una barra de sujeción de 10 mm de diámetro.



Figura 2.29. Taladro de banco.  
(Fuente: Propia)

- **Torneado**

La operación de torneado se la efectuó a las dos barras de sujeción. Para obtener el diseño inicialmente planteado se realizaron las siguientes sub operaciones.

- Refrentado: Genera una superficie completamente plana en el extremo radial de la varilla, el mismo se realiza para que se pueda colocar el contrapunto.
- Cilindrado: Se desbastó el diámetro de la varilla desde una magnitud de 12,7mm (1/2") a 10 mm.
- Roscado: Se generó las roscas en los extremos de la varilla, los cuales permitirán acoplarse con las tuercas.



Figura 2.30. Torneado.  
(Fuente: Propia)

### **2.6.2. Planos de construcción y montaje**

Cada una de las partes del módulo a ser fabricadas posee un plano de taller y pertenece a un plano de ensamble. En los planos de taller también se indica el material y cantidades de cada elemento.

A continuación en la tabla 2.42 se detalla la lista de planos de ensamble y de taller:

Tabla 2.42. Numeración de los planos.

Conjunto	Plano de conjunto	Partes	Plano de taller
Medidas generales	3543-0	N/A	N/A
Soporte	3543-1	Soporte 1	3543-5
		Soporte 2	3543-6
		Soporte 3	3543-7
		Soporte 4	3543-8
		Soporte 5	3543-9
		Soporte 6	3543-10
Base del módulo	3543-2	Perfil de aluminio	3543-11
		Barra de sujeción	3543-12
Circuito electroneumático	3543-3	Soporte de cilindro	3543-13
		Placa de comunicación	3543-14
Módulo de control	3543-4	Placa de comunicación	3543-15
		Placa de acrílico	3543-16

Todos los planos de conjunto y de taller se encuentran en el Anexo IV.

### 2.6.3. Soporte

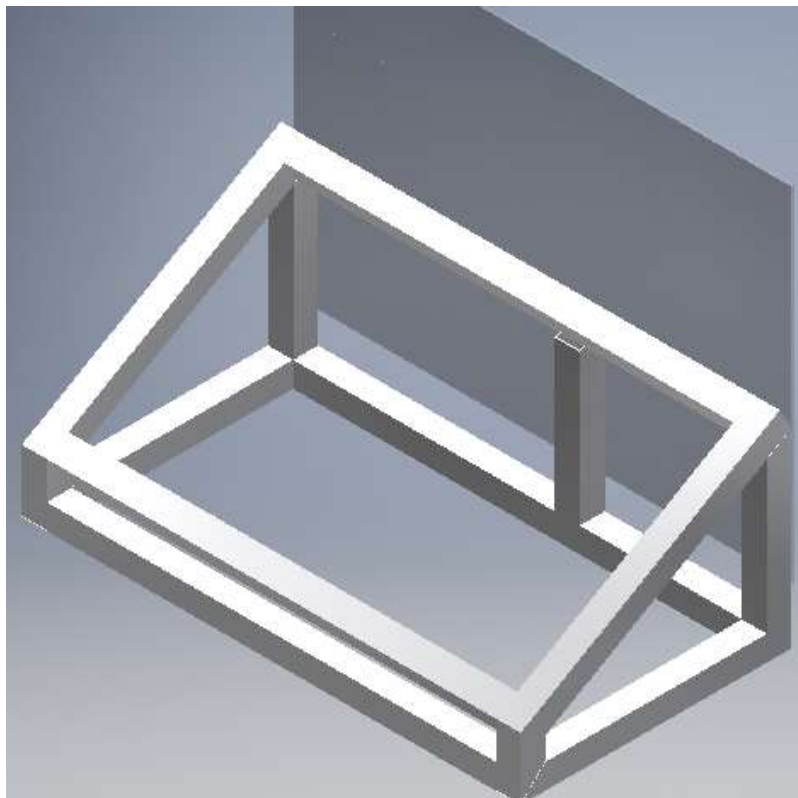


Figura 2.31. Esquema del soporte.  
(Fuente: propia)

#### 2.6.4. Montaje de la Base del módulo

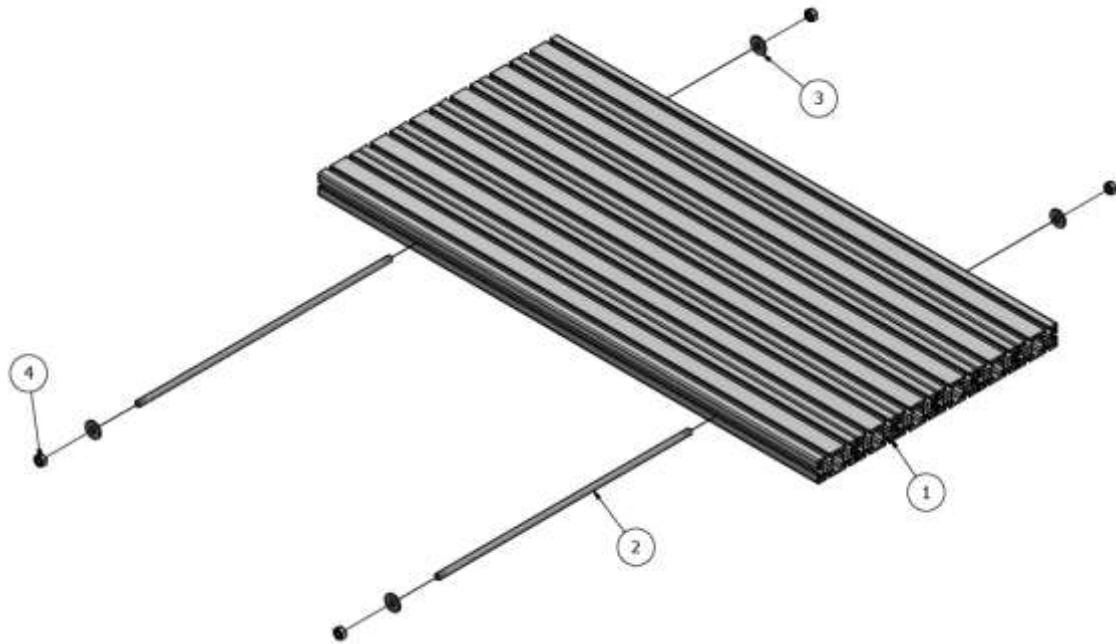


Figura 2.32. Esquema de la Base del módulo.  
(Fuente: Propia)

Este sub ensamble se realizará de acuerdo al plano 3543-2, siguiendo las indicaciones mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 2.43. Actividades de ensamble de la base.

Orden	Actividad	Observación
1	Alinear los paneles de aluminio (1) con respecto a sus perforaciones en una superficie plana.	-
2	Atravesar todos los paneles de aluminio con la barra de sujeción (2).	Dejar la misma distancia desde cada extremo de la barra hasta los paneles
3	Posicionar las arandelas planas regulares M10 (3) en cada extremo de la varilla de sujeción.	-
4	Colocar los pernos hexagonales M10 (4) en los extremos de la barra roscada.	-
5	Con una llave dar el ajuste suficiente a las tuercas para que el sub ensamble quede lo más compacto posible.	-

## 2.6.5. Montaje del circuito electropneumático

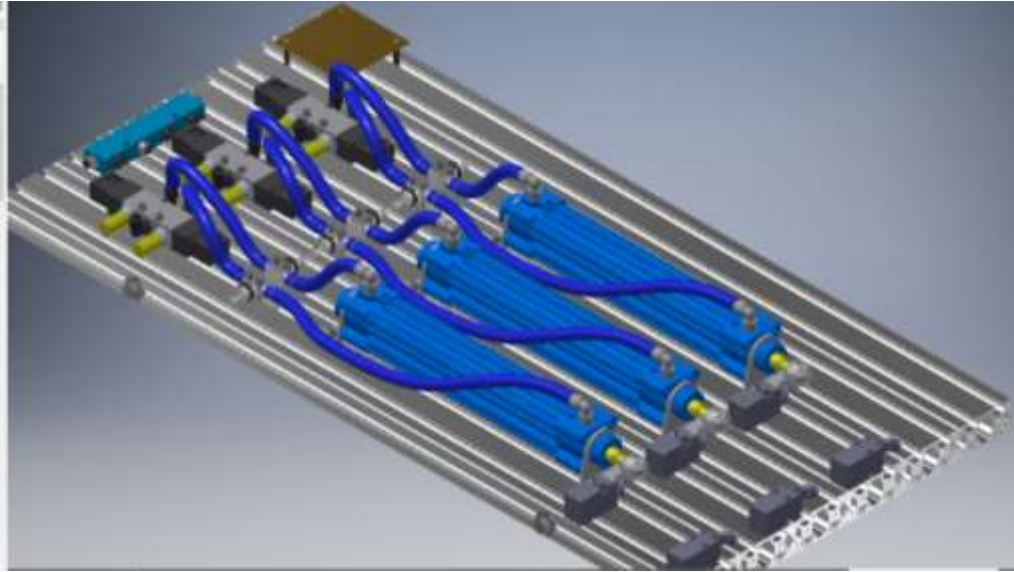


Figura 2.33. Esquema del Circuito electropneumático.  
(Fuente: propia)

Una vez ensamblada la base del módulo, se procede a colocar los elementos del trabajo sobre el mismo de acuerdo al planos 3543-3, siguiendo las indicaciones que se muestran a continuación:

Tabla 2.44. Actividades de ensamble del Circuito.

Orden	Actividad	Observación
1	Colocar las tuercas St en las ranuras o guías correspondientes de los perfiles	Ver plano 3543-3
2	Colocar los filtros en las electroválvulas	Usar teflón
3	Colocar los racores sobre los reguladores de caudal, cilindros y electroválvulas	Ver plano 3543-3
4	Anclar a las tuercas St las electroválvulas, cilindros y reguladores de caudal <sup>3</sup> .	Ver plano 3543-3
5	Colocar racores en el distribuidor de aire y tapar las entradas que no se requieren en el con tapones G1/4	Usar teflón
6	Posicionar el distribuidor de aire y finales de carrera con adhesivo de doble cara.	Ver plano 3543-3

---

<sup>3</sup> Las posiciones que se indican en el plano son referenciales. Pueden modificarse de acuerdo a conveniencia.

Tabla 2.44. Actividades de ensamble del Circuito. (Continuación)

Orden	Actividad	Observación
7	Conectar las entradas de las electroválvulas al distribuidor de aire. Una entrada debe quedar libre para el ingreso de aire desde el compresor.	Usar teflón
8	Posicionar la placa de comunicación	Ver plano 3543-14

## 2.6.6. Montaje del Módulo de control

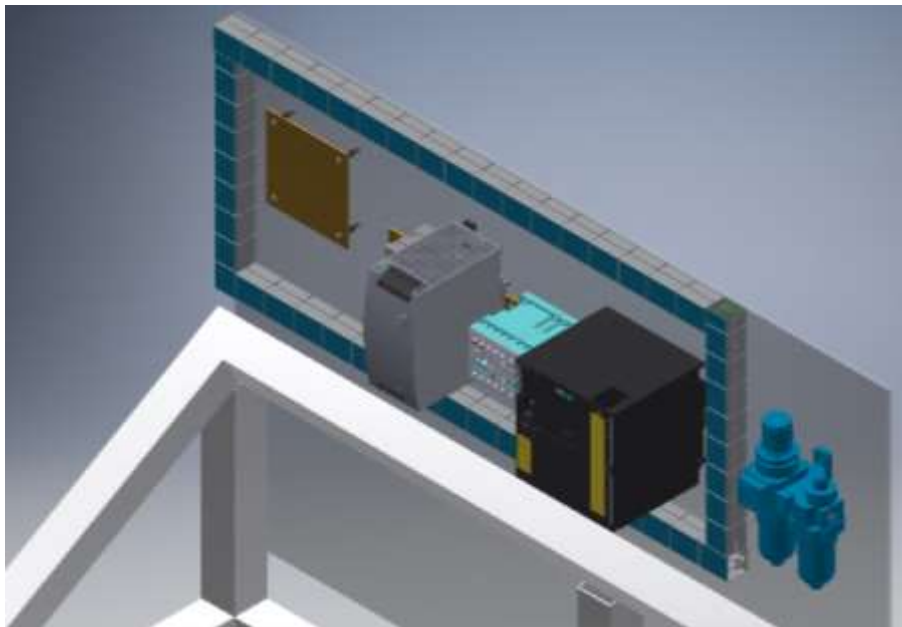


Figura 2.34. Esquema del Módulo de control.  
(Fuente: propia)

El montaje del módulo de control debe estar de acuerdo al plano 3543-4. El procedimiento para este ensamble se muestra a continuación:

Tabla 2.45. Actividades de ensamble del Panel de control.

Orden	Actividad	Observación
1	Sujetar la placa de acrílico al soporte de acuerdo al plano 3543-4	Las perforaciones se realizan durante el ensamble.
2	Colocar las canaletas ranuradas sobre la placa de acrílico de acuerdo al plano 3543-4	Usar cinta adhesiva doble cara.
3	Colocar el riel DIN sobre el acrílico de acuerdo al plano 3543-4, usando tornillos M4x14 mm	Las perforaciones se realizan durante el montaje.

Tabla 2.45. Actividades de ensamble del Panel de control. (Continuación)

Orden	Actividad	Observación
4	Colocar la placa de comunicación 2 de acuerdo al plano 3543-4, usando tornillos M3x16 mm	Las perforaciones se realizan durante el montaje
5	Colocar los elementos de control sobre el riel DIN se acuerdo al plano 3543-4.	Estos elementos se posicionan a conveniencia.
6	Sujetar la unidad de mantenimiento de acuerdo al plano 3543-4, usando pernos M4x16 mm	Las perforaciones se realizan durante el ensamble.

En el Anexo V se muestran las fotos de todo el proceso de montaje del módulo.

## 2.7. Programación

Este punto consta de dos partes: Una Interfaz didáctica que simulará el funcionamiento real del circuito en un software de Neumática, y la programación del PLC Allen Bradley Micrologix a través del software RS Logix 5000.

### 2.7.1. Interfaz gráfica en FluidSIM

Para visualizar el proceso de manera simplificada y práctica, se utilizará el software para aplicaciones neumáticas llamado FluidSIM, en el cual se pueden representar todos los elementos que intervienen en el funcionamiento del módulo. Éste programa utiliza la simbología neumática y electroneumática estándar mostrada en el primer capítulo, además de lenguaje Ladder para las líneas de control y programación.

A continuación se muestra la configuración del módulo en dicho programa:

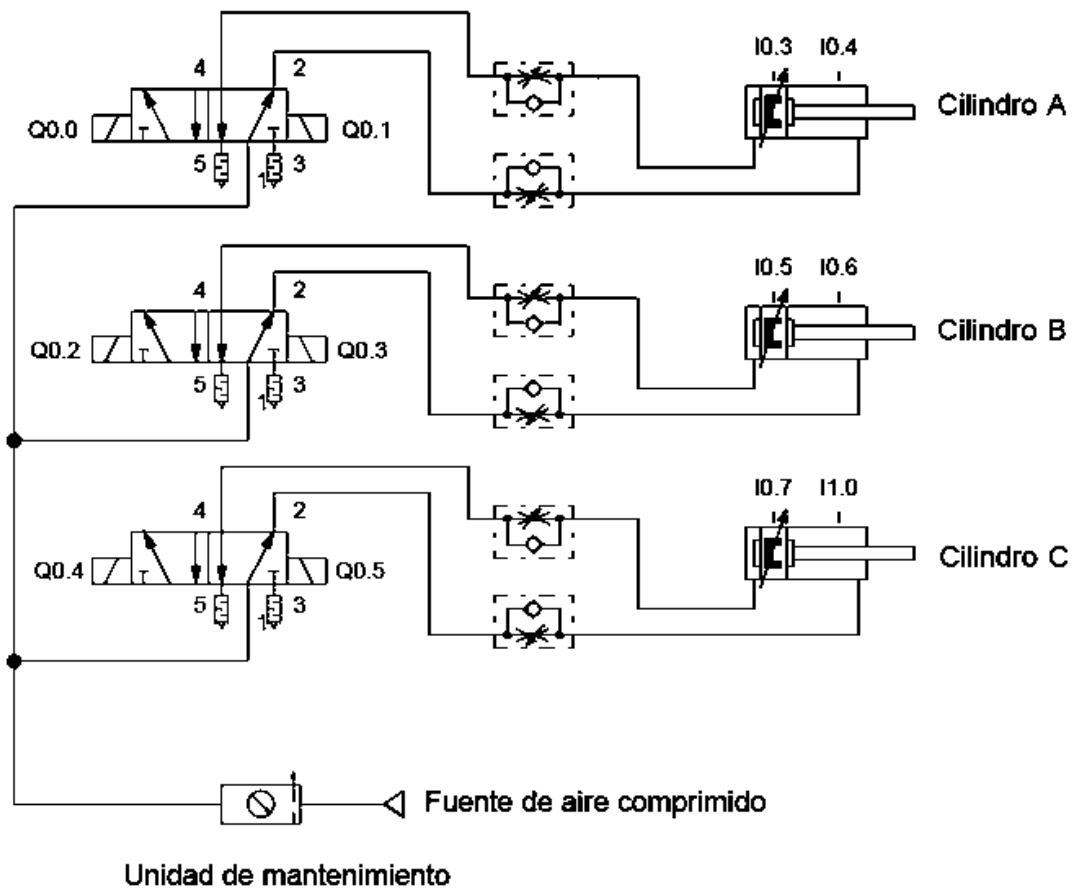


Figura 2.35. Circuito en FluidSIM-Neumática.  
(Fuente: propia)

La secuencia del circuito a programar es la siguiente:

**A+ B+ B- A+ C+ C+**

Para evitar el efecto conocido como señales bloqueantes es necesario dividir esta secuencia en grupos, de tal manera que en cada grupo no se repitan fases de avance o retroceso del mismo cilindro.

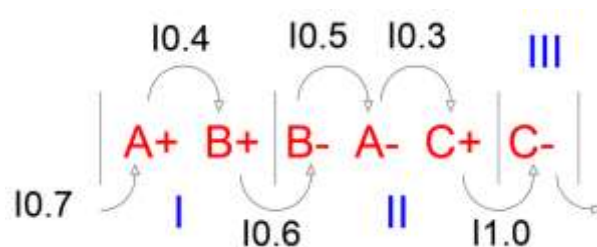


Figura 2.36. Grupos del circuito.  
(Fuente: propia)

Como se observa en la figura 2.36, se ha dividido el circuito en 3 grupos. En la parte inferior se muestran los sensores que permiten el cambio de grupo (I0.7, I0.6, I1.0) y en la parte superior el resto (I0.4, I0.5, I0.3).



Por lo tanto, las acciones para cada grupo se producen como sigue en la tabla:

Tabla 2.46. Acciones de cada grupo del circuito.

Grupo	Acciones de trabajo	Sensor de inicio del grupo
I	Avance del cilindro A	I0.7
	Avance del cilindro B	
II	Retorno del cilindro B	I0.6
	Retorno del cilindro A	
	Avance del cilindro C	
III	Retorno del cilindro C	I1.0

En las líneas de control del software FluidSIM se deberá activar una memoria para cada grupo de trabajo con el fin de evitar las señales bloqueantes mencionadas anteriormente.

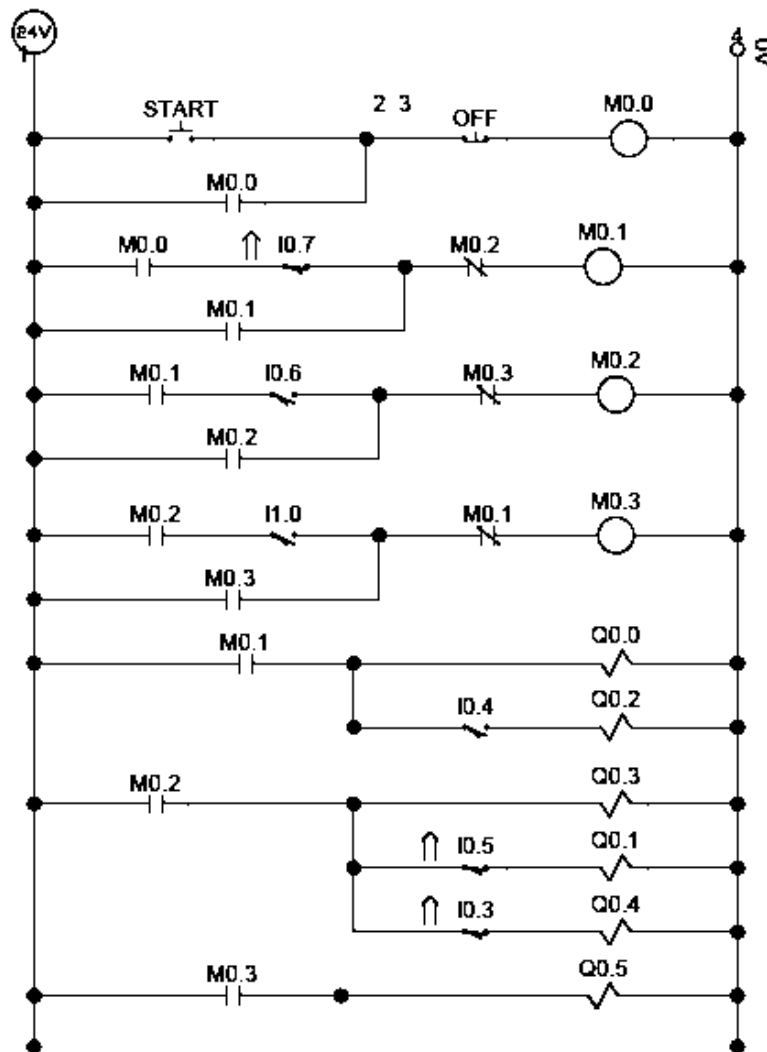


Figura 2.37. Líneas de control en FluidSIM.  
(Fuente: propia)

## 2.7.2. Comunicación PLC-PC

Para comunicar el PLC con el ordenador y posteriormente programar la secuencia se debe hacer uso del programa RS Linx Classic Lite.

El procedimiento de comunicación es el siguiente:

- Abrir el programa RSLinx Classic.
- En la pestaña de comunicación dar click en la opción Configurar drivers.

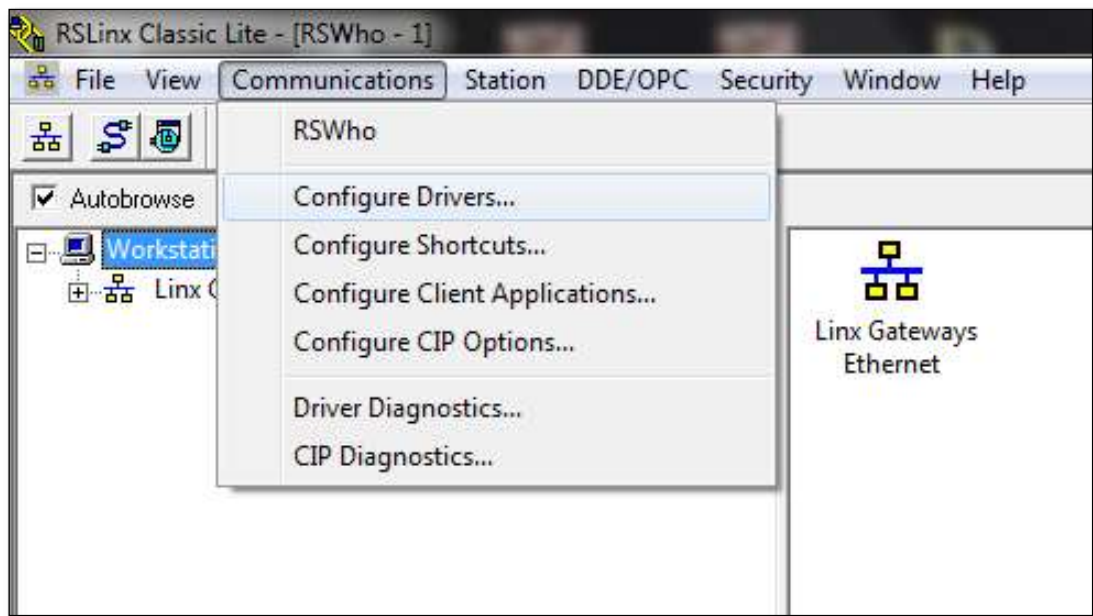


Figura 2.38. Entorno RSLinx.

- Se abre un cuadro de los tipos de dispositivos que se pueden configurar. Para el presente proyecto se ha utilizado un conector RS232 por lo que se seleccionará esta opción como se indica en la figura 2.39 y se procede a dar click en Agregar nueva.

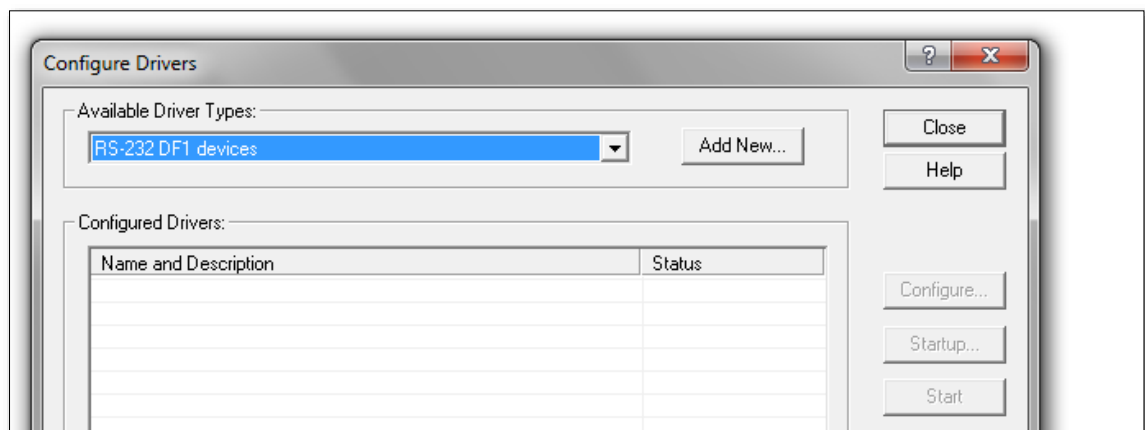


Figura 2.39. Conexión RS232.

- Se desplegará otro cuadro en el que se debe seleccionar a qué puerto del ordenador corresponde el cable RS232. (Verificar en el panel de control). Luego de seleccionar el puerto correcto se procede a dar click en “auto configuración”.

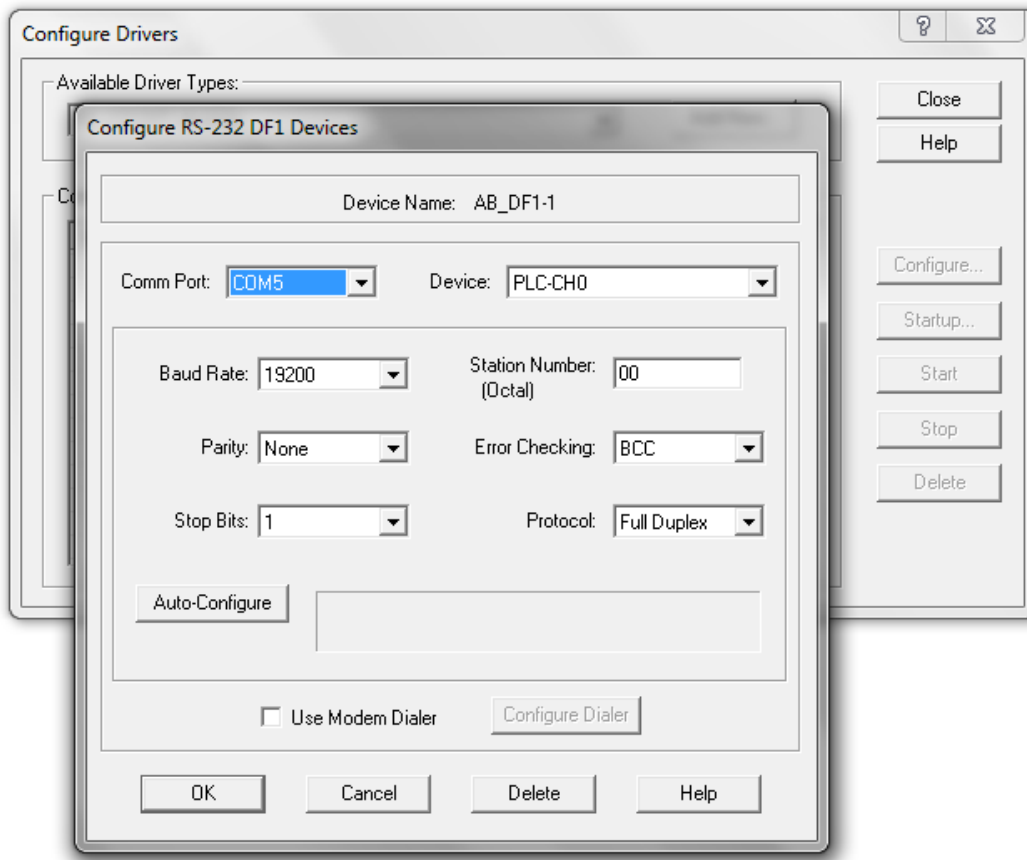


Figura 2.40. Puerto del cable RS232.

- Una correcta comunicación se da cuando aparece el mensaje: Autoconfiguración exitosa, y además se logra visualizar el PLC en el árbol de trabajo como se indica en la figura 2.40.

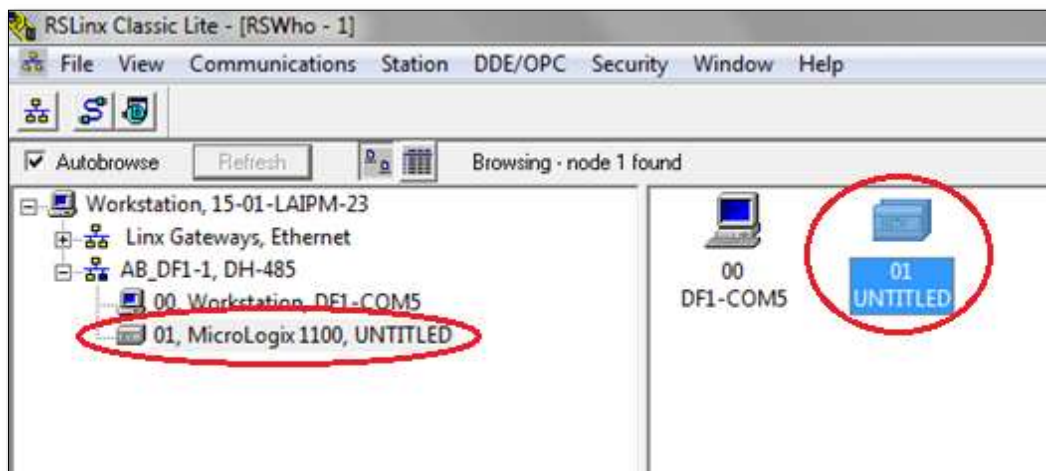


Figura 2.41. Comunicación exitosa PLC-PC.

### 2.7.3. Líneas de programación para el PLC

El software utilizado para la programación del PLC Allen Bradley- Micrologix es el RSLogix 500. El procedimiento para la utilización de este programa es la siguiente:

- Se ejecuta este programa y posteriormente procede a crear un nuevo archivo.
- Se despliega una lista de los tipos de PLC existentes. Para el presente proyecto se debe seleccionar el Micrologix 1100 Serie A.

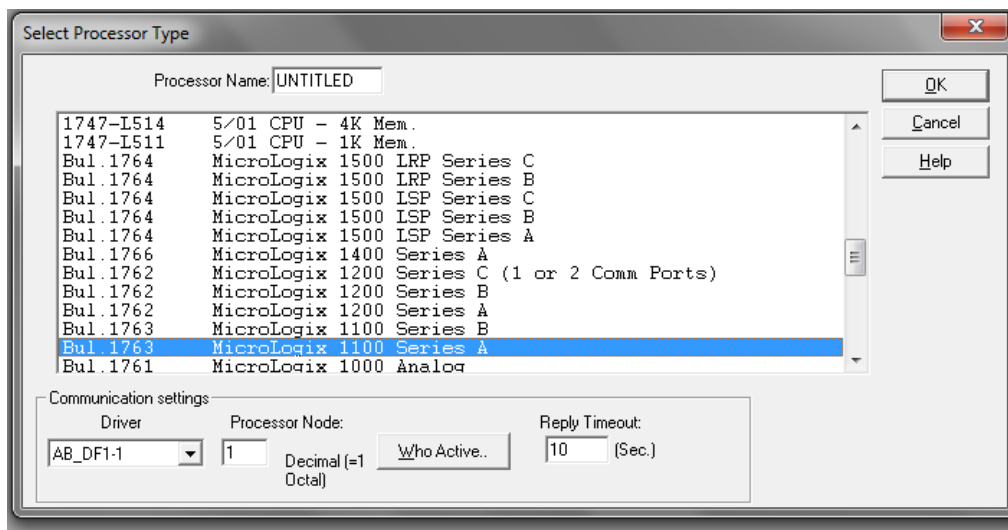


Figura 2.42. Selección del PLC en RSLogix 500.

- Una vez seleccionado el tipo de PLC se abrirá el entorno de programación.

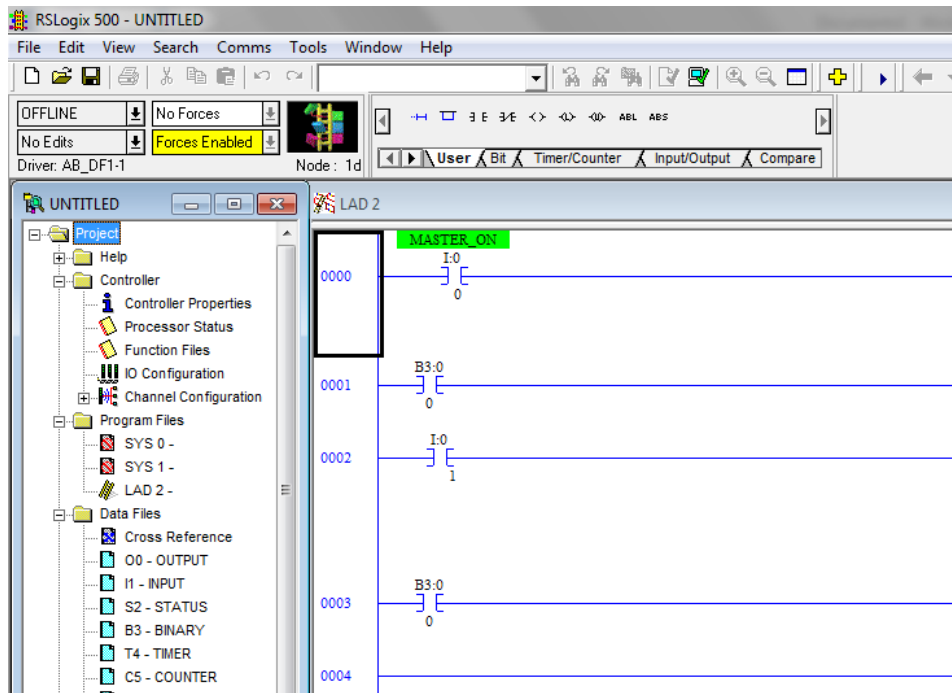


Figura 2.43. Entorno de programación RSLogix 500.

En la tabla 2.47 a continuación se muestran las leyendas usadas para las entradas, salidas, y todos los elementos de lenguaje Ladder usados en la programación del módulo.

Tabla 2.47. Variables de la programación.

Variable	Leyenda	Descripción
I:0/0	MASTER ON	Pulsador Master ON
I:0/1	MASTER OFF	Pulsador Master OFF
I:0/2	-	Pulsador extra
I:0/3	FC1A	Inicio de carrera del cilindro A
I:0/4	FC2A	Final de carrera del cilindro A
I:0/5	FC1B	Inicio de carrera del cilindro B
I:0/6	FC2B	Final de carrera del cilindro B
I:0/7	FC1C	Inicio de carrera del cilindro C
I:0/8	FC2C	Final de carrera del cilindro C
O:0/0	EV1A	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro A
O:0/1	EV2A	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro A
O:0/2	EV1B	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro B
O:0/3	EV2B	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro B
O:0/4	EV1C	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro C
O:0/5	EV2C	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro C
O:1/0	LED ON	Luz piloto para MASTER ON
O:1/1	LED OFF	Luz piloto para MASTER OFF
O:1/2	-	Luz piloto extra
B3:0/0	M0	Memoria asignada para trabajo en cíclico
B3:0/1	M1	Memoria asignada para bloque 1 del circuito
B3:0/2	M2	Memoria asignada para bloque 2 del circuito
B3:0/3	M3	Memoria asignada para bloque 3 del circuito

A continuación se muestra las líneas de programación para el ejemplo práctico del taladro automático:

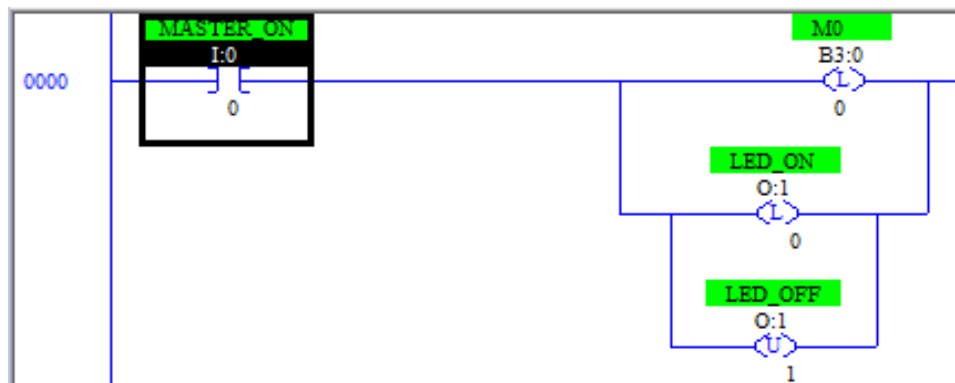


Figura 2.44. Segmento 0000.

**Segmento 0000:** Al accionar el interruptor I:0/0 (Master ON) que se encuentra en la botonera, se activa la memoria B3:0/0 que sirve para que el ciclo se repita indefinidamente. Al presionar este pulsador también se debe encender la luz piloto correspondiente al MASTER ON, además de impedir que la luz de MASTER OFF se active.

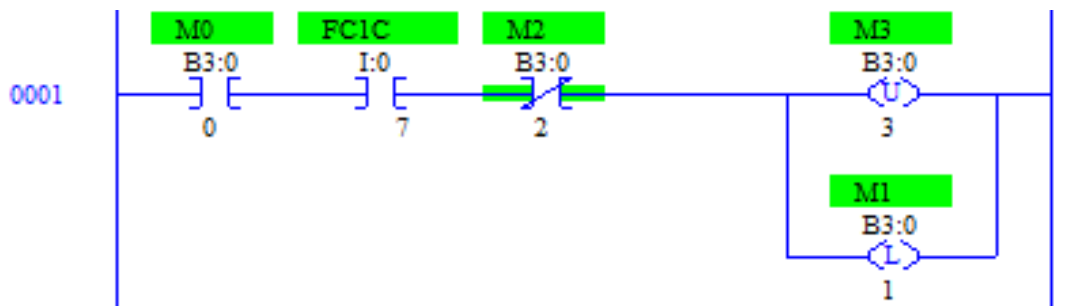


Figura 2.45. Segmento 0001.

**Segmento 0001:** Con la activación de la memoria M0 y con el accionamiento del final de carrera FC1C, se desactiva la memoria del grupo anterior (M3), y finalmente se activa la memoria de trabajo para el grupo 1 (M1). Para garantizar la correcta secuencia de los grupos se coloca la memoria del siguiente grupo de trabajo (M2) normalmente cerrada.

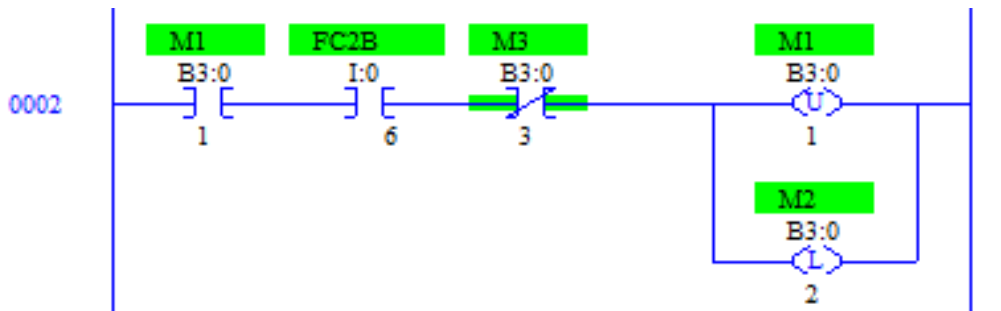


Figura 2.46. Segmento 0002.

**Segmento 0002:** Con la activación de la memoria M1 y con el accionamiento del final de carrera FC2B, se desactiva la memoria del grupo anterior (M1), y luego se activa la memoria de trabajo para el grupo 2 (M2). Para garantizar la correcta secuencia de los grupos se coloca la memoria del siguiente grupo de trabajo (M3) normalmente cerrada.

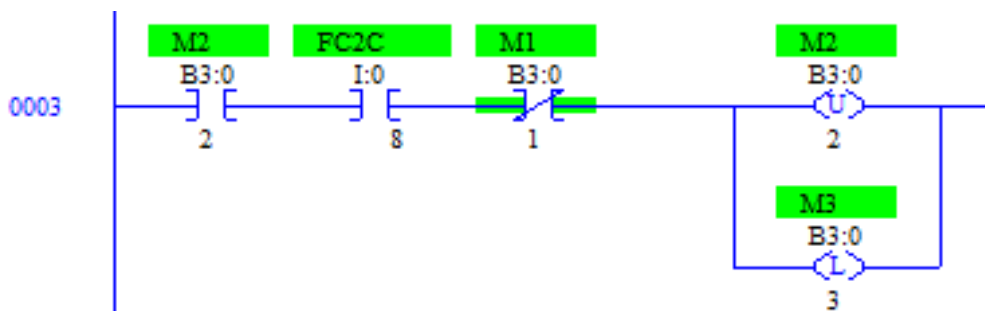


Figura 2.47. Segmento 0003.

**Segmento 0003:** Con la activación de la memoria M2 y con el accionamiento del final de carrera FC2C, se desactiva la memoria del grupo anterior (M2), y luego se activa la memoria de trabajo para el grupo 3 (M3). Para garantizar la correcta secuencia de los grupos se coloca la memoria del siguiente grupo de trabajo (M1) normalmente cerrada.

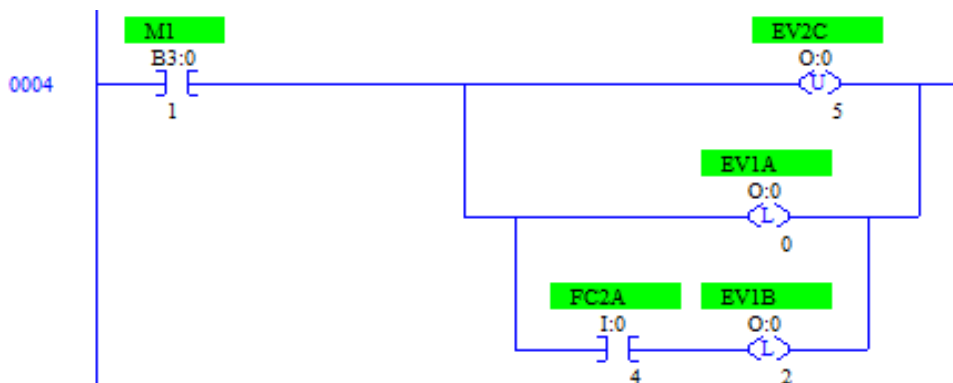


Figura 2.48. Segmento 0004.

**Segmento 0004:** Con la activación de la memoria M1 (grupo 1) se desactiva la electroválvula EV2C (energizada al finalizar cada ciclo de trabajo). Luego se activa la electroválvula EV1A para que el cilindro A avance y accione el final de carrera FC2A, lo cual permite la activación de la electroválvula EV1B y el cilindro B puede salir.

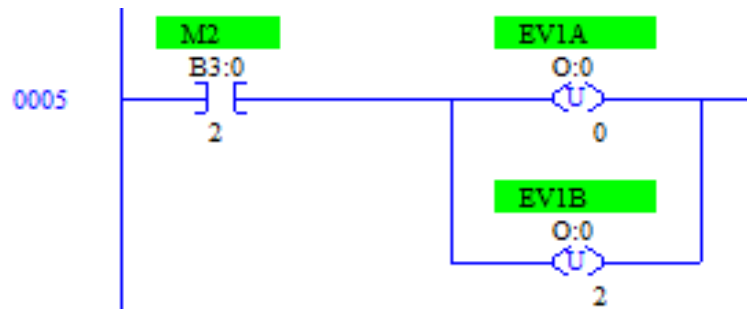


Figura 2.49. Segmento 0005.

**Segmento 0005:** Con la activación de la memoria M2 (grupo 2) se desactivan las electroválvula del grupo previo, es decir EV1A y EV1B.

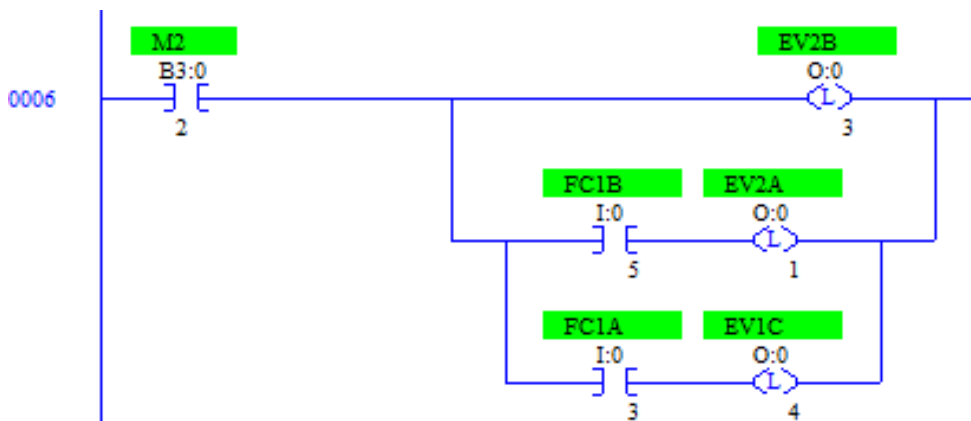


Figura 2.50. Segmento 0006.

**Segmento 0006:** La activación de la memoria M2 también hace que se active la electroválvula EV2B para que el cilindro B retorne y accione el final de carrera FC1B, el cual a su vez permite que se active la electroválvula EV2A para que el cilindro A también retorne y accione el final de carrera FC1A. Esta última acción energiza la electroválvula EV1C y el cilindro C avanza.



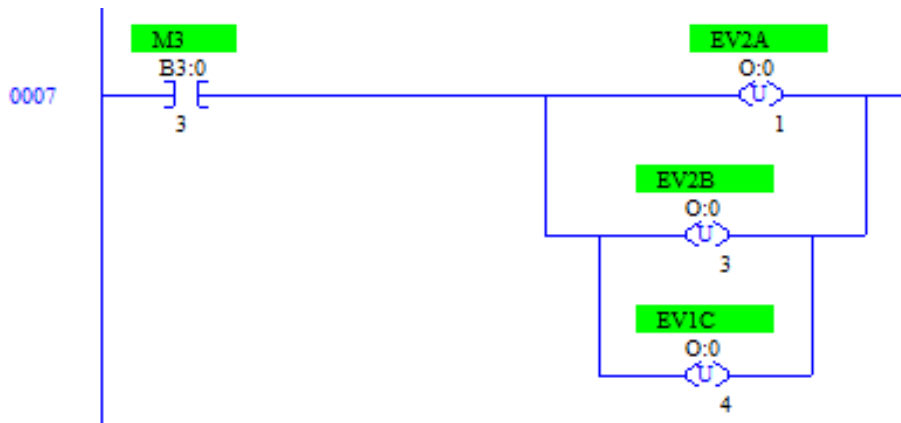


Figura 2.51. Segmento 0007.

**Segmento 0007:** Con la activación de la memoria M3 (grupo 3) se desactivan las electroválvula del grupo previo, es decir EV2A, EV2B y EV1C.

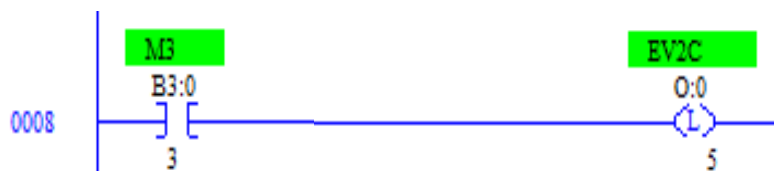


Figura 2.52. Segmento 0008.

**Segmento 0008:** La activación de la memoria M3 también permite la activación de la electroválvula EV2C para que el cilindro C pueda retornar a su posición inicial culminando de esta forma un ciclo completo. Con el retorno del cilindro C se acciona el final de carrera FC1C y el ciclo se repite hasta la intervención de una señal que detenga el enclavamiento.

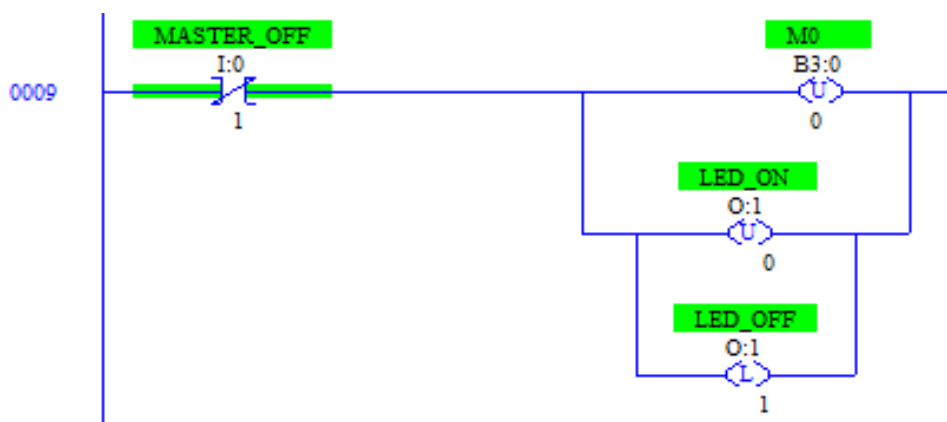


Figura 2.53. Segmento 0009.

**Segmento 0009:** Al accionar un pulsador normalmente cerrado (MASTER OFF) se desactiva la memoria M0 responsable del enclavamiento, haciendo que el módulo se detenga al completar el ciclo que está trabajando.

## 2.8. Análisis de costos

A continuación se detallan los costos de diseño, construcción, montaje y funcionamiento del módulo electro neumático, para el mencionado análisis se dividirá los costos en directos e indirectos.

### 2.8.1. Costos directos

Los costos directos están relacionados con los valores de materia prima y proceso de manufactura.

#### 2.8.1.1. Costos de materia prima

A continuación se detalla los costos y cantidades que se han utilizado para construir el modulo.

Tabla 2.48. Costos de Materia Prima.

Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Valor total
6	Perfil de aluminio figurado 80x40 mm luz natural	\$ 56,94	\$ 341,64
5	Perfil de aluminio 40x40 mm	\$ 11,60	\$ 58,00
1	Varilla de 12mm	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Acrilico cristal 5x700x500 mm	\$ 55,00	\$ 55,00
1	Plancha de acero 1000 x 1000 x 3mm	\$ 16,00	\$ 16,00
		Total	\$ 473,64

#### 2.8.1.2. Costos de elementos normalizados

La presente tabla muestra todas las cantidades, valores y descripciones de los distintos elementos utilizados.

Tabla 2.49. Costos de Elementos Normalizados.

Elementos adquiridos			
Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Valor total
3	Valvula selenoide 1/4 5-2 DS 24VDC	\$ 70,69	\$ 212,07
1	Unidad FR de 1/4"	\$ 95,00	\$ 95,00
1	Distribuidor de aire 6P x 1/4	\$ 6,00	\$ 6,00
4	Acople recto 6mm x 1/4 MPT	\$ 1,34	\$ 5,36
12	Acople recto 6mm x 1/8 MPT	\$ 1,14	\$ 13,68
9	Codo Quick 6mm x 1/4 MPT	\$ 1,52	\$ 13,68
4	Tornillo mm C. Cilind. DIN 7985 6x50	\$ 0,35	\$ 1,40
4	Tuerca mm DIN 934 6x0,9	\$ 0,15	\$ 0,60
9	Tornillo mm C. Cilind. DIN 7985 5x50	\$ 0,19	\$ 1,71
9	Tuerca mm DIN 934 5x0,8	\$ 0,11	\$ 0,99
7	Tornillo mm C. Cilind. DIN 7985 4x20	\$ 0,15	\$ 1,05
7	Tuerca mm DIN 934 4x0,7	\$ 0,08	\$ 0,56
24	Tuerca deslizante 15/M4 - ST	\$ 1,27	\$ 30,48
24	Tornillo mm C. Cilind. DIN 7985 4x15	\$ 0,07	\$ 1,68
1	Cable DB25	\$ 5,00	\$ 5,00
6	Manguera neumatica	\$ 2,50	\$ 15,00
1	Riel Din 100cm	\$ 2,30	\$ 2,30
2	Cable gemelo N. 10	\$ 1,65	\$ 3,30
1	Enchufe	\$ 1,20	\$ 1,20
		Total	\$ 411,06
Elementos del laboratorio			
Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Valor total
6	Codo Quick 6mm x 1/8 MPT	\$ 1,45	\$ 8,70
6	Regulador de caudal 6 x 1/8 MPT	\$ 21,17	\$ 127,02
3	Cilindros 1/8 MPT	\$ 120,00	\$ 360,00
3	Silenciadores 2mm x 1/4	\$ 3,50	\$ 10,50
3	Tapones 2mm x 1/4	\$ 3,50	\$ 10,50
1	Compresor Campbell 1HP	\$ 215,00	\$ 215,00
		Total	\$ 731,72

### 2.8.1.3. Costo de los elementos de control

A continuación se detallan los costos de cada componente utilizado en la parte de control del módulo.

Tabla 2.50. Costos de los Elementos de Control.

Elementos adquiridos			
Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Valor total
2	Interfaz de entrada y salida	\$ 50,00	\$ 100,00
10	Cable electrico flexible #18 color azul	\$ 0,30	\$ 3,00
10	Cable electrico flexible #18 color verde	\$ 0,30	\$ 3,00
40	Terminales de Cable	\$ 0,15	\$ 6,00
1	Espiral para cables	\$ 7,00	\$ 7,00
10	Borneras para riel DIN	\$ 0,50	\$ 5,00
2	Tapas de borneras	\$ 0,50	\$ 1,00
1	Breaker (Magnetotermico)	\$ 8,00	\$ 8,00
2	Pulsadores NC verdes	\$ 2,00	\$ 4,00
1	Pulsador NC rojo	\$ 2,00	\$ 2,00
1	Luz piloto roja	\$ 2,00	\$ 2,00
2	Luz piloto verde	\$ 2,00	\$ 4,00
3	Topes de borneras para riel DIN	\$ 1,50	\$ 4,50
1	MDR 60-24	\$ 60,00	\$ 60,00
		Total	\$ 209,50
Elementos del laboratorio			
Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Valor total
1	Allen Bradley Micrologic 1100 A	\$ 255,00	\$ 255,00
1	Unidad de Expansion I/O Micrologic	\$ 155,00	\$ 155,00
6	Sensores de contacto	\$ 18,00	\$ 108,00
		Total	\$ 518,00

#### 2.8.1.4. Costos de los procesos de manufactura

En la siguiente tabla se detallan los costos de la mano de obra de cada proceso de fabricación.

Tabla 2.51. Costos de los Procesos de Manufactura.

Proceso	Valor Hora/Hombre	Tiempo [H]	Valor total
Torneado	9	2	\$ 18,00
Taladrado	7	3	\$ 21,00
Corte aluminio	10	2	\$ 20,00
Corte acrilico	90	0,17	\$ 15,30
Soldadura	10	2	\$ 20,00
		Total	\$ 94,30

..

### 2.8.1.5. Costos de ingeniería

A través de la siguiente tabla se detallan todos los valores correspondientes a la parte ingenieril.

Tabla 2.52. Costos de Ingeniería.

Descripción	Tiempo[H]	Valor Hora/Hombre	Valor Total
Diseño	225	6	\$ 1.350,00
Transporte	35	3	\$ 105,00
Calibración	10	3	\$ 30,00
Montaje	65	2	\$ 130,00
Planos	60	1,5	\$ 90,00
		Total	\$ 1.705,00

### 2.8.2. Costo total del proyecto

Sumando todos los costos tanto directos como indirectos se establece se establece el valor total del proyecto, el mismo que se muestra a continuación.

Tabla 2.53. Costo total del Proyecto.

Descripcion	Valor (USD)
Costo de Materia Prima (Tabla 3,1)	\$ 473,64
Costo de Elementos Normalizados (Tabla 3,2)	\$ 1.142,78
Costo de Elementos de Control (Tabla 3,3 )	\$ 727,50
Costo de los procesos de Manufactura (Tabla 3,4)	\$ 94,30
Costos de Ingeniería (Tabla 3,5)	\$ 1.705,00
Subtotal	\$ 4.143,22
Imprevistos (5%)	\$ 207,16
<b>Total</b>	<b>\$ 4.350,38</b>
Desglose	
Materiales y Servicios adquiridos	\$ 3.100,66
Materiales de Laboratorio	\$ 1.249,72

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Protocolo de pruebas**

Una vez realizado el montaje del módulo electroneumático es necesario validar el diseño y funcionamiento del mismo con la ayuda de una serie de pruebas de diferente tipo.

Estas pruebas estarán orientadas a verificar las especificaciones técnicas más relevantes del módulo, establecidas en la tabla 2.1, así como también evitar acciones que puedan afectar el funcionamiento y vida útil de sus elementos.

Debido a que su uso está destinado a los estudiantes, estas pruebas también permitirán tener una mayor confiabilidad al momento de realizar prácticas de laboratorio.

Las pruebas que se deberán realizar antes de poner en funcionamiento el módulo son:

##### **3.1.1. Nombre del proceso: Ensayo 1 (General)**

###### **Objetivo:**

Comprobar que todos los elementos se encuentren correctamente anclados al módulo con el fin de evitar vibraciones, fricciones y desplazamientos no deseados.

###### **Dueño del proceso:**

Encargado del laboratorio / Profesor / Estudiantes.

###### **Actividades:**

- Asegurarse de que el soporte del módulo se encuentre sobre una superficie lo más plana posible.
- Verificar que todos los elementos de sujeción de los elementos del módulo (pernos y tornillos) se encuentren correctamente ajustados para evitar que se presenten vibraciones durante la operación.
- Verificar el desplazamiento de los cilindros de forma manual. Estos deben ser capaces de accionar los finales de carrera tanto en el avance como en el retroceso.

- Dejar los cilindros con sus émbolos contraídos.

### **3.1.2. Nombre del proceso: Ensayo 2 (Sistema neumático)**

#### **Objetivo:**

Verificar la funcionalidad y seguridad del sistema neumático del módulo.

Consiste específicamente en una verificación de los rangos de presión que se deben manejar tanto en la fuente (compresor) como en el módulo (unidad de mantenimiento), para asegurar el funcionamiento del mismo y la seguridad de los usuarios.

Se pretende también posicionar los cilindros y válvulas en la posición correcta antes de iniciar la operación, así como también calibrar los reguladores de presión para obtener una velocidad adecuada.

#### **Dueño del proceso:**

Encargado del laboratorio / Profesor

#### **Actividades:**

- Encender el compresor
- Tomar lectura de la presión. La misma debe estar entre 5 y 7 bares para poder movilizar los componentes del circuito.
- Abrir la válvula de paso de aire.
- Verificar que la unidad de mantenimiento disponga de lubricante.
- Conectar la salida del compresor a la unidad de mantenimiento.
- Ajustar el regulador de presión en 6 bares (presión recomendada para cilindros de  $\varnothing = 32$  mm).
- Verificar el sentido de los reguladores de caudal. Uno debe regular el avance y otro el retroceso de los cilindros.
- Pilotar las electroválvulas manualmente para observar el avance y retroceso de los cilindros.
- Calibrar los reguladores de caudal para obtener una velocidad de los cilindros moderada.
- Una vez calibrada la velocidad, pilotar las válvulas para dejar los cilindros con los émbolos retraídos.
- Apagar el compresor

## Entradas

- Aire comprimido
- Unidad de mantenimiento
- Elementos neumáticos

## Salidas

- Movimiento de los cilindros
- Presión adecuada en la línea
- Velocidad de cilindros controlada

### Ensayo 2 (Sistema Neumático)

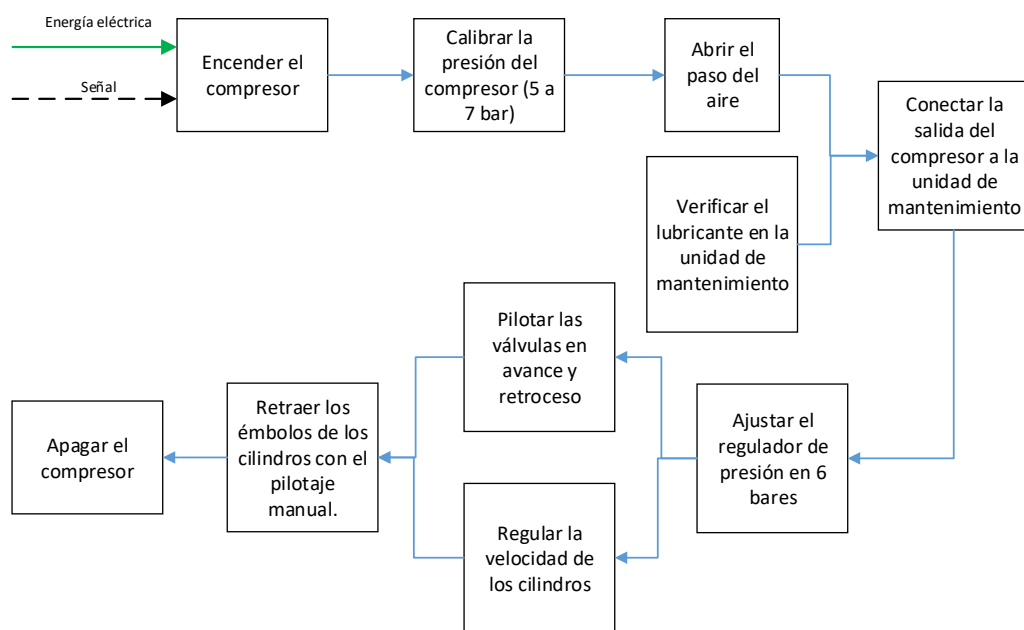


Figura 3.1. Diagrama del Ensayo 2.  
(Fuente: propia)

### 3.1.3. Nombre del proceso: Ensayo 3 (Sistema eléctrico)

#### Objetivo:

Verificar los voltajes en las conexiones del módulo. Las entradas deberán estar conectadas a 24 V y las salidas a 0V.

Se pretende también verificar la correcta conexión de los pulsadores de control y los finales de carrera.

#### Dueño del proceso:

Encargado del laboratorio / Profesor /Estudiantes

#### Actividades:



- Encender la fuente de 24 V.
- Verificar los leds que indican la energización del PLC.
- Con un multímetro se debe hacer contacto entre cada entrada que se utilice del PLC y una bornera de 0 V. Una correcta conexión debe mostrar lo siguiente:
  - La pantalla del multímetro deberá indicar 24 V para contactos normalmente abiertos (NO) y 0 V para normalmente cerrados (NC).
  - Al accionar estas entradas (pulsadores o finales de carrera) el voltaje deberá cambiar a 0 V o 24 V según corresponda.
- Para la verificación de las salidas del PLC se deberá hacer contacto entre cada una de las salidas del PLC y una bornera de 24 V. La pantalla del multímetro deberá indicar también 24 V.
- El pulsador MASTER OFF funciona como normalmente cerrado, por lo que se debe verificar que el led correspondiente a este pulsador se encuentre encendido inicialmente.
- Verificar que los leds en el PLC correspondientes a los finales de carrera normalmente abiertos también se enciendan al accionarlos.
- Apagar la fuente de 24 V.

### **Entradas**

- Corriente directa 24V
- Señales de los finales de carrera
- Multímetro
- PLC

### **Salidas**

- Voltaje en entradas
- Voltaje en salidas
- Señales led del PLC.

### Ensayo 3 (Sistema Eléctrico)

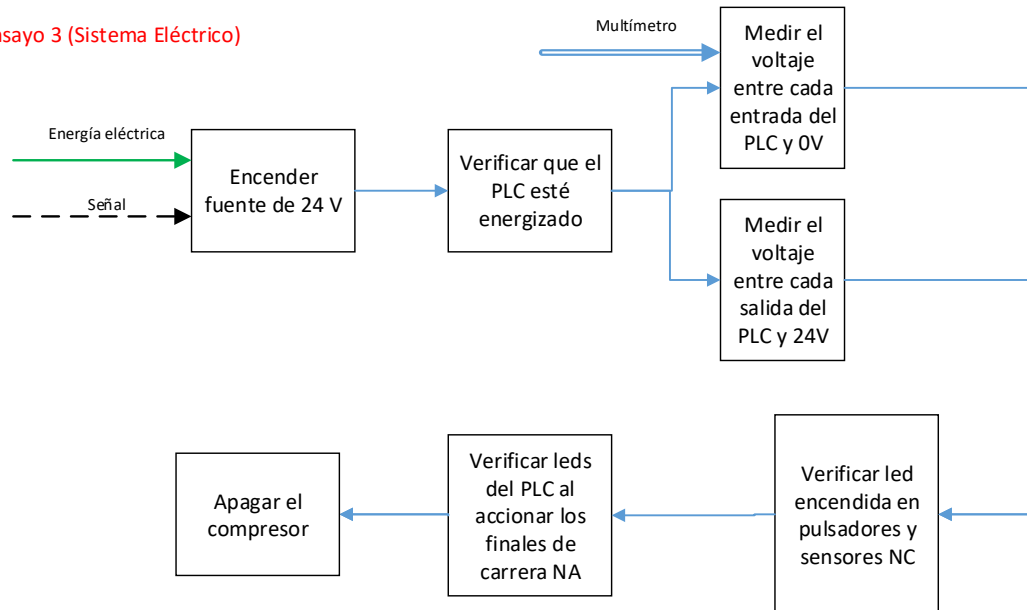


Figura 3.2. Diagrama del Ensayo 3.  
(Fuente: propia)

## 3.2. Guía de prácticas

La guía de práctica correspondiente a este módulo de entrenamiento se encuentra detallada en el Anexo VI.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

Se han cumplido en su totalidad con los objetivos específicos planteados para el presente proyecto, los cuales son: realizar un diseño virtual, un diseño mecánico, seleccionar elementos, ensamblar, establecer un protocolo de pruebas y realizar una guía de prácticas para un módulo de entrenamiento electroneumático.

La metodología de diseño empleada (Diseño concurrente) garantizó que el módulo cumpla satisfactoriamente con todas las especificaciones técnicas establecidas en la concepción del proyecto. Durante el proceso se realizaron ciertas retroalimentaciones que modificaron ciertos parámetros del módulo, pero que no afectaron a la función principal.

El módulo de entrenamiento permite modificar la posición de los elementos y las secuencias de trabajo para así disponer de más alternativas de práctica. Si bien se ha propuesto la secuencia del taladrado como ejemplo práctico, el módulo es bastante versátil para que los usuarios tengan la libertad de realizar operaciones más sencillas o más complejas de acuerdo a sus necesidades.

Este módulo permite reforzar y profundizar de manera específica los conocimientos de los estudiantes en cuanto a neumática, electroneumática y automatización. Se ha dado mayor énfasis a la forma en la que interactúan los elementos electroneumáticos y no tanto a un determinado proceso en el que intervienen dichos elementos.

Para el diseño de circuitos electroneumáticos existen varias metodologías que se utilizan dependiendo la complejidad del circuito a desarrollarse y del número de actuadores que intervienen. Para este módulo de entrenamiento se ha utilizado el método paso a paso, el cual es comúnmente aplicado para circuitos con más de 2 cilindros y con cierto grado de complejidad, sin embargo otros métodos también pueden ser utilizados dependiendo de la necesidad y el grado de conocimiento de los usuarios.

El consumo del aire del sistema electroneumático depende principalmente de la presión de operación y de la velocidad de los cilindros. Al modificar éstas variables dentro de los rangos permitidos se pueden obtener diferentes curvas de consumo de aire, lo cual es importante para establecer una zona óptima de operación así como también límites a partir de los cuales el sistema no funcionará como se requiere.

Si bien el control mediante PLC ofrece muchas ventajas como la rápida modificación de circuitos, el control mediante relés también era una opción viable y de hecho en la industria es más utilizado debido a su durabilidad y fácil mantenimiento. Ya que éste equipo se concibió para prácticas de laboratorio de automatización, y debido a la disponibilidad de un PLC se optó por realizar el control con este dispositivo.

## 4.2. Recomendaciones

Para la realización de prácticas es importante conocer los conceptos y técnicas que se utilizan en neumática y electroneumática como por ejemplo el concepto de señales bloqueantes y el Método de paso a paso para diseño de circuitos electroneumáticos. Esto evitará usos inadecuados del módulo y permitirá un mejor aprovechamiento del mismo.

Para comunicar los elementos del módulo con el panel de control fue necesario realizar varias conexiones con una cantidad considerada de cables. Esto hace que el voltaje sufra una caída desde la fuente hasta llegar a los elementos de trabajo, por lo que se recomienda que para módulos de este tipo se evite compartir una misma fuente o un mismo PLC destinado a otra aplicación, ya que el voltaje se reduciría aún más.

Si bien la interfaz gráfica realizada (FluidSim) y la programación del módulo (RSLogix 5000) utilizan lenguaje ladder, se debe tener en cuenta las diferencias que existen entre ambas en cuanto a la denominación de los elementos ladder y la forma en que éstos se comportan en uno y otro software.

Antes de poner operativo al módulo se debe seguir el protocolo de pruebas establecido en el capítulo anterior para detectar posibles fallos y asegurar un correcto funcionamiento del mismo.

Las conexiones neumáticas solo se podrán verificar una vez conectada la fuente de aire comprimido, por lo que se recomienda identificar fugas de aire y solventarlas antes de poner en operación al módulo y tomando las medidas de precaución necesarias.

Las válvulas utilizadas además de ser solenoides también poseen pilotaje manual por lo que se recomienda primero observar y practicar secuencias de trabajo de forma manual antes de programarlas.

Al ser éste un módulo que se controla completamente por señales eléctricas, no hubo la necesidad de utilizar otro tipo de válvulas como las selectoras “y” u “o”, además de otros accesorios muy utilizados en sistemas neumáticos. Como trabajo futuro o complementario se podría realizar modificaciones a éste módulo para implementar dichas válvulas o accesorios, así como también otro tipo de actuadores distinto a los cilindros.

En cuanto a la parte de control, también se podría implementar un sistema de relés para realizar las mismas secuencias que se realizarían con PLC. Por ejemplo, para el sistema del taladro que se realizó como ejemplo práctico, se podría realizar el control mediante relés (lógica cableada) de acuerdo al siguiente diagrama realizado en FluidSim.

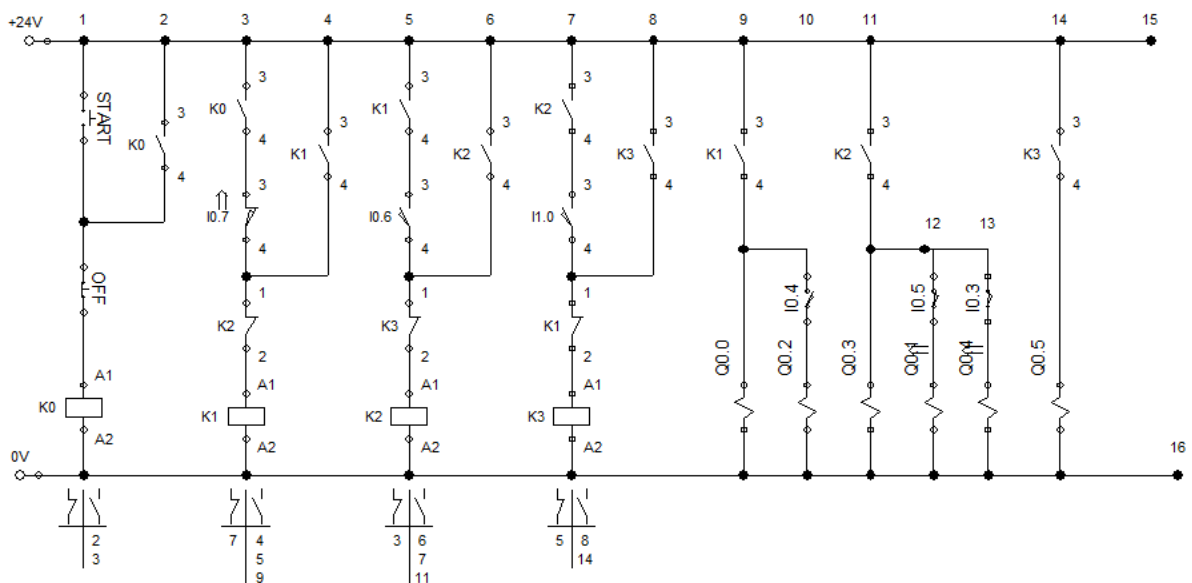


Figura 4.1. Ejercicio de taladro con Relés

## Referencias Bibliográficas

- Automatización micromecánica. (s.f.). Introducción a la Neumática. En A. micromecánica, *Introducción a la Neumática* (págs. 8-9). Buenos Aires: Micro.
- Creus Solé, A. (2007). *Neumática e Hidráulica*. Barcelona: Alfaomega.
- Eléctricos Generales. (s.f.). *Eléctricos Generales*. Obtenido de <http://www.electricosgenerales.com.pe/lineas/panel-de-neumatica-y-electroneumatica/>
- Escuela Politécnica Nacional. (27 de Mayo de 2010). *Repositorio digital*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9276>
- FESTO. (junio de 2009). *Festo Didactic*. Obtenido de [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/542505\\_leseprobe.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/542505_leseprobe.pdf)
- Festo Didactic. (Diciembre de 2009). *Fundamentos de Neumática-Electroneumática*. Obtenido de Festo Didactic: [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/573031\\_lb\\_pep\\_extracto\\_es.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/573031_lb_pep_extracto_es.pdf)
- Lab-Volt Ltd. (2000). *Aplicaciones de Neumática-PLC*. Quebec: Lav-Volt.
- Majumdar, S. (1997). *Sistemas Neumáticos, Principios y mantenimiento*. McGraw Hill.
- Medina, R. (s.f.). *Controladores programables*. Obtenido de <http://ramonmedina.name/files/universidad/plc/plc0006.pdf>
- MiCRO. (s.f.). *Automatización Electroneumática industrial*. Buenos Aires : Automatización Micromecánica.
- Parker Hannifin Corporation. (2003). *Tecnología Neumática Industrial*. Brasil: Jacarel.
- Parker Hannifin. (s.f.). *Parker*. Obtenido de [https://www.parker.com/literature/Brazil/1003\\_5\\_br\\_e.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/1003_5_br_e.pdf)
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente*. Catalunya: Ediciones UPC.
- Serrano Nicolás, A. (2009). *Neumática práctica*. Madrid: Paraninfo, S.A.

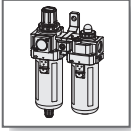
## **ANEXOS**



**Anexo I.**  
**CASA DE LA CALIDAD**

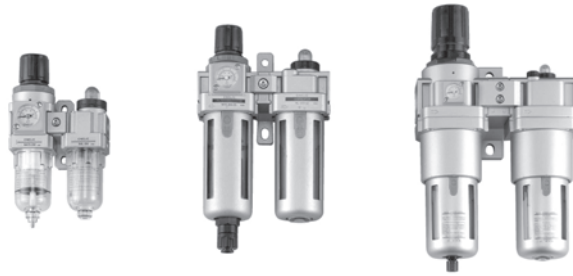


**Anexo II.**  
**FICHA TÉCNICA DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO**

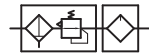


# Air unit - FR.L. Combination unit

Specification / Pressure gauge & Pressure switch / Combination structure **CHELIC PNEUMATIC**



Symbol :



## ○ Specification

Item	Model	NFC-100	NFC-200	NFC-300	NFC-400	NFC-450	NFC-500
Fluid		Air					
Port size	Rc	M5", 1/8"	1/8", 1/4"	1/4", 3/8"	1/4", 3/8", 1/2"	1/2", 3/4"	3/4", 1"
Filter grade		5 μm					
Pressure range	kgf/cm <sup>2</sup> (kpa)	0.5 ~ 8.5 ( 50 ~ 850)					
Max. service pressure	kgf/cm <sup>2</sup> (kpa)	9.5 ( 950)					
Temperature	°C	5 ~ 60					
Drain holding capacity	cc	5	15	30	60	100	100
Lubricator capacity	cc	9	25	50	90	160	160
Recommended lubricants		First class Recommended lubricants (IOS-VG32) lubricant or equivalent					
Weight	kg	0.16	0.37	0.79	1.17	2.20	2.54
Material	Main body	Aluminum die cast					
	Bowl	Polycarbonate/Aluminum bowl					
Equipment	Filter regulator	NFR-100	NFR-200	NFR-300	NFR-400	NFR-450	NFR-500
	Lubricator	NL-100	NL-200	NL-300	NL-400	NL-450	NL-500
Shell protection parts							

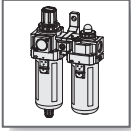
## ○ Pressure gauge & Pressure switch ⑥

Order Code	Pressure gauge			Pressure switch (option and additional)	
	PG5	PG10	PG22	NFC-□-41-02	NFC-□-41-04
Model No.	PG-05	PG-10	PG-22N	PSN-41-02	PSN-41-04
NFC-100	● (Standard)	—	—	—	—
NFC-200	—	● (Option)	● (Standard)	●	●
NFC-300	—	● (Option)	● (Standard)	●	●
NFC-400	—	● (Option)	● (Standard)	●	●
NFC-450	—	● (Option)	● (Standard)	●	●
NFC-500	—	● (Option)	● (Standard)	●	●

## ○ Combination structure ⑦

Figure				
Order Code	Blank (Standard)	-TA (Option)	PN-100T (Option)	PN-300T (Option)
NFC-100	●	●	—	—
NFC-200	●	●	●	—
NFC-300	●	●	●	●
NFC-400	●	●	●	●
NFC-450	●	●	●	●
NFC-500	●	●	●	●

⑥ Note : 1. Standard: Standard accessory ; (option) : Accessory option  
 2. Pressure switch PSN10, PSN30 and PSN-41 specification, please refer to detail specification in P.1-1.25 ~ P.1-1.30



# Air unit - FR.L. Combination unit

Order expression / Bowl and Drain cock type

CHELIC PNEUMATIC

## How to order

**NFC-300** - **03** - **G** - **BG-A** - **F1** - **PG 10** - **TA**

Model (1) Port size (2) Thread type (3) Bowl type (4) Fitting (5) Pressure gauge (6) Combination structure (7)

Model	Port size						
	Code M5	01	02	03	04	06	10
NFC-100		●	●				
NFC-200			●	●			
NFC-300				●	●		
NFC-400					●	●	
NFC-450							●
NFC-500							●

Port connection

Type	Type		
	none	G	N
M5	●	●	●
RC	●	●	●
G type	●	●	●
NPT	●	●	●

※ The dimension of thread 1/2 more is same with NPT/RC

Bowl type	Bowl type	
	none	Other bowl type
PC (Short bowl)	—	
PC (Short bowl)	option	
Bowl guard (Short bowl)	option	
Bowl guard (Standard)	option	
Bowl guard (Standard)	option	
Bowl guard (Standard)	option	

※ Please see the below table in detail.

Fitting	Fitting	
	none	-F1
Manual drain cock	—	
	option	
	option	
	option	
	option	

※ Please see the below table in detail.

**PG-05**  
None : (Standard)  
Circle pressure gauge  
※ For N100 series

**PG-22N**  
None : (standard)  
Square pressure gauge  
(Thin mounting type)

**PG-10A**  
None : (standard)  
Square pressure gauge  
(Thin mounting type)

※ N200, N300, N400, N450, N500 series (option)  
※ Please refer to P.1-1.103 for pressure gauge

**NC**  
F.R.L. Combinations

**NFC**  
F.R.L. Combinations

**PSN-10 30,41**  
Pressure switch

**NFR**  
Filter regulator

**MFR**  
Mist filter regulator

**MFRD**  
Micro mist filter regulator

**NF**  
Air filter

**MF**  
Mist separator

**MFD**  
Micro mist separator

**NR**  
Regulator

**ARX**  
Regulator

**NL**  
Lubricator

**N series**  
Mounting bracket

**DM**  
Large-sized filter

**ER**  
Precision regulator

**PG/AFB**  
**NDV/AD**

### □ Bowl and Drain cock type ← ④

### □ With Fitting - F1 ← ⑤

### □ NFC-100~200 type - Bowl and Drain cock type - ④

Bowl type	PC (Short bowl)		Bowl guard (Short bowl)		PC (Long bowl)		Bowl guard (Long bowl)		Metal (Long bowl)
	Manual drain cock	Differential pressure	Manual drain cock	Differential pressure	Manual drain cock	Auto drain	Manual drain cock	Auto drain	Auto drain
<b>Model</b>	-H	-A	-BG-H	-BG-A	-LG-H	-LG-A	-LBG-H	-LBG-A	-LMG-A
<b>NFC-100</b>	● (standard)	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>NFC-200</b>	● (standard)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)

### □ NFC-100~200 type - With Fitting - F1 - ⑤

<b>NFC-100/200</b>	—	● (standard)	● (option)	● (standard)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)
<b>Description</b>		Note.1 (Fitting outside)	Note.1 (Fitting outside)	Note.1 (Fitting outside)	Quick fitting	Quick fitting	Quick fitting	Quick fitting	Quick fitting

### □ NFC-300~500 type - Bowl and Drain cock type - ④

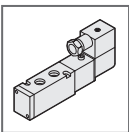
Bowl type	Bowl guard (Standard)			Bowl guard (Long bowl)		Metal (Long bowl)	
	Manual drain cock	Differential pressure	Auto drain	Manual drain cock	Auto drain	Manual drain cock	Auto drain
<b>Model</b>	-H	-S	-A	-LG-H	-LG-A	-MG-H	-MG-A
<b>NFC-300</b>	● (standard short)	● (option)	—	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)
<b>NFC-400</b>	● (standard)	● (option)	● (option)	—	—	● (option)	● (option)
<b>NFC-450</b>	● (standard)	● (option)	● (option)	—	—	● (option)	● (option)
<b>NFC-500</b>	● (standard)	● (option)	● (option)	—	—	● (option)	● (option)

### □ NFC-300~500 type - With Fitting - F1 - ⑤

<b>NFC-300~500</b>	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)	● (option)
<b>Note</b>							

- 🔍 Note : 1. NFC200 series are outside fitting, others are inside fitting; please refer to P.04 auto drain construction.  
 2. NFC300 series are standard manual type. (-H Short bowl type)  
 3. (standard) : Standard accessory; (option) : Optional accessory.

**Anexo III.**  
**FICHA TÉCNICA DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL**

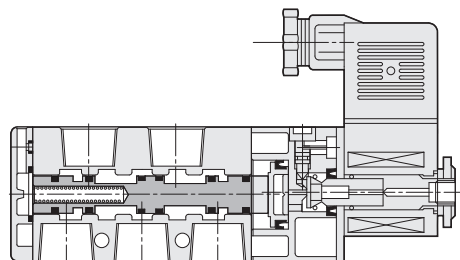
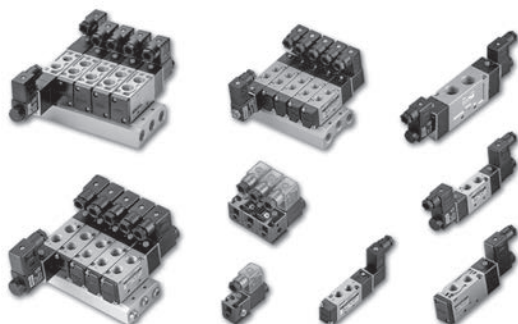


# SV series - 500、600、800、900 Solenoid valve

Operation specification and Order expression

CHELIC PNEUMATIC

## Internal structure



**SM**

Solenoid Valve

**SMB**

Solenoid Valve

**SMU**

Solenoid Valve

**SMUB**

Solenoid Valve

**SR**

Solenoid Valve

**SRB**

Solenoid Valve

**SRU**

Solenoid Valve

**SRUB**

Solenoid Valve

**SRK**

Solenoid Valve

**SK**

Solenoid Valve

**SNK**

Solenoid Valve

**SKU**

Solenoid Valve

**SV**

Solenoid Valve

**SN**

Solenoid Valve

**SV310**

Solenoid Valve

## Specification

Item	Model	SV-5101	SV-5231	SV-6101(2)	SV-6231	SV-8102(3)	SV-8232	SV-9104
		SV-5201		SV-6201(2)	SV-6232	SV-8202(3)	SV-8233	SV-9204
Fluid		Air						
Pressure range	Kgf/cm <sup>2</sup> (Kpa)	1.5 ~ 7 (150 ~ 700)						
Operating ambient temperature range	°C	0 ~ 60						
Operating method		Air pilot						
Number of positions ports	mm <sup>2</sup> (CV)	5 ports 2 positions	5 ports 3 positions	5 ports 2 positions	5 ports 3 positions	5 ports 2 positions	5 ports 3 positions	5 ports 2 positions 5 ports 3 positions
Valve function		Normal closed						
Orifice		12(0.67)		14(0.78)		25(1.4)		50(2.78)
Manual button		Push and lock ( SV-500 Push type only )						
Connection port		Rc 1/8		Rc 1/8 , 1/4		Rc 1/4 , 3/8		Rc 1/2
Lubrication		Lubrication free type						

Note : Custom made for NPT thread type.

## How to order

SV series Solenoid Valve

**SV** — **6** — **1** — **0** — **2** — **110 VAC** — **K** — **L** — **M** — **2**

**Model**    **Coil no.**    **Positions no.**    **Port size**    **Voltage type**    **Connection type**    **With indicator light**    **No. of manifolds**

5:500 series  
 6:600 series  
 8:800 series  
 9:900 series

1 : Single  
 2 : Double

0 : 2 Pos.  
 3 : 3 Pos.

1 : Rc1/8  
 2 : Rc1/4  
 3 : Rc3/8  
 4 : Rc1/2

**Standard :**  
 24VDC / 2.5W  
 110VAC / 5VA  
 220VAC / 5VA

**Special voltage :**  
 12VDC / 2.5W  
 24VAC / 8.5VA  
 220VAC / 8.5VA  
 Suitable for 190~250V  
 ( For high pressure range )

**ISO Socket solenoid type**  
 (Special voltage option)

**Solenoid with wire**  
 (500mm)  
 (Wired solenoid are standard voltage only)

None (Standard)  
 Without indicator light  
 (Black case)

**ISO Socket solenoid type with indicator light**  
 for AC, DC  
 (Transparent case)

None :  
 Without manifold  
 M2 = 2 sets  
 M3 = 3 sets  
 ⋮  
 M12 = 12 sets

※ SV500 series  
 Max. manifolds : M10

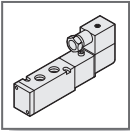
※ SV600 series  
 Max. manifolds : M12

※ SV800 series  
 Max. manifolds : M12

※ SV900 series  
 Max. manifolds : M5

Note :

- Special voltage needs to be marked.
- The standard of SV500 series is with wire type.  
For SV600, 800, 900 series, standard type is ISO socket type.



# SV series Solenoid valve - SV 600

External dimension

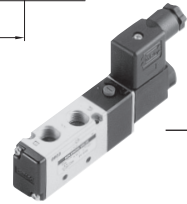
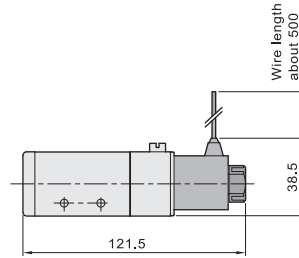
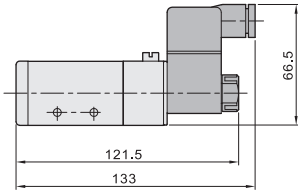
CHELIC PNEUMATIC

## 600 series Coil operated type

— DIN Connection type ( Standard )

● With LED ( Optional )

— Wire type ( Optional )



**SM**  
Solenoid Valve

**SMB**  
Solenoid Valve

**SMU**  
Solenoid Valve

**SMUB**  
Solenoid Valve

**SR**  
Solenoid Valve

**SRB**  
Solenoid Valve

**SRU**  
Solenoid Valve

**SRUB**  
Solenoid Valve

**SRK**  
Solenoid Valve

**SK**  
Solenoid Valve

**SNK**  
Solenoid Valve

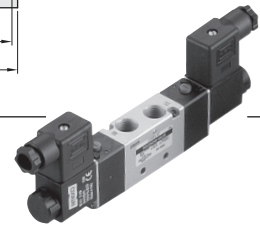
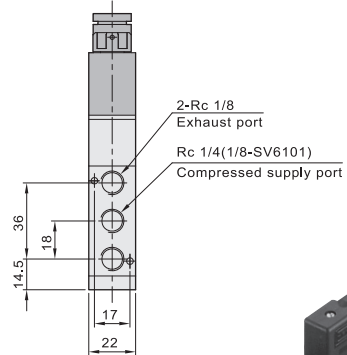
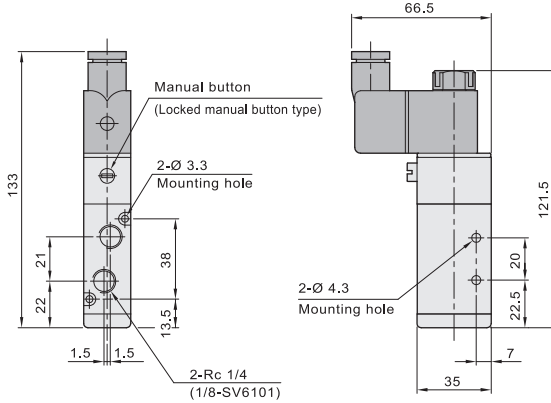
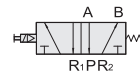
**SKU**  
Solenoid Valve

**SV**  
Solenoid Valve

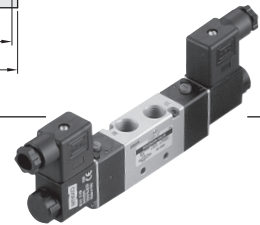
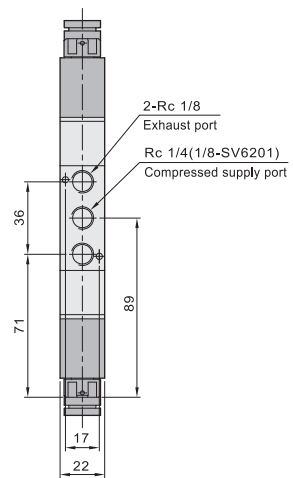
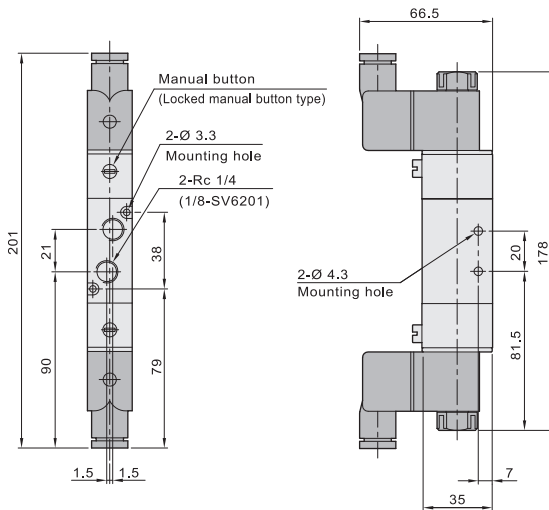
**SN**  
Solenoid Valve

**SV310**  
Solenoid Valve

## SV - 6102 series Single coil 5 ports 2 positions

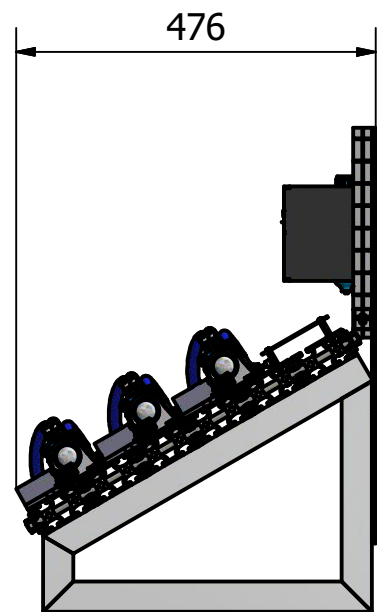


## SV - 6202 series Double coil 5 ports 2 positions

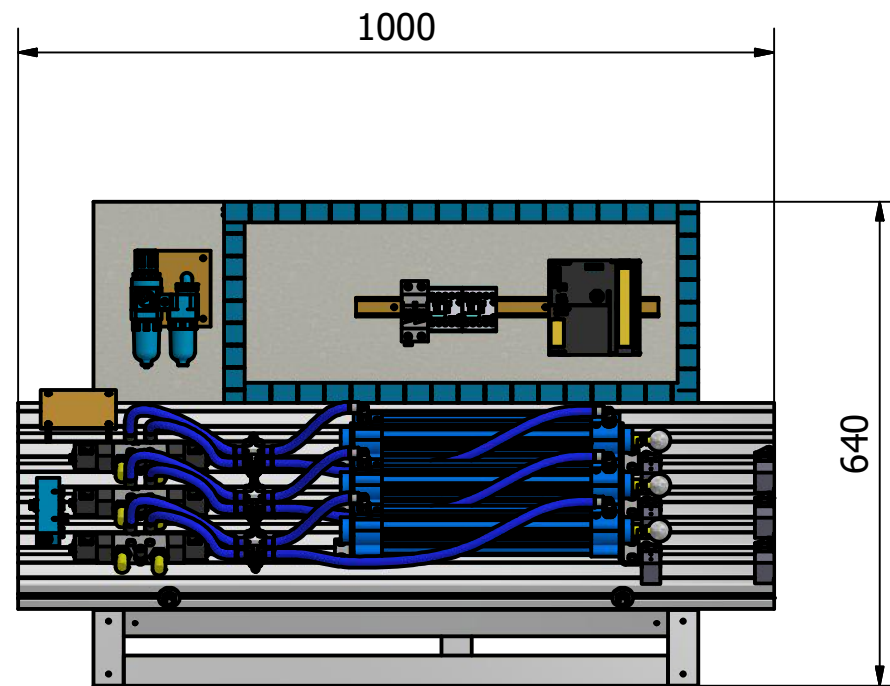




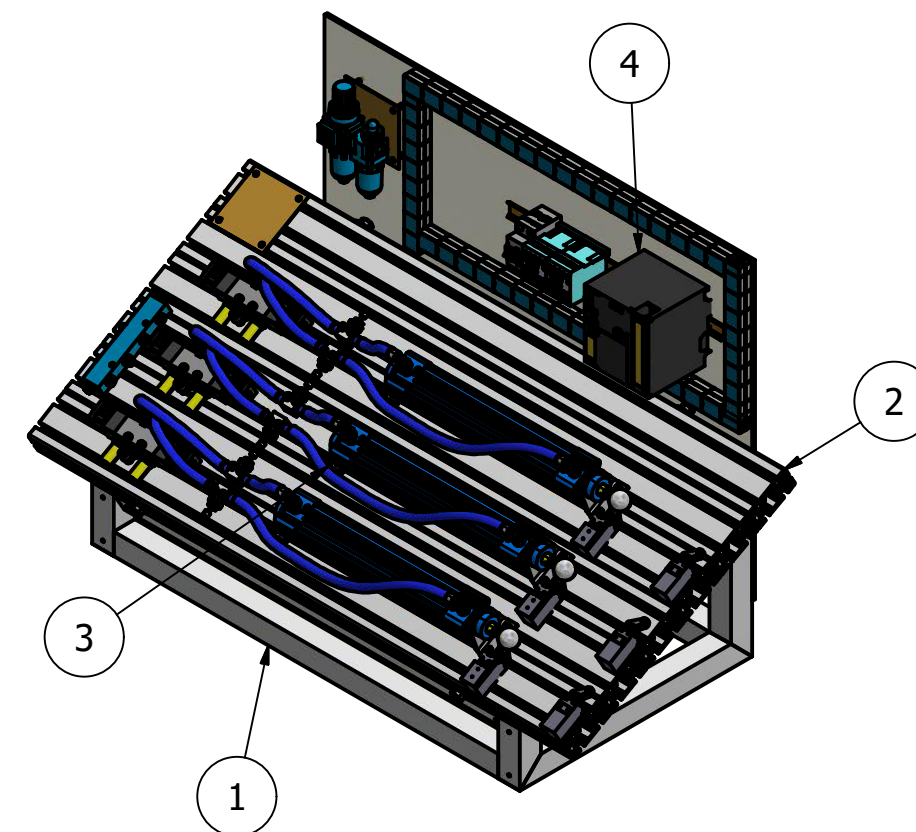
**Anexo IV.**  
**PLANOS**



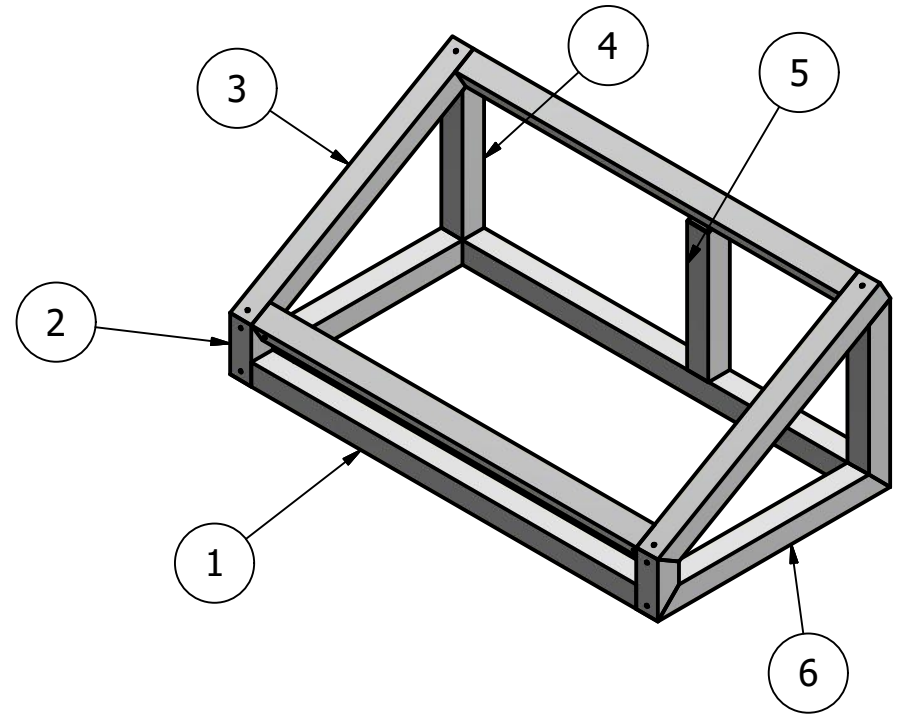
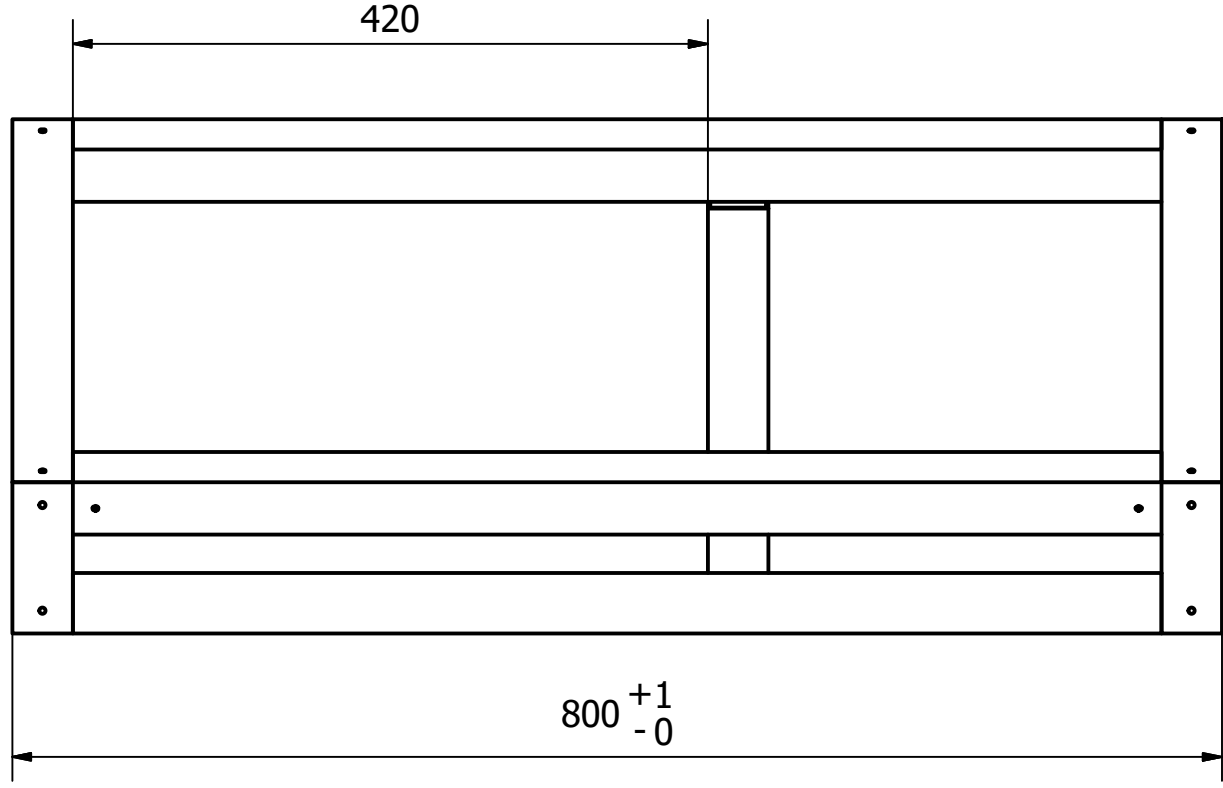
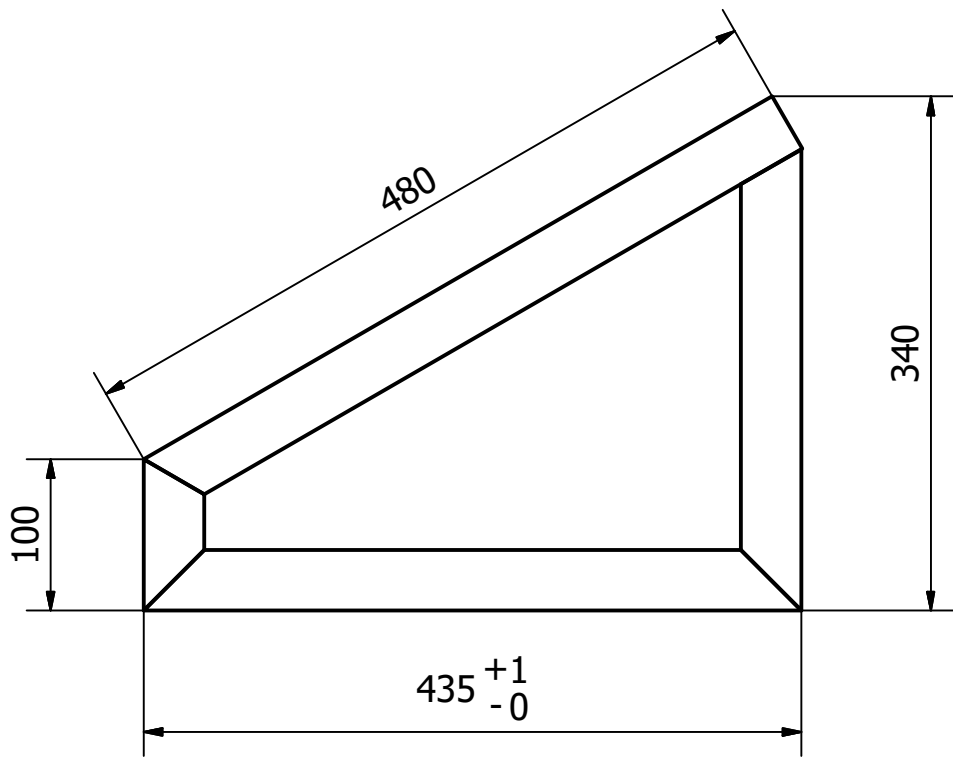
Vista Lateral



Vista frontal



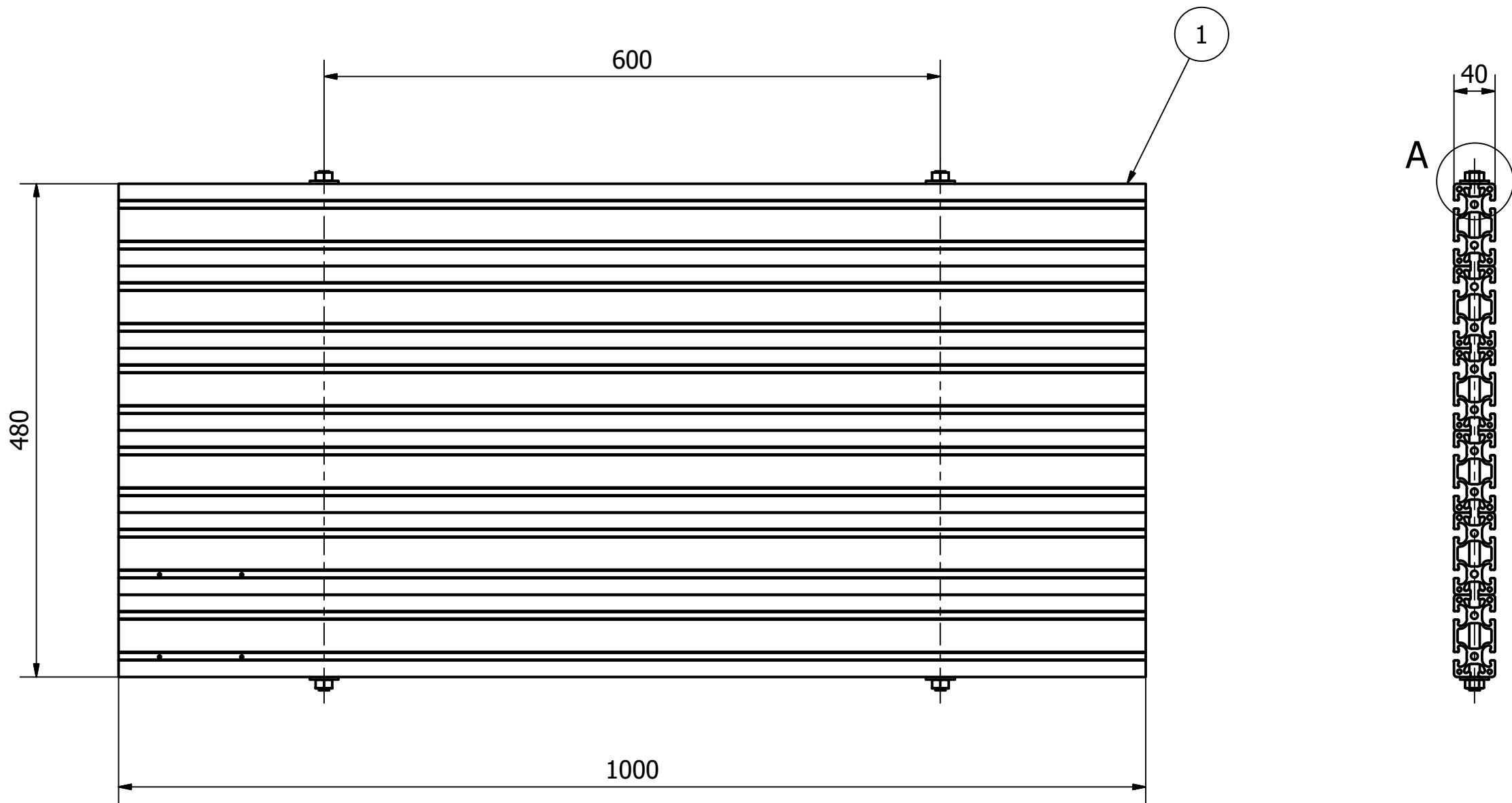
4	1	Sistema de control	Plano 3543-4
3	1	Circuito electroneumático	Plano 3543-3
2	1	Base del módulo	Plano 3543-2
1	1	Soporte	Plano 3543-1
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
LISTA DE PIEZAS			
Trat. térmico.	Ninguno		<b>EPN</b>
Recubrimiento.	Ninguno		
Material:	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:10	Dib. Cárdenas - Suarez
			Dis. Cárdenas - Suarez
			Rev. Ing. Ricardo Soto
Medidas generales		3543-0	Fecha: 18-04-18



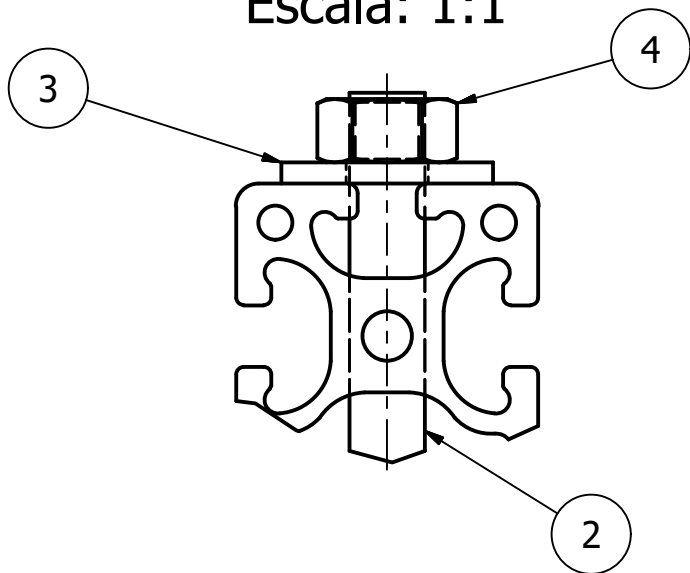
Nota:  
- La sujeción entre perfiles se realiza con remaches de ala ancha de 1/2"

1	4	Soporte 1	Plano 3543-7
2	2	Soporte 2	Plano 3543-8
3	2	Soporte 3	Plano 3543-9
4	2	Soporte 4	Plano 3543-10
5	1	Soporte 5	Plano 3543-11
6	2	Soporte 6	Plano 3543-12
7	18	Remaches ala ancha	1/2"
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
LISTA DE PIEZAS			

Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez	
Material:	Aluminio comercial	Tol Gral. ± 1	Escala:	Dis.	Cárdenas - Suarez
			1:10	Rev.	Inq. Ricardo Soto
<b>Soporte</b>			3543-1	Fecha: 18-04-18	

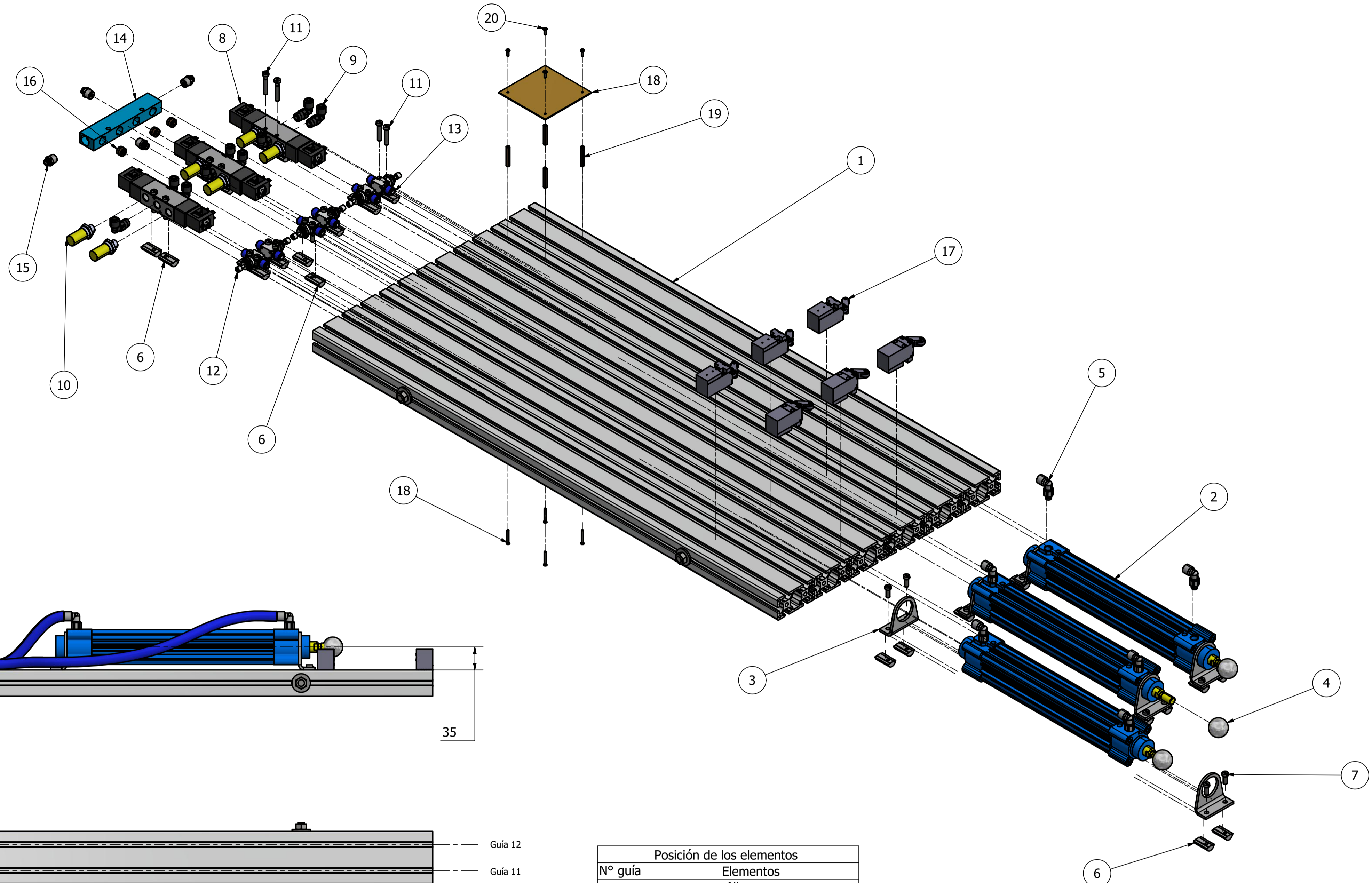
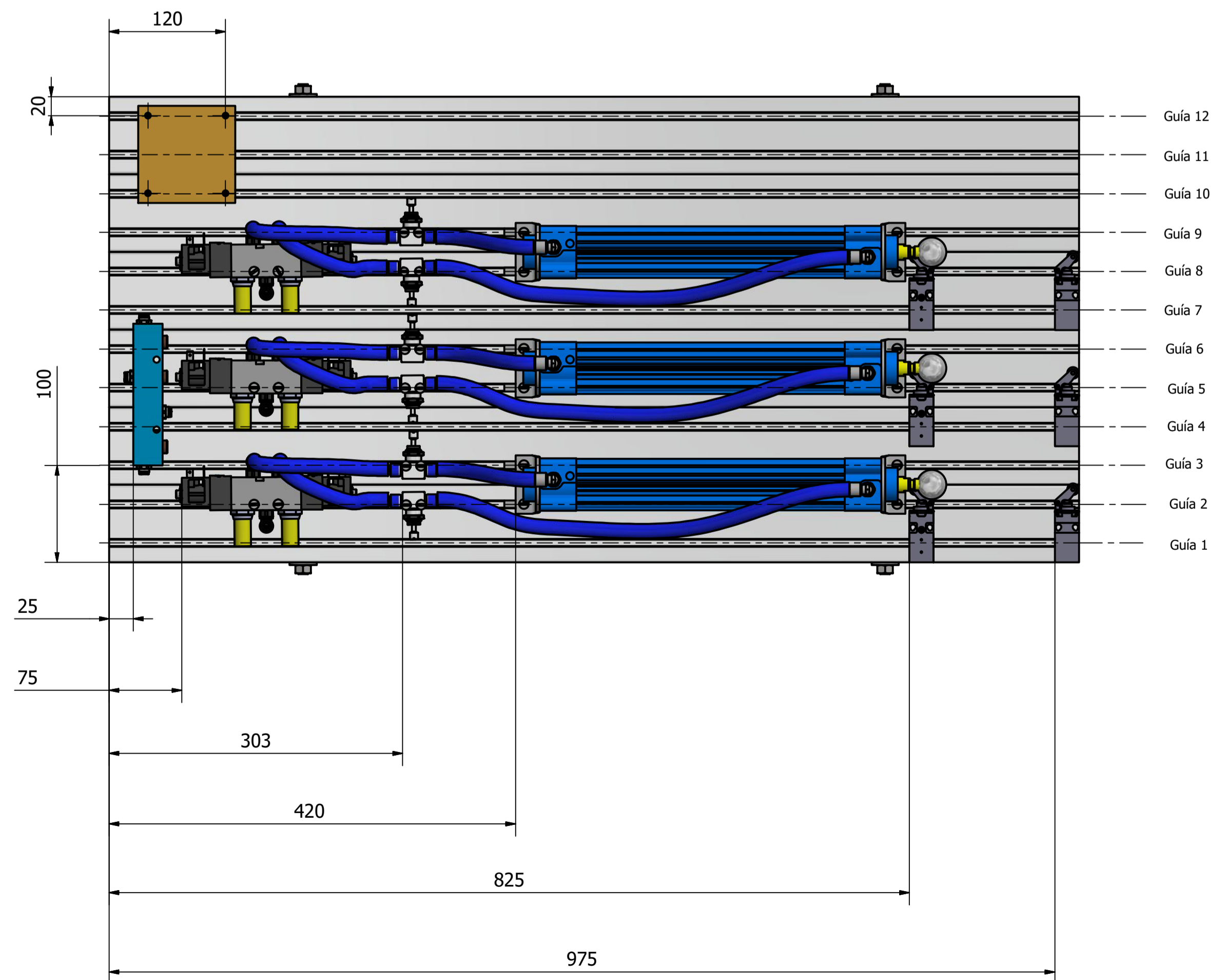
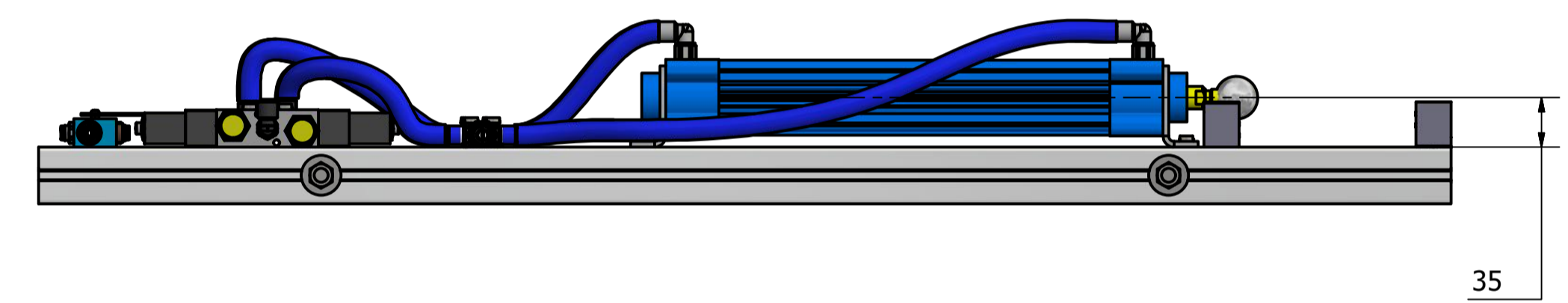
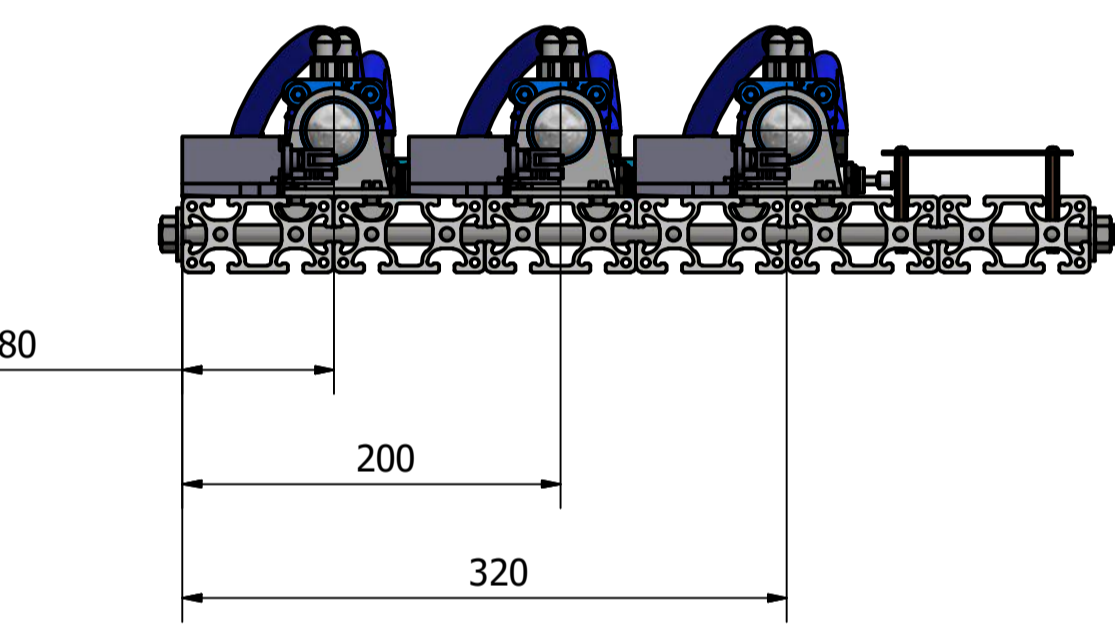


Detalle: A  
Escala: 1:1



ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
4	4	Tuerca	Tuerca hexagonal regular M10x1.5
3	4	Arandela	Plana regular M10
2	2	Barra de sujeción	Plano 3543-14
1	6	Perfil de aluminio	Plano 3543-13
LISTA DE PIEZAS			
Trat. térmico.	Ninguno		<b>EPN</b>
Recubrimiento.	Ninguno		
Material:	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:5	Dib. Cárdenas - Suarez
			Dis. Cárdenas - Suarez
			Rev. Ing. Ricardo Soto
Base del módulo			Fecha: 18-04-18

3543-2

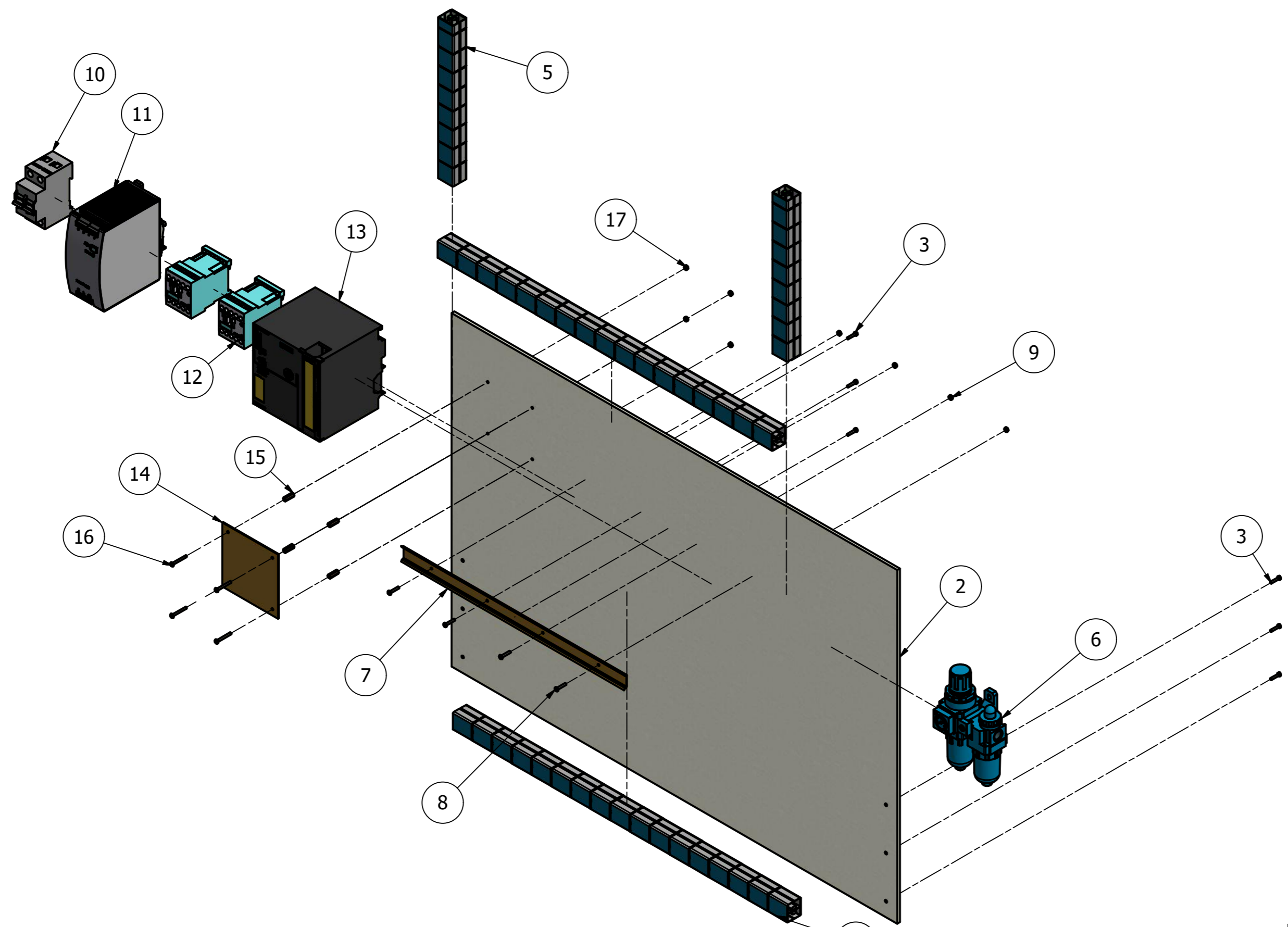


Posición de los elementos	
Nº guía	Elementos
1	Ninguno
2	Electroválvula, Regulador de retorno, Cilindro C
3	Regulador de avance, Cilindro C
4	Ninguno
5	Electroválvula, Regulador de retorno, Cilindro B
6	Regulador de avance, Cilindro B
7	Ninguno
8	Electroválvula, Regulador de retorno, Cilindro A
9	Regulador de avance, Cilindro A
10	Postes para placa de comunicación
11	Ninguno
12	Postes para placa de comunicación

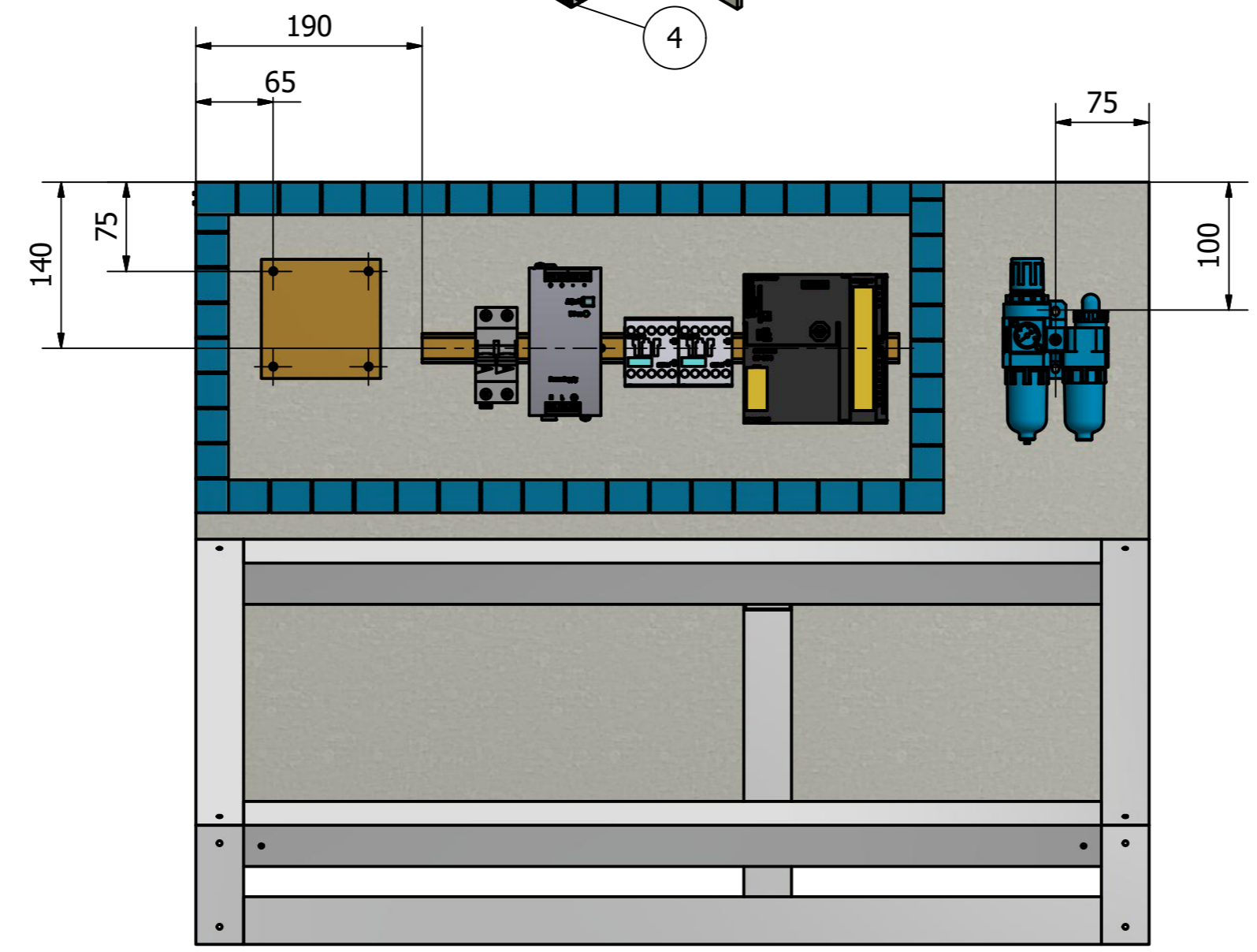
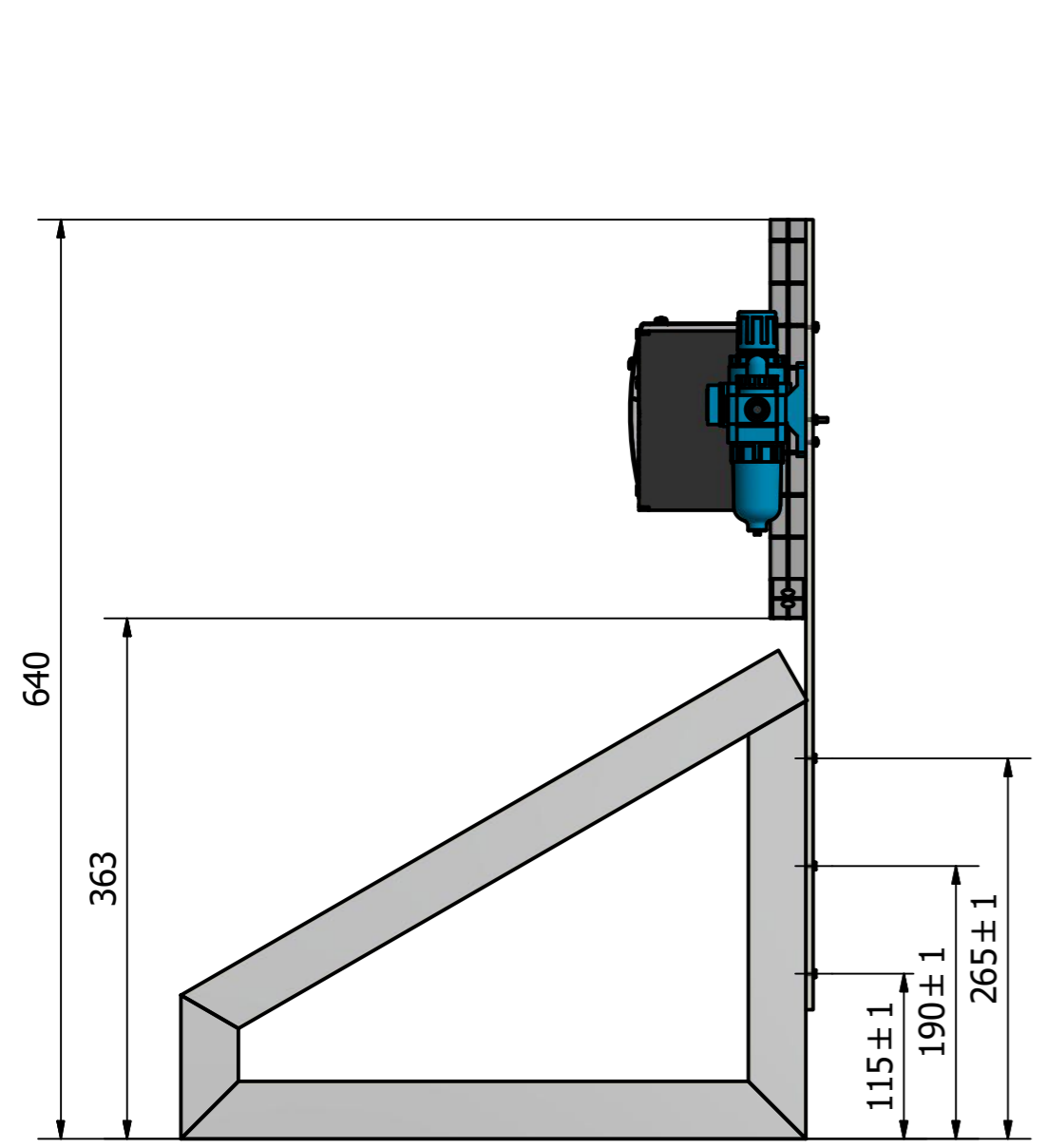
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
21	10	Tornillo inferior de placa	M3x25 mm
20	1	Tornillo superior de placa	M3x15 mm
19	4	Poste	Hexagonal M3
18	1	Placa de comunicación	Plano 3543-14
17	6	Final de carrera	Microrruptor Camasco
16	3	Tapón	G1/4; allen hexagonal
15	6	Racor del distribuidor	G1/4; recto
14	6	Distribuidor de aire	7 salidas; G1/4
13	6	Racor de regulador de caudal	G1/8; recto
12	6	Regulador de caudal	Unidireccional; G1/8
11	3	Tornillo de cabeza ranurada	M6x35 mm
10	1	Filtro electroválvula	G1/4
9	6	Racor de electroválvula	G1/4; en codo
8	4	Electroválvula biestable	G1/4; 24V DC; 3W
7	18	Tornillo de cabeza ranurada	M6x16 mm
6	3	Tuerca deslizante	Tuerca St M6
5	3	Racor de cilindro	G1/8; en codo
4	4	Esfera del cilindro	Diámetro 20 mm
3	2	Soporte de cilindro	Plano 3543-13
2	3	Cilindro neumático	C=200mm G1/8
1	6	Base del panel	3543-2

Nota:  
Los finales de carrera y el distribuidor de aire se posicionan con adhesivo

Trat. térmico.	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento.	Ninguno		
Material:	Tol. Gral.	Escala:	Dib. Cárdenas - Suarez
			Dis. Cárdenas - Suarez
Circuito electro neumático			3543-3
			Fecha: 18-04-18

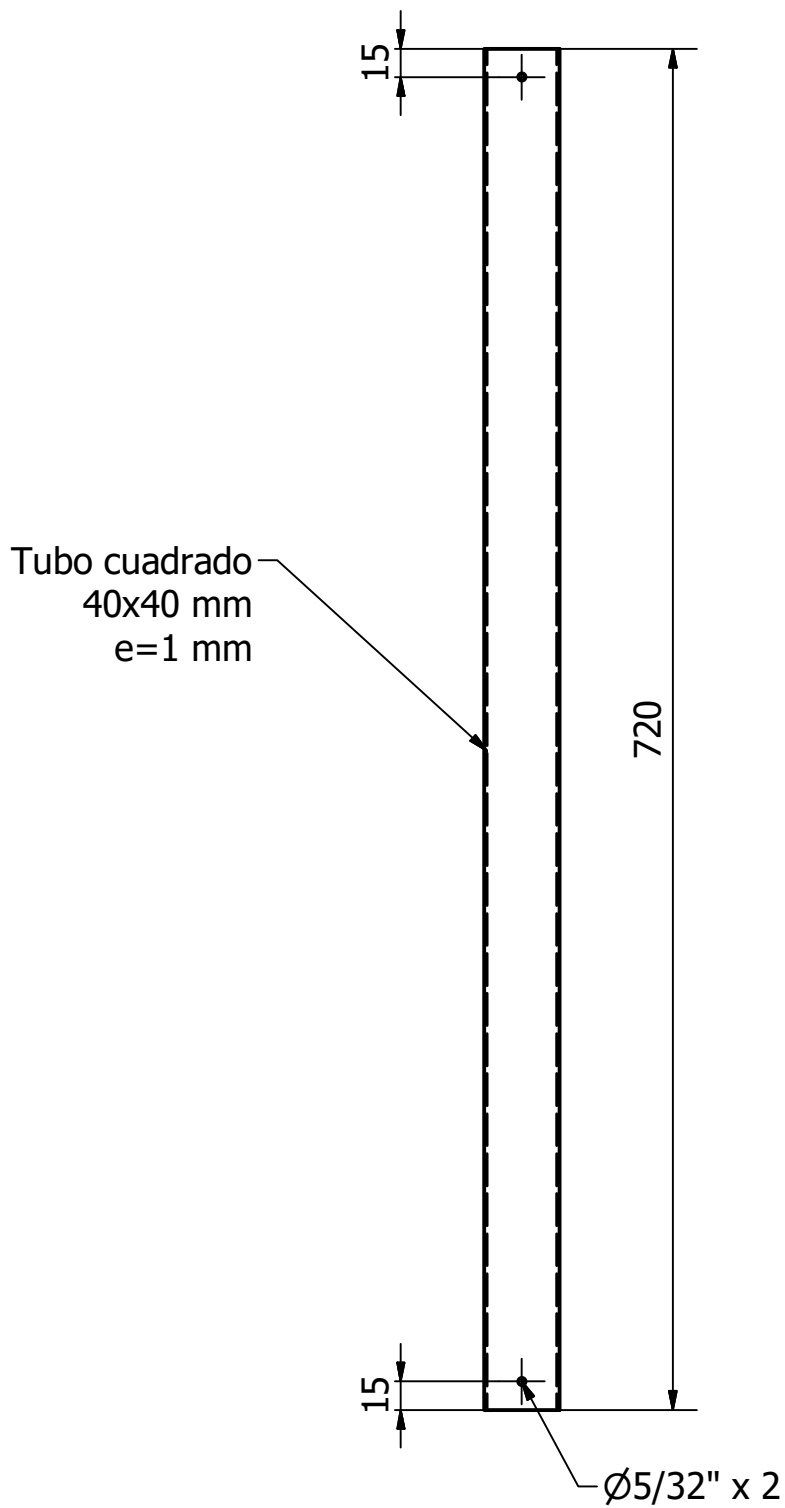


Notas:  
 - Los elementos no acotados como PLC, borneras, magneto térmico, etc se posicionan a conveniencia en el riel DIN



17	4	Tuerca placa de comunicación	M3
16	4	Tornillo placa de comunicación	M3x16 mm
15	4	Poste	M3x7 mm
14	1	Placa de comunicación 2	Plano 3543-15
13	1	PLC	Micrologix 1100
12	2	Borneras	24VDC / COM
11	1	Fuente de poder	24VDC
10	1	Magneto térmico	I=6A
9	4	Tuerca Riel DIN	M4
8	4	Tornillo Riel DIN	M4x14 mm
7	1	Riel DIN	L=400 mm
6	1	Unidad de mantenimiento	G1/4
5	2	Canaleta ranurada	L=300 mm
4	2	Canaleta ranurada	L=500 mm
3	6	Tornillo de sujeción placa soporte	M3x50 mm
2	1	Placa de acrílico	Acrílico e=5mm 800x500
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN

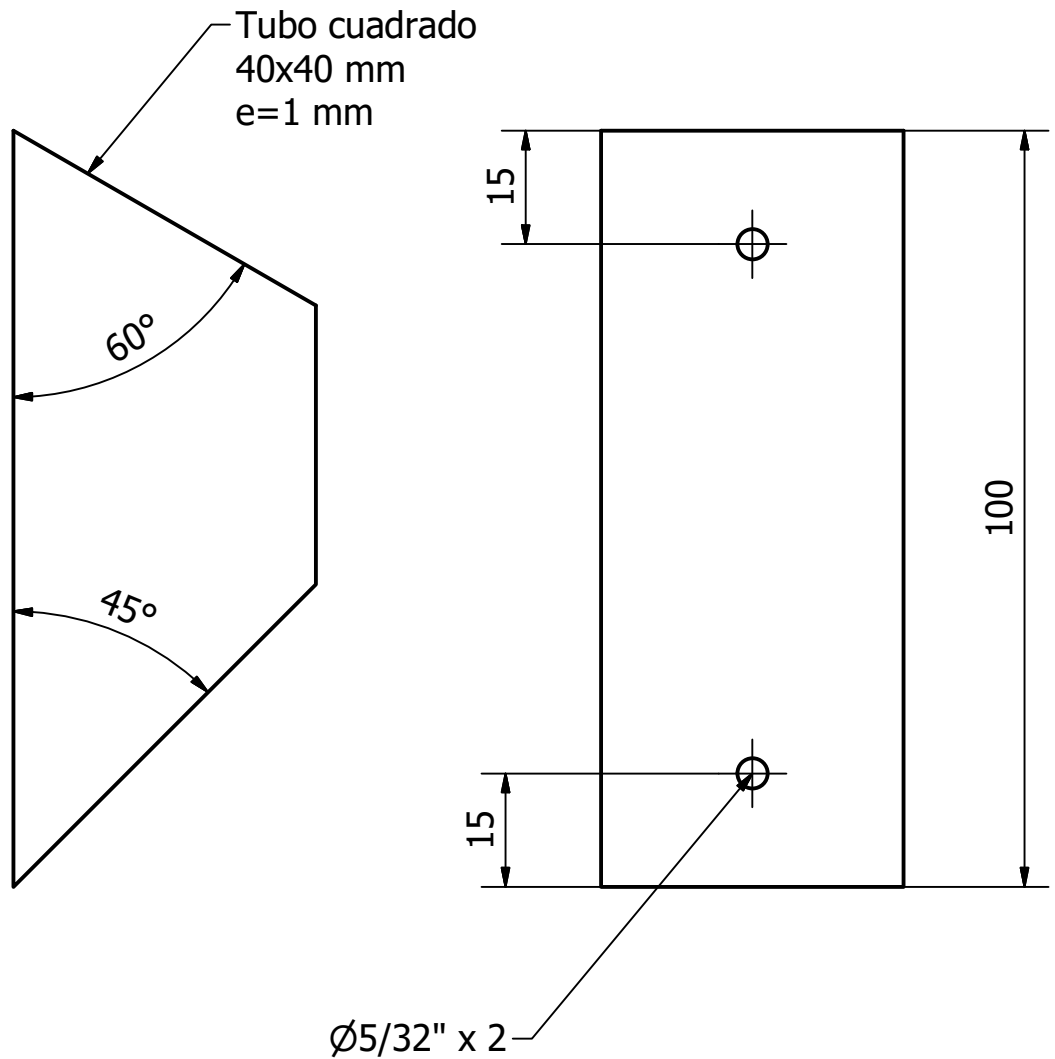
LISTA DE PIEZAS			
Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento.	Ninguno		
Material:	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:5	Dib. Cárdenas - Suarez Dis. Cárdenas - Suarez Rev. Ing. Ricardo Soto
Módulo de control		3543-4	Fecha: 18-04-18



Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. $\pm 1$	Escala: 1:4	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
<b>Soporte 1</b>		3543-5		

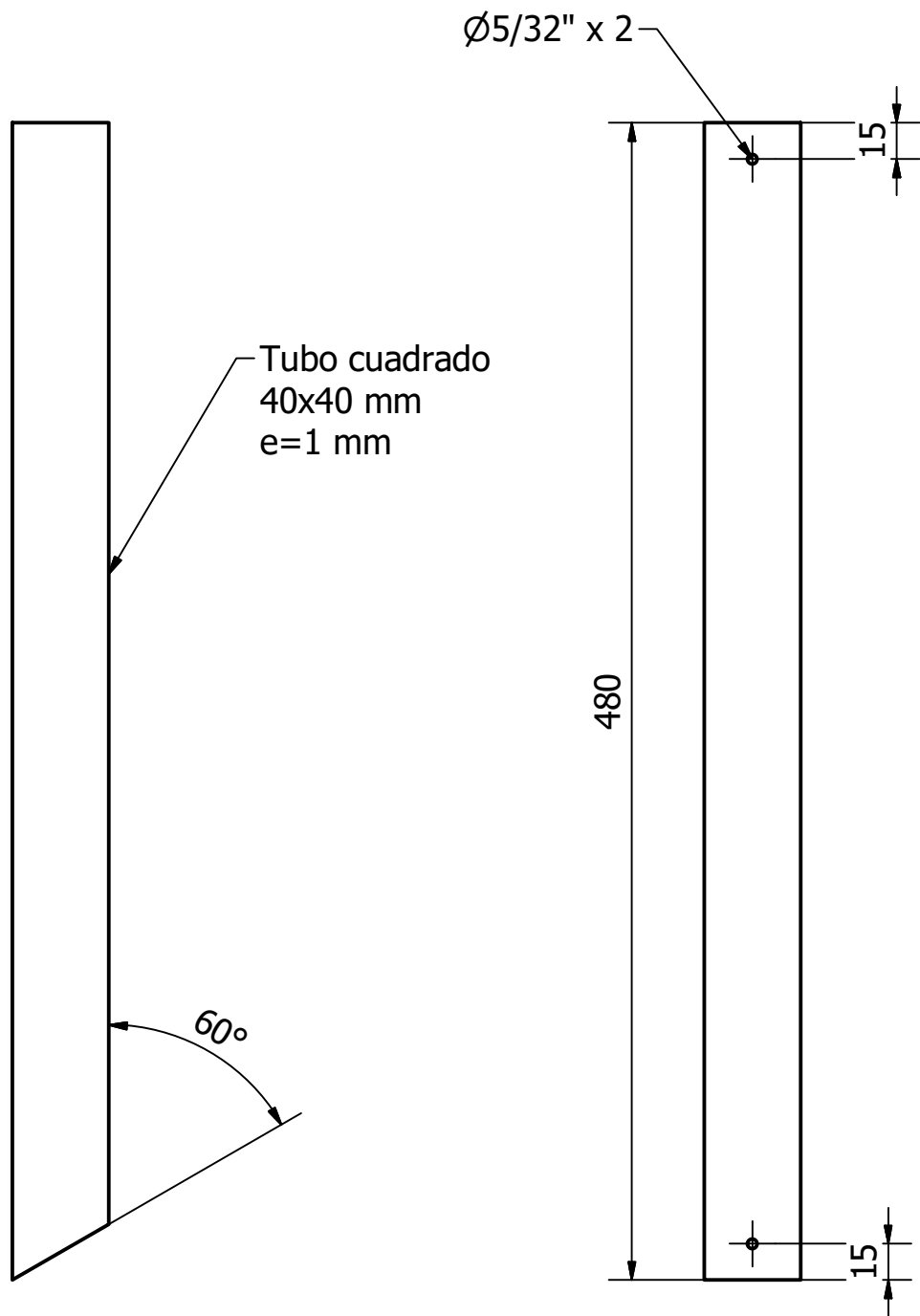


Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:1	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
<b>Soporte 2</b>		3543-6		

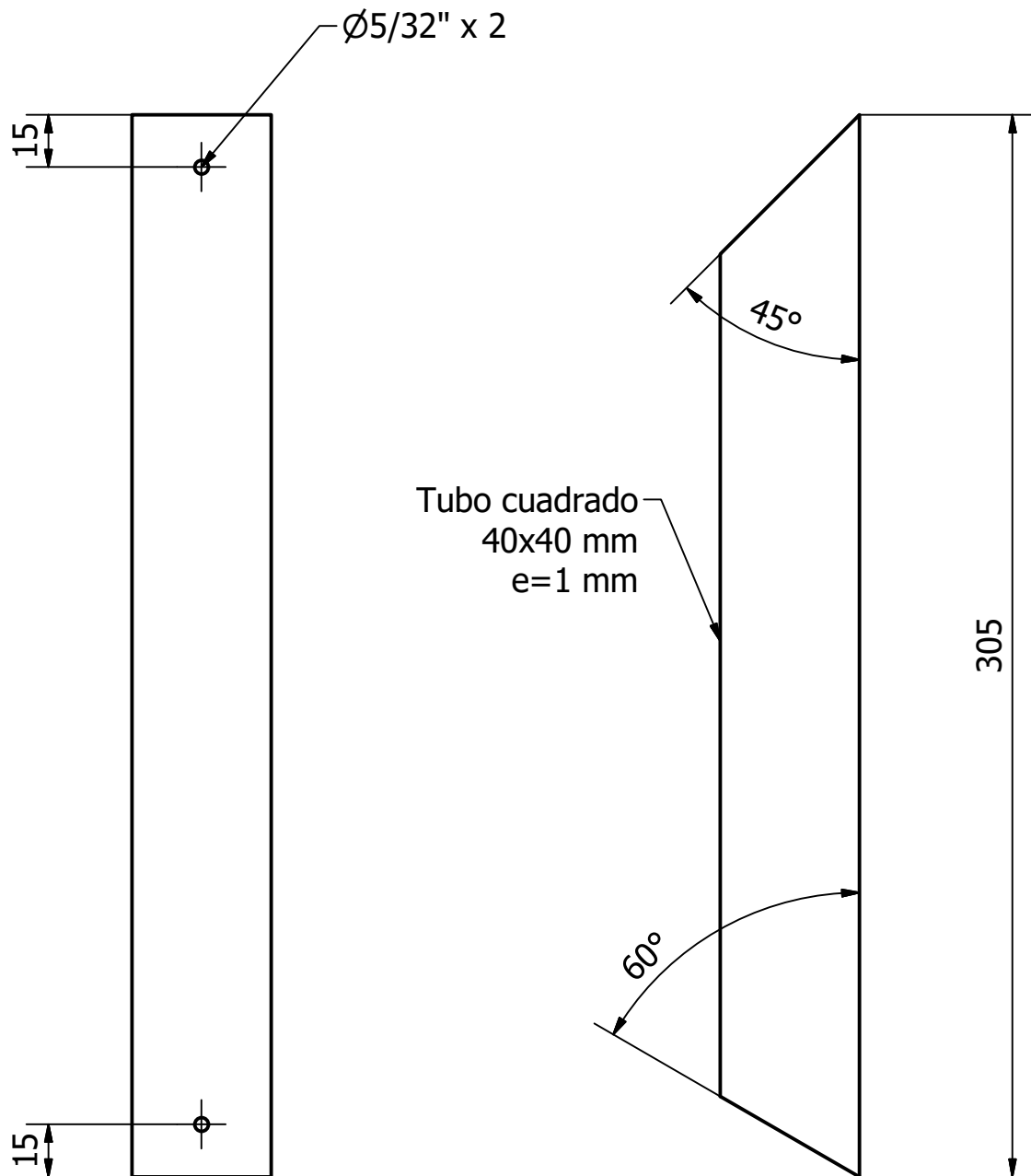




Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

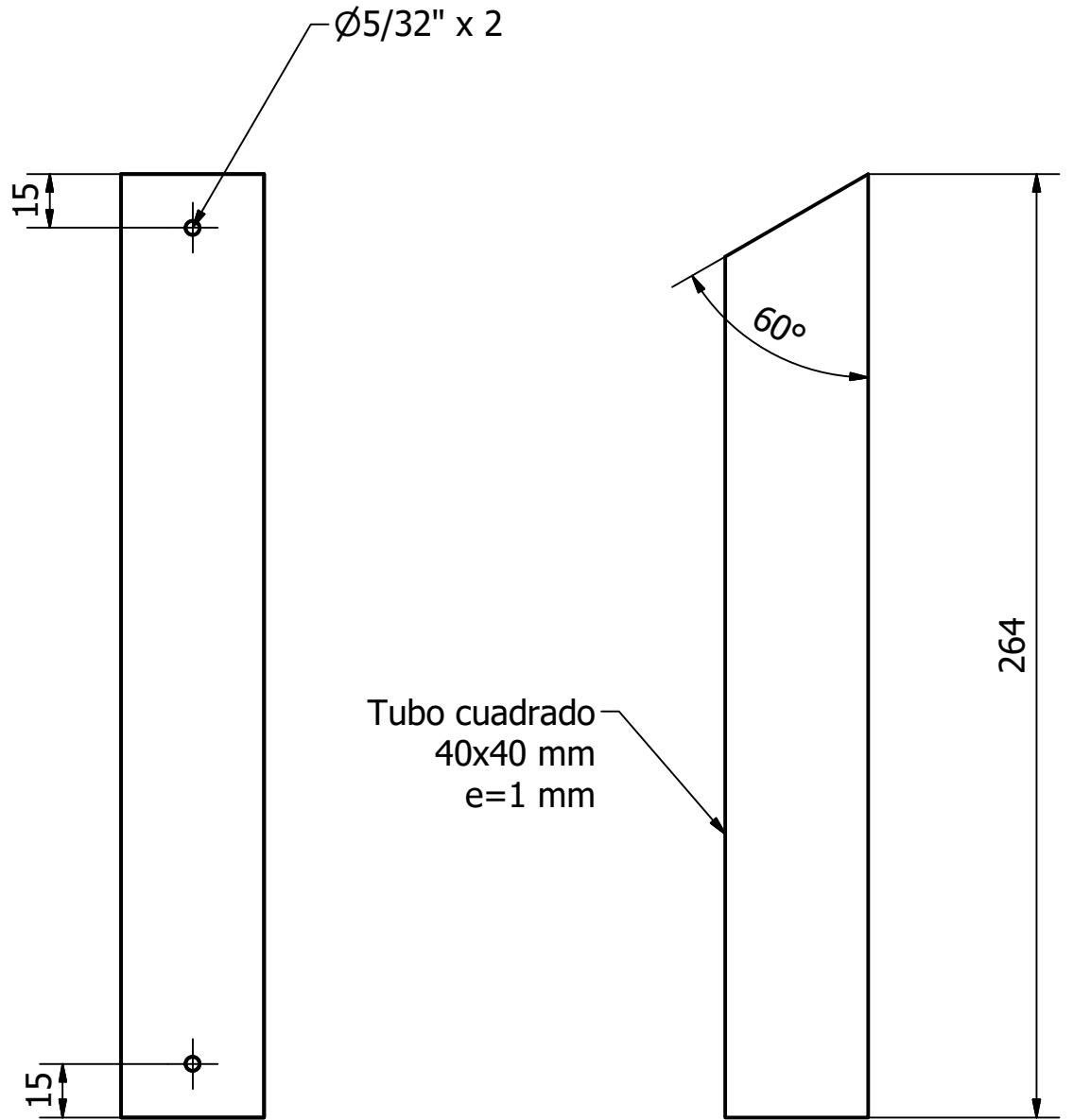
Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Inq. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
<b>Soporte 3</b>		3543-7		



Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

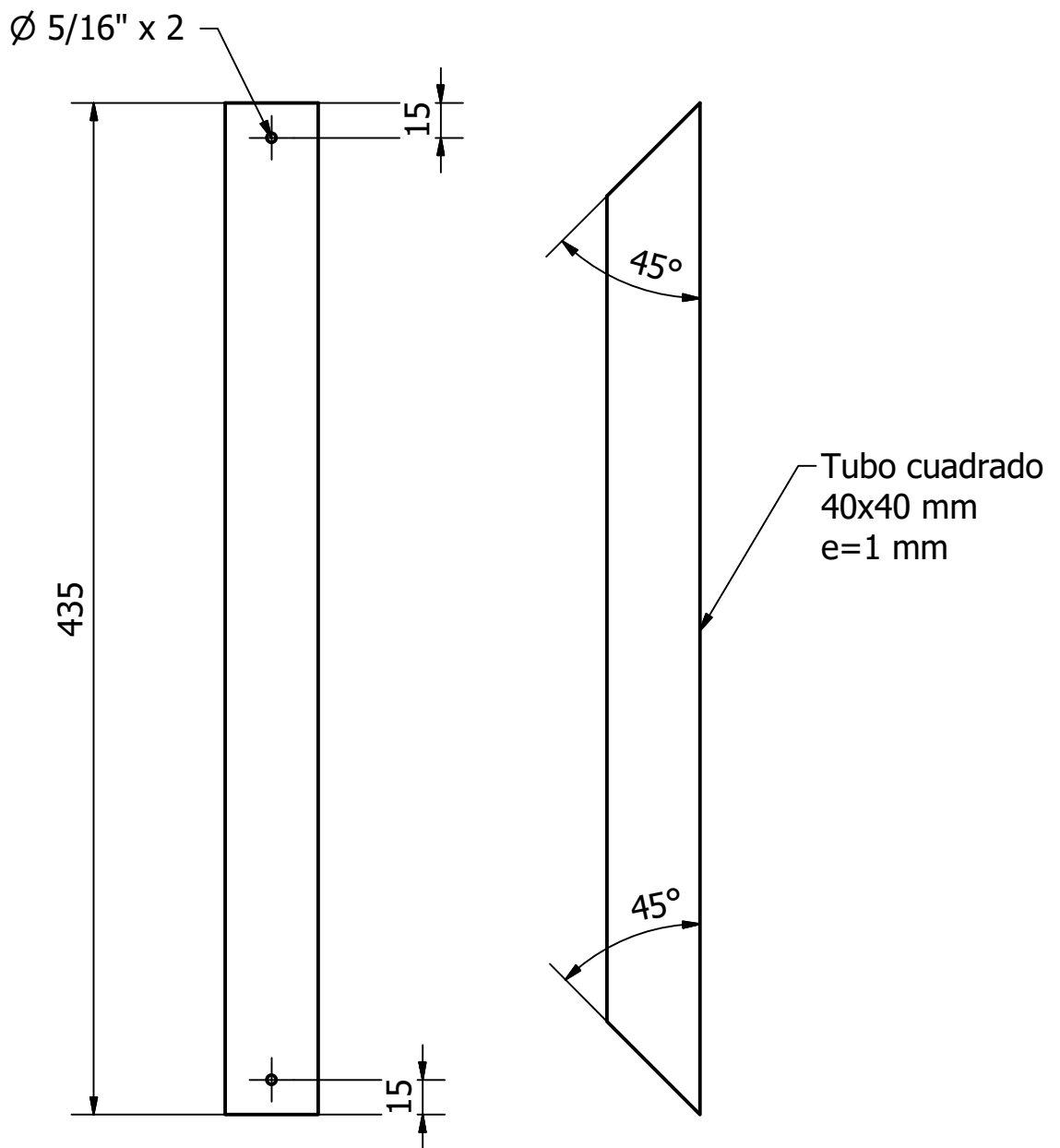
Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. $\pm 1$	Escala: 1:2	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
Soporte 4		3543-8		



Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. $\pm 1$	Escala: 1:2	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
<b>Soporte 5</b>		3543-9		



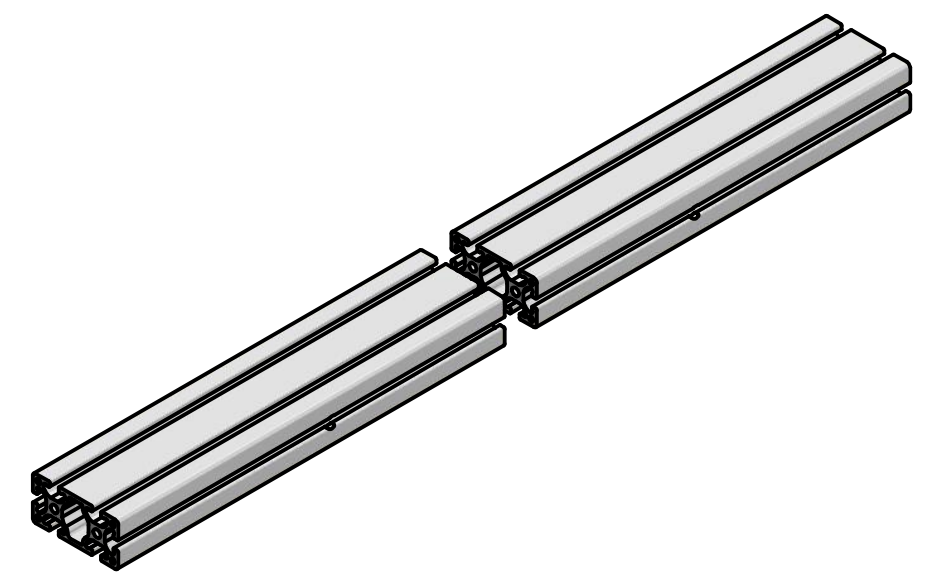
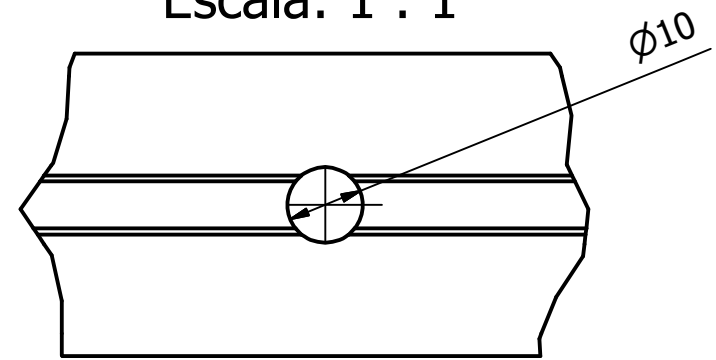
Notas:

- Las perforaciones para los remaches se realizan durante el ensamble

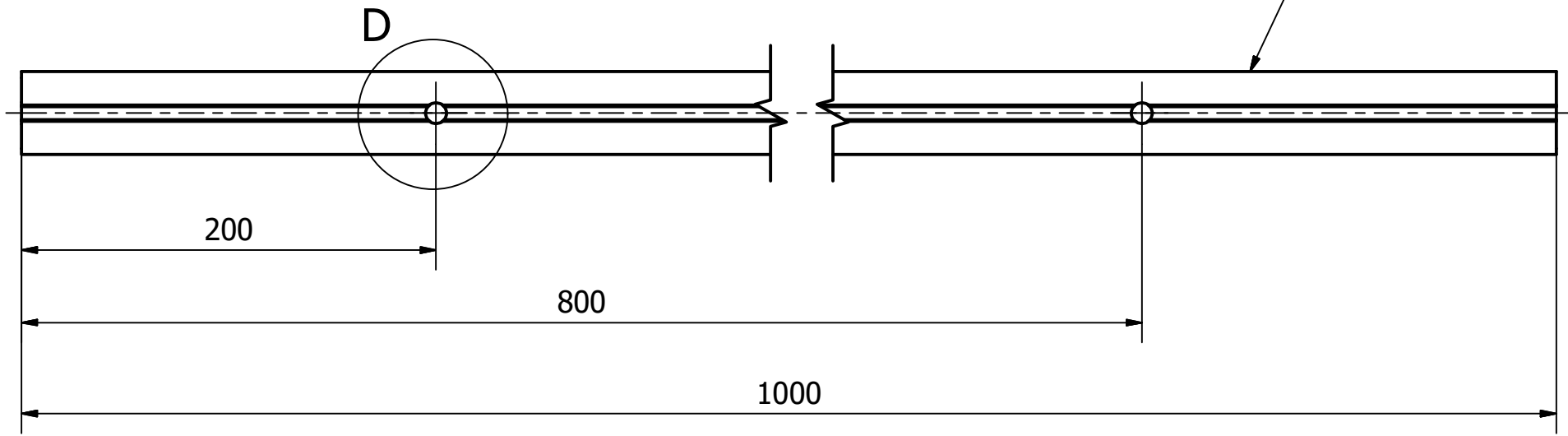
Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez
Material: Aluminio comercial	Tol Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Cárdenas - Suarez
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			Fecha: 18-04-18	
Soporte 6		3543-10		



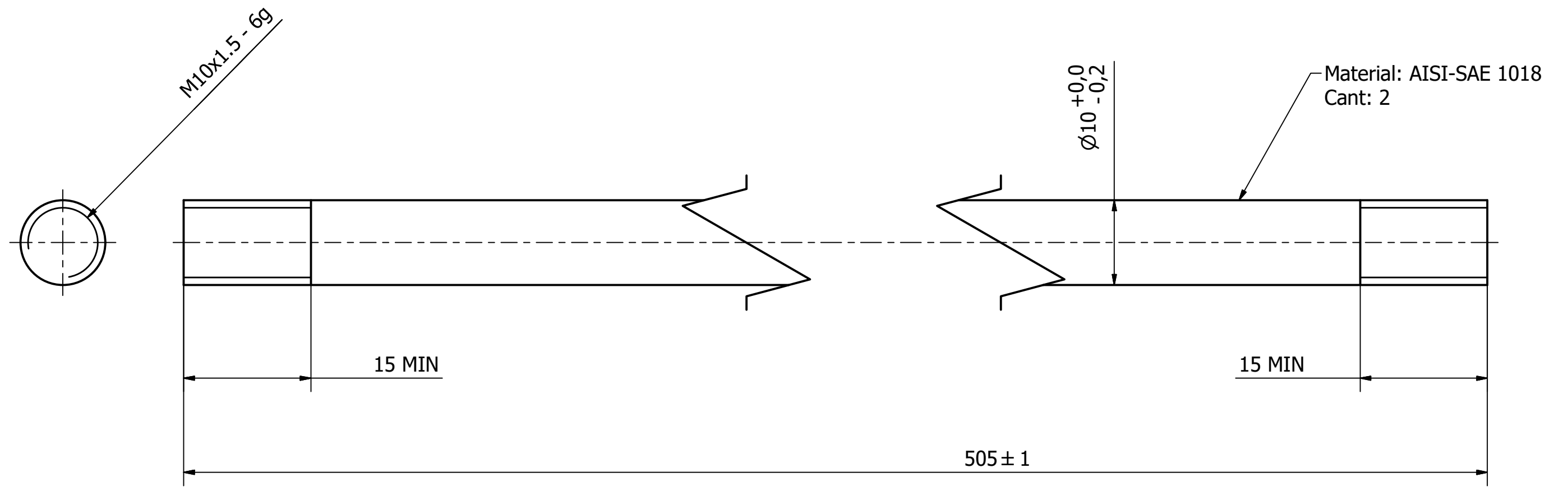
Detalle D  
Escala: 1 : 1



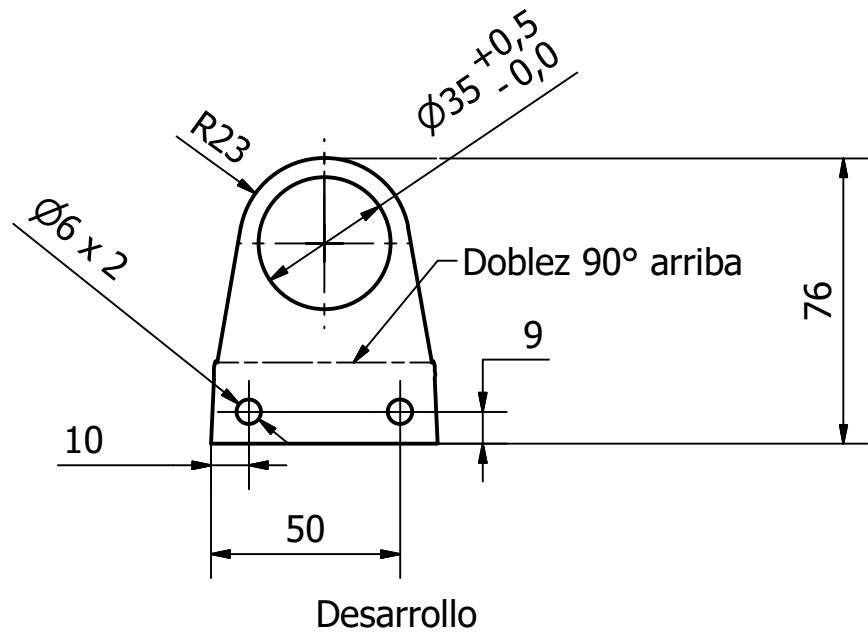
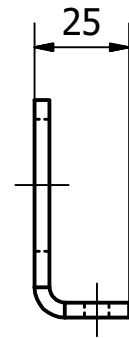
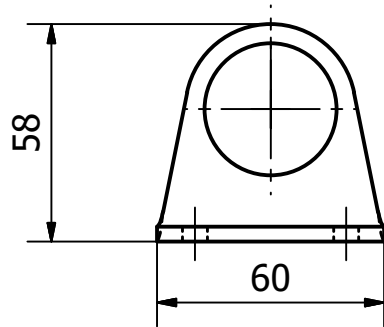
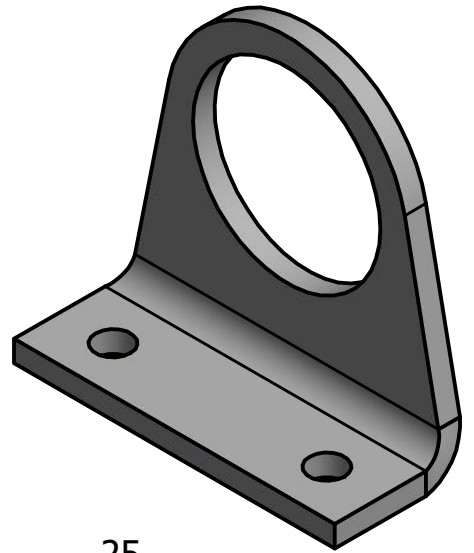
Material: Aluminio anodizado  
40x80 mm  
Cant:6



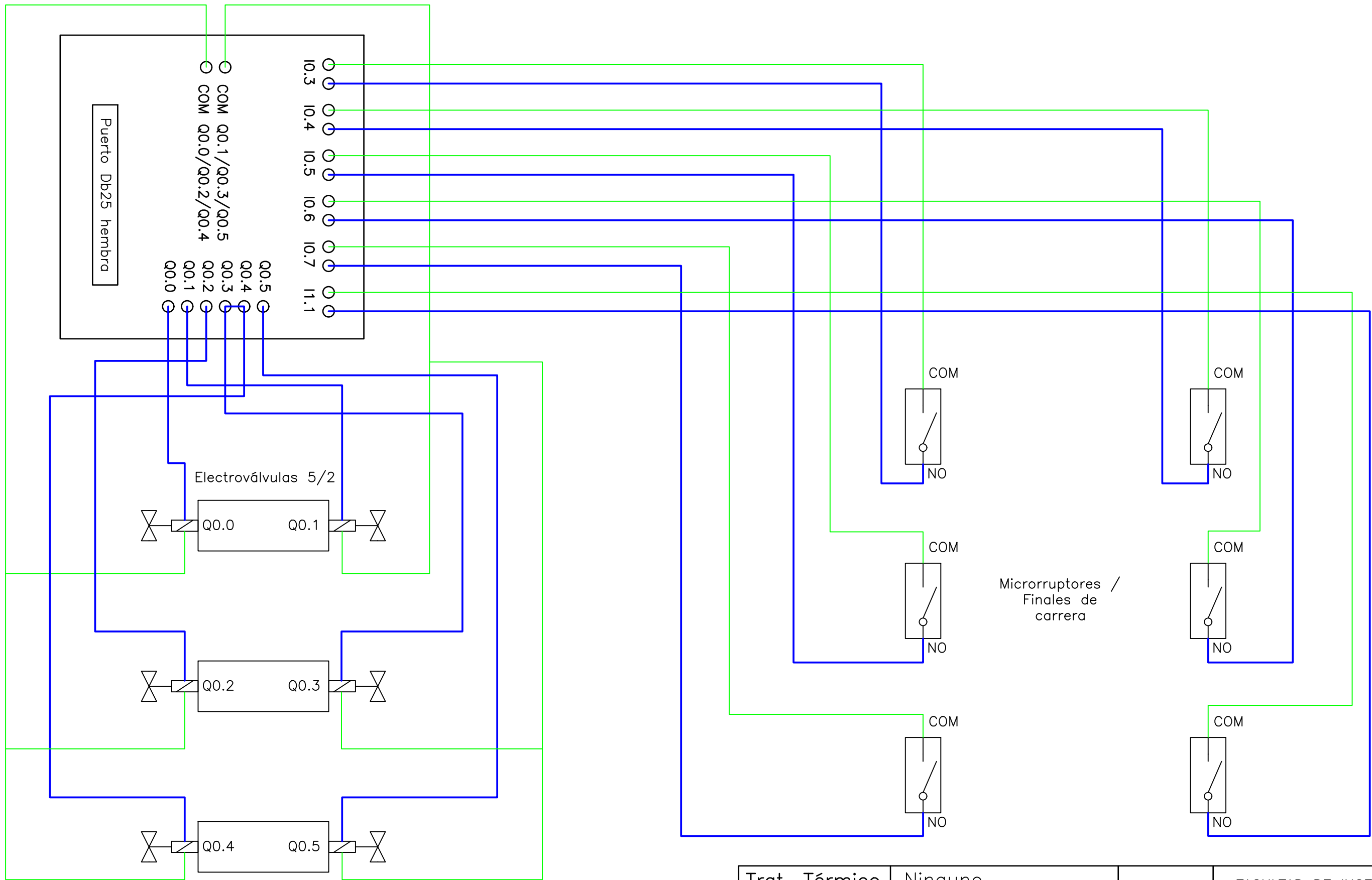
Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez	
Material:	Aluminio anodizado	Tol Gral. ± 1	Escala:	Dis.	Cárdenas - Suarez
			1:3	Rev.	Ing. Ricardo Soto
Perfil de Aluminio			3543-11	Fecha: 18-04-18	



Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento.	Ninguno		Dib.	Cárdenas - Suarez	
Material:	Acero de transmisión AISI-SAE 1018	Tol Gral. ± 1	Escala:	Dis.	Cárdenas - Suarez
			1:1	Rev.	Ing. Ricardo Soto
Barra de sujeción			3543-12	Fecha: 18-04-18	

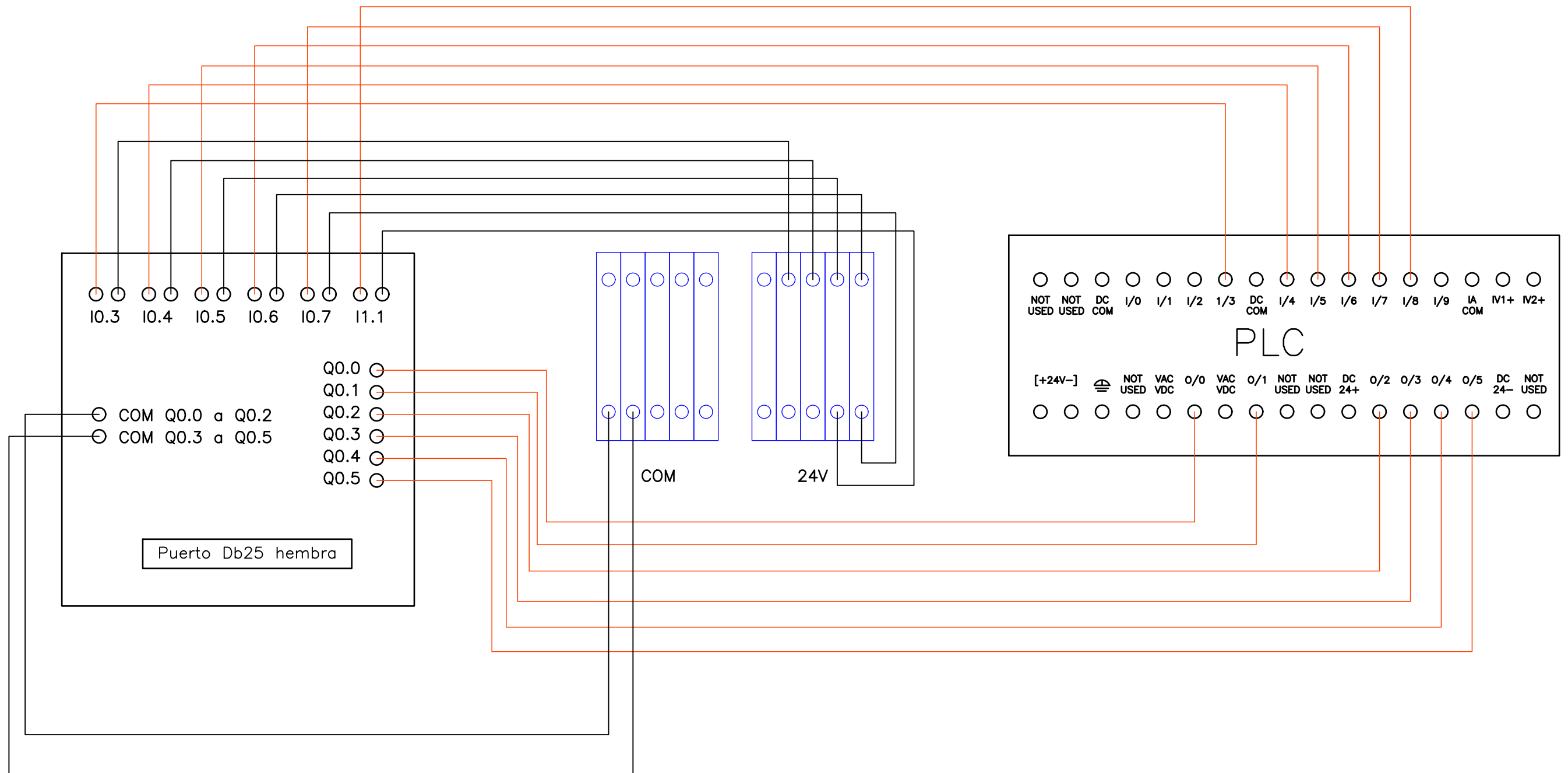


Trat. térmico.	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento.	Galvanizado electrolítico		Dib.	Cárdenas - Suarez	
Material:	Acero A36	Tol. Gral.	± 0.5	Dis.	Cárdenas - Suarez
		Escala:	1:1	Rev.	Ing. Ricardo Soto
Soporte del cilindro		3543-13			Fecha: 18-04-18



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Cárdenas-Suarez	
MATERIAL:		Tol. Gral. N/A	Escala: 1:5	Dis.	Cárdenas-Suarez
				Rev.	Ing. Ricardo Soto
Conexiones Panel			3543-14		Fecha: 18.04.18





Notas:  
 - Todas las conexiones al PLC se realizan con cable AWG18 rojo  
 - Las conexiones a 24V o a 0V(COM) se realizan con cable AWG18 negro

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Cárdenas-Suarez	
MATERIAL:		Escala: 1:5	Dis.	Cárdenas-Suarez	
			Tol. Gral. N/A	Rev.	Ing. Ricardo Soto
Conexiones PLC			3543-15		Fecha: 18.04.18

**Anexo V.**  
**MONTAJE DEL MODULO**



Montaje de la base inclinada



Montaje del circuito electropneumático



Cableado de los elementos en el panel



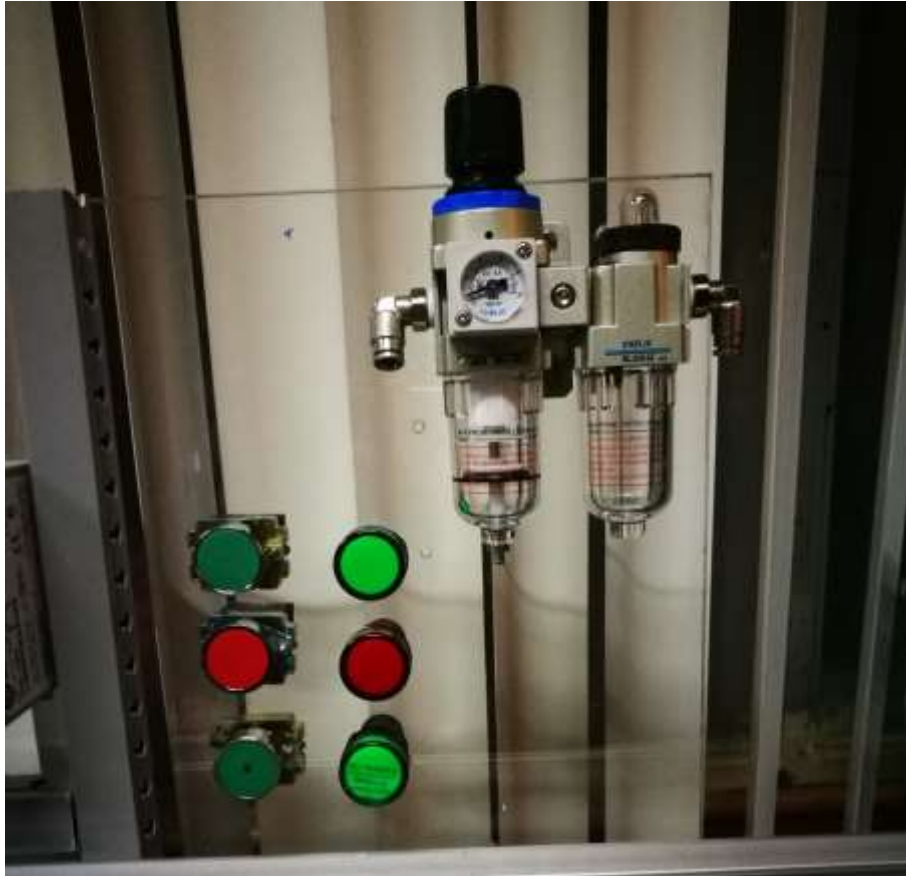
Cableado de los finales de carrera



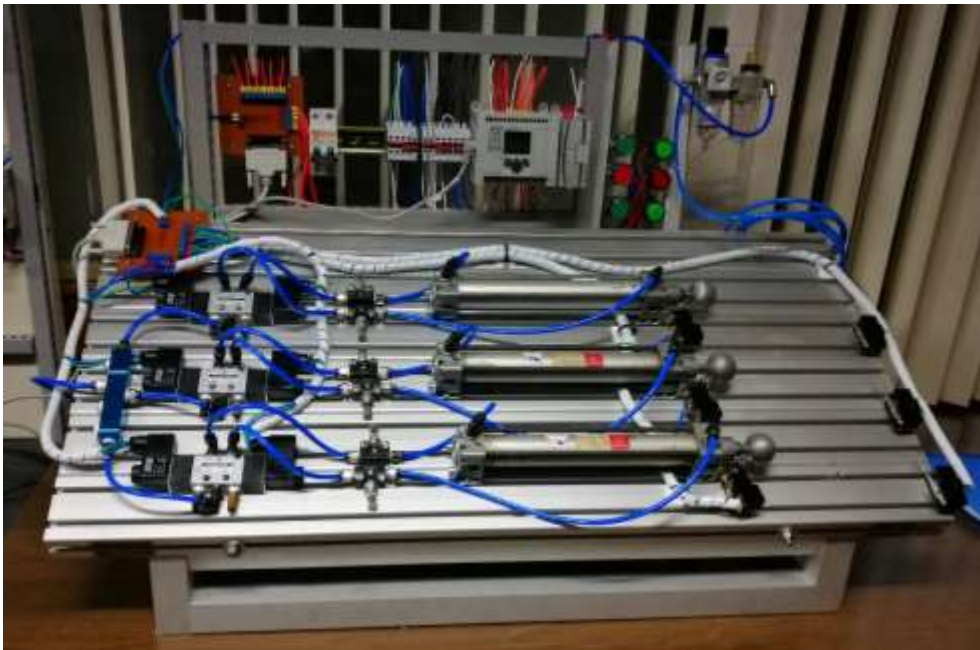
Montaje de los elementos de control



Cableado de los elementos de control



Montaje de la botonera y unidad de mantenimiento



Montaje completo

**Anexo VI.**  
**GUÍA DE PRÁCTICAS**

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 1 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

## **PRÁCTICA: CIRCUITOS ELECTRONEUMÁTICOS**

### **1. OBJETIVOS**

- Conocer la metodología utilizada para el diseño de circuitos electroneumáticos.
- Reconocer los elementos neumáticos, electroneumáticos y eléctricos que intervienen en el funcionamiento de un sistema o circuito electroneumático, así como sus funciones y forma de interacción.
- Emplear el módulo de entrenamiento electroneumático del laboratorio para realizar secuencias con varios cilindros a través de la programación en PLC.

### **2. MARCO TEÓRICO**

En sistemas neumáticos tradicionales, el control de los actuadores, motores neumáticos, cilindros, etc. se efectúa mediante válvulas exclusivamente neumáticas y con ello se ha conseguido cierto grado de automatización en procesos relativamente sencillos, pero para sistemas más complejos se hace necesaria la participación de señales eléctricas.

En sistemas electroneumáticos, los actuadores siguen siendo de tipo neumático, pero el mando, la regulación y automatización es eléctrica, y son las denominadas electroválvulas las encargadas de gobernar el movimiento de los actuadores.

#### **2.1. Módulo de entrenamiento electroneumático**

El módulo de entrenamiento electroneumático del laboratorio de automatización LAIPM (Figura 1), permite configurar circuitos



	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 2 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

electroneumáticos y controlarlos a través de la programación de un PLC Micrologix 1100 A.



**Figura 1. Módulo de entrenamiento electroneumático.**

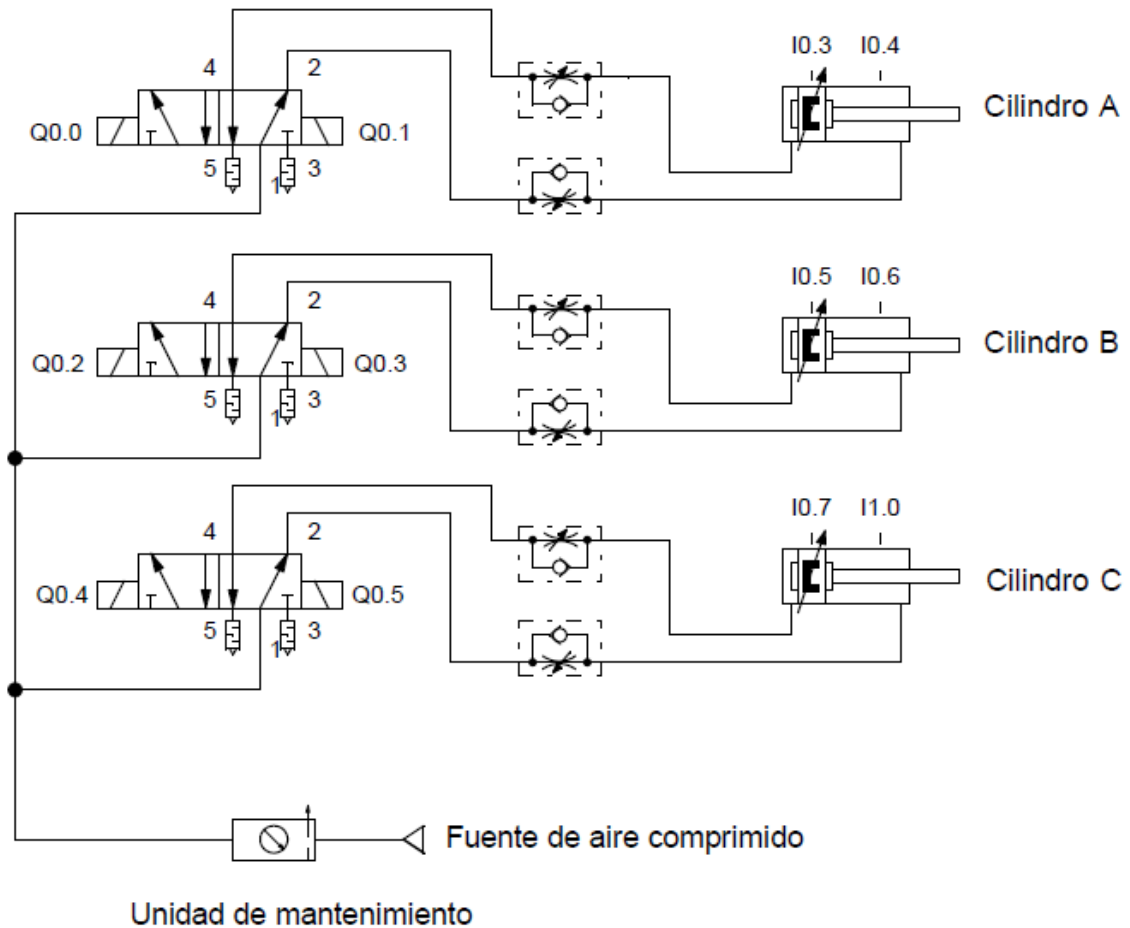
El módulo de entrenamiento está compuesto por 5 subsistemas:

- Aire comprimido
- Soporte
- Base
- Circuito electroneumático
- Módulo de control

### **2.1. Circuito electroneumático**

En la siguiente figura se indica la configuración del circuito electroneumático del módulo en el programa FluidSim.

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 3 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018



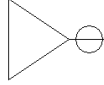
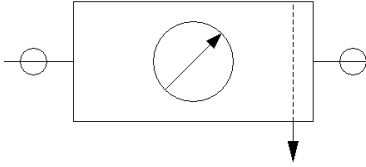
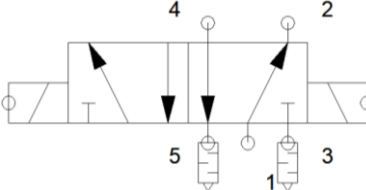
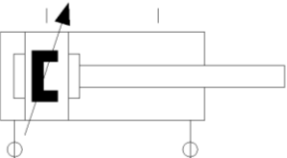
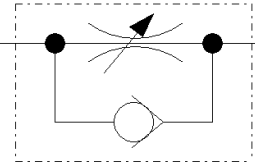
**Figura 2. Esquema del circuito en FluidSim**

## 2.2. Elementos del módulo

En la siguiente tabla se muestran los elementos del módulo y la función que cumple cada uno.

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 4 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

**Tabla 1. Elementos de un circuito**

Elemento	Gráfico	Función
Fuente de aire comprimido		Alimentar el circuito con presión suficiente para el movimiento de los actuadores.
Unidad de mantenimiento		Realiza las funciones de regulación de presión y limpieza del aire comprimido además de lubricar de los elementos móviles para reducir el desgaste por fricción.
Electroválvulas		Se encargan de distribuir el aire hacia los elementos de trabajo (cilindros, motor neumático, etc.).
Actuadores (Cilindro de doble efecto)		Convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico y movimiento lineal o rotatorio.
Regulador de caudal		Permiten controlar la velocidad de los actuadores. Existen reguladores unidireccionales y bidireccionales.

Las entradas y salidas del módulo están designadas como se indica a continuación en la tabla 2.

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 5 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

**Tabla 2. Entradas y salidas**

Variable	Leyenda	Descripción	Estado
I:0/0	MASTER ON	Pulsador Master ON	NO <sup>1</sup>
I:0/1	MASTER OFF	Pulsador Master OFF	NC <sup>2</sup>
I:0/2	-	Pulsador extra	NO
I:0/3	FC1A	Inicio de carrera del cilindro A	NO
I:0/4	FC2A	Final de carrera del cilindro A	NO
I:0/5	FC1B	Inicio de carrera del cilindro B	NO
I:0/6	FC2B	Final de carrera del cilindro B	NO
I:0/7	FC1C	Inicio de carrera del cilindro C	NO
I:0/8	FC2C	Final de carrera del cilindro C	NO
O:0/0	EV1A	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro A	-
O:0/1	EV2A	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro A	-
O:0/2	EV1B	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro B	-
O:0/3	EV2B	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro B	-
O:0/4	EV1C	Electroválvula 5/2 - Avance del cilindro C	-
O:0/5	EV2C	Electroválvula 5/2 -Retroceso del cilindro C	-
O:1/0	LED ON	Luz piloto para MASTER ON (NO)	-
O:1/1	LED OFF	Luz piloto para MASTER OFF (NO)	-
O:1/2	-	Luz piloto extra (NO)	-

Para este módulo, las válvulas utilizadas son de mando eléctrico, es decir electroválvulas, pero además de esto también permiten ser pilotadas manualmente mediante los pulsadores que poseen en cada lado de la misma.

---

<sup>1</sup> NO: Normalmente abierto

<sup>2</sup> NC: Normalmente cerrado

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 6 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1  ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

### 2.3. Diseño de circuitos electroneumáticos

Un circuito puede ser diseñado por diferentes métodos dependiendo de la complejidad de los mismos. Los más conocidos son:

- Método intuitivo
- Método de cascada
- Método paso a paso

En cualquier casos lo que se debe evitar es la presencia de señales en un lado de la válvula o electroválvula cuando se quiere pilotar por el otro lado, estas señales son conocidas como señales bloqueantes.

Para circuitos con un solo actuador, generalmente se emplea el método intuitivo, pero en sistemas en los que intervienen varios cilindros, la complejidad aumenta y es preferible diseñar los circuitos con métodos como el de cascada o el de paso a paso.

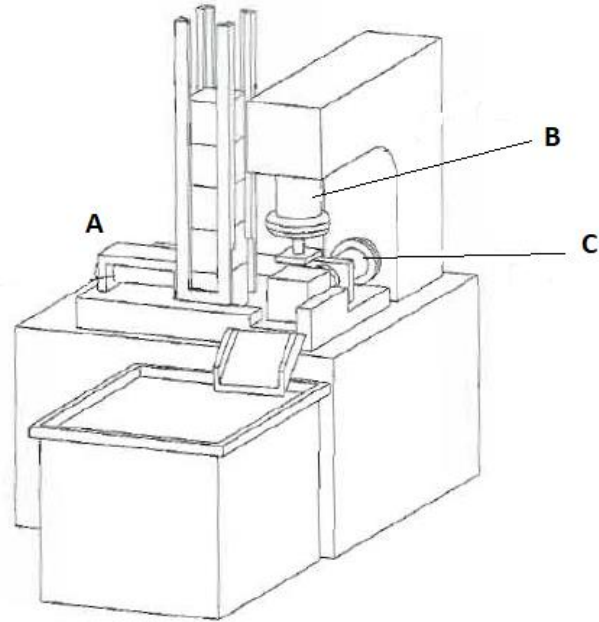
### 2.4. Método paso a paso

El método que se va a emplear en este caso es el denominado paso a paso que permite realizar ciclos repetitivos y más complejos.

Se denomina así ya que divide una secuencia en grupos, de los cuales cada uno es activado por el grupo anterior y desactivado por el siguiente.

Para comprender este método, se lo aplicará a un ejemplo práctico como es la secuencia de un proceso conocido (taladrado automático) (Fig. 1).

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 7 de 13
		
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	REVISIÓN N° 1
	LPLC-DIM-FIM-EPN	ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018



**Figura 3. Proceso de taladro automático**

El proceso comprende la utilización de 3 cilindros: A, B y C. El cilindro A se encarga de sujetar la pieza que va a ser taladrada, a continuación el cilindro B desciende para que el taladro perfora la pieza y automáticamente regresa. Luego regresa el cilindro A liberando al elemento perforado para que finalmente el cilindro C empuje la pieza a una banda y éste también regresa para repetir el ciclo.

Una vez definido el proceso se procede al diseño del circuito mediante el método paso a paso. La metodología empleada es la siguiente:

- a. Realizar un esquema del circuito con los elementos que intervienen en el mismo (Figura 2)
- b. Establecer la secuencia o sucesión de movimientos

A+ B+ B- A- C+ C-

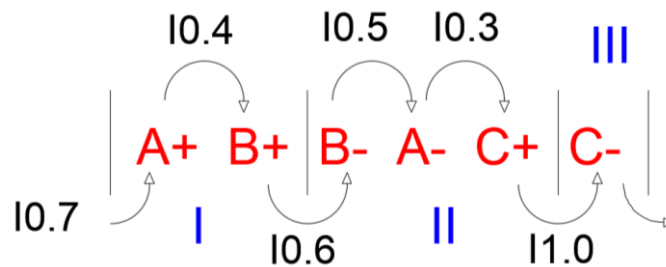
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 8 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

c. Dividir la secuencia en grupos de tal forma que en cada uno no se repita ninguna letra. El número de grupos debe ser el menor posible.

**Tabla 3. Secuencia de grupos**

Cilindros	GRUPOS		
	I	II	III
A	+	-	
B	+	-	
C		+	-

d. Identificar el sensor (final de carrera) que activa o da inicio al funcionamiento de cada grupo.



**Figura 4. Grupos del circuito**

e. Cada grupo de trabajo deberá activarse mediante una memoria, así como desactivarse con la memoria del grupo siguiente.

**Tabla 4. Grupos de control**

Grupo	Activación	Desactivación
I	M1	M2
II	M2	M3
III	M3	M1





f. De acuerdo a la secuencia de grupos y a las memorias establecidas, configurar las líneas de control que controlarán el circuito.

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 9 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

## 2.5. Programación

El control del módulo se lo realizará con un PLC Micrologix 1100 A, el cual debe ser programado de acuerdo a los requerimientos del circuito en el software RSLogix5000. La programación es a través de lenguaje Ladder o de escaleras ya conocido. La simbología ladder correspondiente a este programa se muestra a continuación en la Tabla 4.

Tabla 5. Elementos de programación del RSLogix5000 utilizados.

Símbolo	Descripción
	Contacto normalmente abierto (NO)
	Contacto normalmente cerrado (NC)
	Asignación de salida (Setear)
	Asignación de salida (Resetear)

## MATERIALES

El módulo de entrenamiento electroneumático tiene incorporado a su estructura casi todos los elementos necesarios para llevar a cabo la práctica: PLC Micrologix 1100A, pulsadores NO/NC y luces piloto. Además de esto se requerirá:

- Compresor (Presión mínima de trabajo 5,5 bar)
- Manguera neumática 6mm.
- Cables de conexión.



	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 10 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

### 3. PROCEDIMIENTO

Resolver la secuencia de 3 cilindros mostrada en el punto 2.4, aplicando el método paso a paso para diseño de circuitos electroneumáticos:

A+ B+ B- A- C+ C-

Se deberá resolver esta secuencia primero para un ciclo único, es decir que se requerirá accionar el pulsador MASTER ON para realizar un ciclo de trabajo.

Posteriormente se deberá realizar una variante: Enclavar la secuencia de modo que al accionar un pulsador, el ciclo sea repetitivo de forma indefinida, y al accionar un pulsador MASTER OFF, el módulo culmine el ciclo y se detenga.

Tomar en cuenta los siguientes pasos en la clase práctica:

1. Realizar las conexiones de los elementos de entrada en el PLC (pulsadores).
2. Resolver primero el circuito con la ayuda del software para neumática FluidSIM y simular su funcionamiento.
3. Revisar con el instructor las conexiones del módulo antes de energizar el tablero.
4. Revisar las conexiones neumáticas antes de permitir el paso de aire comprimido.

### 4. INFORME

En el informe NO incluir teoría, solo resolver los numerales planteados a continuación:

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 11 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

#### 4.1. Procedimiento

Descripción del proceso implementado en la práctica, lo que se realizó con el PLC y sus elementos y con qué objetivo.

#### 4.2. Elementos de E/S

Tabla que contiene los elementos conectados a la entrada y a la salida del PLC con sus respectivas direcciones.

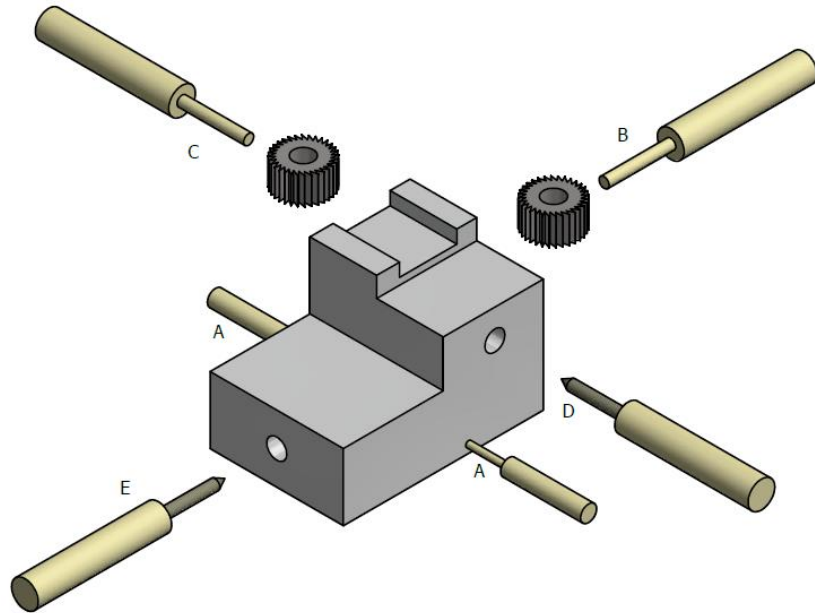
#### 4.3. Diagrama de conexiones

Conexiones de los elementos de E/S realizadas en el PLC.

#### 4.4. Ejercicio

La figura 5 es el esquema de una máquina para el mecanizado de piezas de madera. Se puede observar que la máquina realiza 2 operaciones de fresado y 2 operaciones de taladrado. Para las operaciones de fresado se emplean los cilindros B y C, y para los taladros, cilindros neumáticos de doble efecto D y E con velocidad controlada por reguladores de caudal. La sujeción del elemento a mecanizar está dada por dos cilindros neumáticos de simple efecto (A).

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 12 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018



**Figura 5. Máquina fresadora**

La secuencia a desarrollar es la siguiente:

A+ B+ B- (C+ D+) (C- D-) E+ E- A-

Se realiza primero la actuación de los cilindros A que sujetan la pieza a mecanizar. Una vez la pieza sujeta, el cilindro B sale para realizar el primer fresado y retrocede inmediatamente. A continuación y de manera simultánea el cilindro C fresa la ranura y el D perfora la pieza (C+ D+). Terminada esta operación, ambos retornan a su posición inicial (C- D-). Posteriormente el cilindro E taladra el segundo agujero y retorna inmediatamente. Finalmente la pieza se desbloquea mediante el retroceso de los cilindros A.

#### 4.5. Consulta

- Consultar el concepto de señales bloqueantes en sistemas electroneumáticos y las técnicas que se aplican para evitar la presencia de las mismas.

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE</b> <b>PROCESOS MECÁNICOS</b>	Página 13 de 13
	<b>LABORATORIO DE PLCs</b>	
	LPLC-DIM-FIM-EPN	REVISIÓN N° 1
		ÚLTIMA REVISIÓN 10/05/2018

- Investigar acerca del método de cascada para el diseño de circuitos electroneumáticos y realizar una comparación con el método paso a paso revisado en esta práctica.
- Consultar otras formas (diferentes al control con PLC) empleadas para controlar circuitos electroneumáticos.
- Realizar una comparación entre circuitos neumáticos y circuitos hidráulicos, en la que se indique las presiones de trabajo, aplicaciones y los elementos comunes y no comunes entre ellos.

#### **4.6. Conclusiones y recomendaciones**

Son personales y respecto a lo hecho en la práctica, cada integrante del grupo debe aportar al menos con 3 conclusiones y las recomendaciones que sean convenientes.

#### **4.7. Bibliografía**

Textos, páginas web o cualquier material de consulta utilizado para la resolución del informe. No escribir bibliografía ambigua, ejemplo: [www.google.com](http://www.google.com).

Utilizar el formato IEEE para citar referencias bibliográficas (<https://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>).