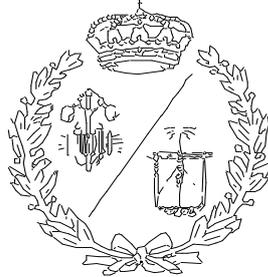


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**ATORNILLADOR NEUMÁTICO
AUTOMATIZADO
(AUTOMATED PNEUMATIC SCREWDRIVER)**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Juan Antonio Avellano García

Febrero – 2021

RESUMEN

La automatización de procesos en la industria es desde hace tiempo, una de las principales claves en el éxito de un proceso de fabricación. A partir de una buena automatización se logra principalmente, la reducción de tiempos de fabricación, permitiendo un incremento de la productividad, además de un notable ahorro, centrado en la disminución de la necesidad de recursos humanos para el proceso.

En el proyecto que aquí se presenta, se realiza el diseño de un sistema para la automatización de un proceso de fabricación común, como es el atornillado de elementos en la industria, que podría ser válido para numerosos procesos, y que en este caso se ha planteado para el caso de dos alternadores eléctricos de diferentes tamaños.

El trabajo se podría dividir en dos partes principales, una parte de contenido teórico donde se habla de la industria del automóvil, a la cual iría destinado el proyecto, el funcionamiento de los alternadores, la neumática industrial, tecnología en torno a la que gira el proyecto, y el funcionamiento de las uniones roscadas.

Y una segunda parte que se centraría en el diseño del sistema, en la que se diferencian tres partes. Según van apareciendo en la memoria, son:

Primera parte, diseño del control del sistema, en el que a través de Arduino he generado un programa, el cual controlará las etapas que seguirá el circuito, en función del elemento que detecta que va a atornillar. Así mismo también detendrá la ejecución del proceso en el caso de no detectar agujero donde atornillar.

Segunda parte, diseño del sistema, parte en la cual se generan los elementos que componen el mecanismo, y se establece una relación entre ellos, formando los componentes, y el conjunto del sistema que realizará proceso. El programa que se utiliza para la creación y ensamblaje de los componentes es Autodesk Inventor.

Y tercera y última parte, diseño del circuito electroneumático, donde se determina primero la secuencia de etapas que se deben realizar para que el sistema realice el proceso para el que ha sido creado. Y posteriormente creación el circuito que

hará cumplir esta secuencia cíclicamente, automatizando así el proceso de atornillado de los alternadores. En esta tercera parte se hace uso del programa FluidSIM, con fin de ilustrar el circuito y la secuencia que este sigue.

ABSTRACT

The automation of processes in the industry has been for a long time one of the main keys to the success of a manufacturing process. A right automation makes possible to reduce manufacturing times, allowing an increase in productivity. It also permits to reduce the human resources of the process making it more economical.

In this final degree project, the design of a system for the automation of a common manufacturing process is carried out, such as the screwing of elements in the industry, which could be valid for numerous processes. In this case, it has been raised for the case of two electric alternators of different sizes.

The project has been divided into two main parts, a theoretical part with contents important information about the automobile industry, where the project would be destined, the operation of alternators, industrial pneumatics, the technology around which the project, and the operation of threaded joints.

And a second part that would focus on the design of the system, in which three parts are differentiated. As they appear in memory, they are:

First part, design of the system control, in which through Arduino I have generated a program, which will control the stages that the circuit will follow, depending on the element that it detects that it is going to screw. Likewise, it will also stop the execution of the process in the case of not detecting a hole where to screw.

Second part, system design, part in which the elements that make up the mechanism are generated, and a relation is established between them, forming the components, and the whole system that will carry out the process. The program used for the creation and assembly of the components is Autodesk Inventor.

And third and last part, design of the electropneumatic circuit, where the sequence of stages that must be carried out is first determined for the system to carry out the process for which it has been created. And later creating the circuit that will enforce this sequence cyclically, thus automating the process of screwing the

alternators. In this third part, the FluidSIM program is used, in order to illustrate the circuit and the sequence that it follows.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
1 OBJETIVOS.....	10
2 SECTOR AUTOMOCIÓN EN LA INDUSTRIA.....	11
2.1 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL	11
2.2 HISTORIA DE LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL.....	12
2.3 RELEVANCIA Y FUTURO	14
3 ALTERNADOR.....	17
3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	17
4 NEUMÁTICA.....	21
4.1 USOS.....	21
4.2 PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y TRATAMIENTO DEL AIRE	24
4.2.1 Producción del aire.....	24
4.2.2 Distribución del aire	30
4.2.3 Tratamiento del aire	31
4.3 CILINDROS NEUMÁTICOS	32
4.3.1 Tipos de cilindros neumáticos	36
4.3.2 Pinzas neumáticas	42
4.4 ELEMENTOS NEUMÁTICOS DE GIRO.....	44
4.4.1 Actuadores de giro limitado	45
4.4.2 Motores neumáticos	47
4.5 VÁLVULAS DE DISTRIBUCIÓN.....	49
4.5.1 Tipos de válvulas según su accionamiento.....	50
4.6 CONTROL Y REGULACIÓN.....	55
4.6.1 Elementos de control.....	55
4.6.2 Elementos de regulación	58
4.7 DETECTORES	60
5 UNIONES ROSCADAS	61
6 ATORNILLADOR WEBER.....	65
7 CONTROL DEL MECANISMO.....	69
7.1 INTRODUCCIÓN A LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES	69
7.2 TIPOS DE ARDUINO	70
7.3 ARDUINO EN MI PROYECTO.....	76
7.3.1 Programa	77

8 INVENTOR.....	80
8.1 INTRODUCCIÓN AL ENTORNO DE INVENTOR.....	80
8.2 DISEÑO MECÁNICO.....	81
9 FLUIDSIM.....	90
9.1 CIRCUITO ELECTRONEUMÁTICO.....	90
9.1.1 Graficet del circuito.....	90
9.1.2 Circuito electroneumático.....	93
9.1.3 Simulación del circuito.....	98
10 PRESUPUESTO.....	118
10.1 LICENCIAS.....	118
10.2 MANO DE OBRA.....	118
10.3 MATERIALES UTILIZADOS.....	119
10.4 COSTE FINAL.....	120
11 CONCLUSIONES.....	121
12 REFERENCIAS.....	122
13 AGRADECIMIENTOS.....	125
ANEXO I.....	126
ANEXO II.....	126

INDICE FIGURAS

Figura 1. Fardier, primer vehículo autopropulsado. [3]	12
Figura 2. Fábrica de automóviles Ford. [6]	13
Figura 3. Fábrica de vehículos y componentes en España. [5].....	15
Figura 4. Movimiento del rotor respecto al estator. [7]	18
Figura 5. Gráficos de corriente trifásica alterna y corriente pulsante rectificadas respectivamente. [7]	18
Figura 6. Circuito típico alternador. [7]	19
Figura 7. Selector, verifica si los botes tienen tapa. [8].....	21
Figura 8. Control de la apertura y cierre de puerta con dos batientes. [8].....	22
Figura 9. Control de avance de una tronzadora. [8]	22
Figura 10. Cambio de la dirección de cinta transportadora. [8]	23
Figura 11. Avance del husillo de una taladradora. [8]	23
Figura 12. Movimiento de grúa. [8]	23
Figura 13. Compresor de émbolo de una etapa .[10].....	26
Figura 14. Esquema compresor de paletas. [14].....	28
Figura 15. Ciclo de compresor de tornillo. [15].....	29
Figura 16. Compresor de uña. [16]	29
Figura 17. Abaco tipo para el cálculo de tuberías. [12]	31
Figura 18. Norma ISO 8573-1. [12]	32
Figura 19. Partes cilindro neumático. [21]	33
Figura 20. Cilindro carrera corta. [13].....	37
Figura 21. Esquema cilindro de membrana. [11]	38
Figura 22. Cilindro de doble fuelle y de fuelle simple respectivamente. [13]....	38
Figura 23. Cilindro miniatura. [22]	39
Figura 24. Cilindro con bloque de vástago. [18].....	39
Figura 25. Esquema cilindro de doble fuerza. [12]	40
Figura 26. Esquema cilindro de doble vástago. [19]	41
Figura 27. Cilindro sin vástago. [13].....	42
Figura 28. Pinzas neumáticas con garras con apertura angular. [17].....	43
Figura 29. Pinzas neumáticas de apertura paralela. [17].....	44
Figura 30. Esquema de actuador neumático de tipo cremallera. [19]	45
Figura 31. Esquema actuador neumático de paletas. [19]	46
Figura 32. Esquema motor neumático de paletas. [12].....	48
Figura 33. Motor neumático de pistones radiales. [23].....	48

Figura 34. Esquema control cilindro simple efecto con válvula 3,2.	49
Figura 35. Accionamientos manuales. [12]	51
Figura 36. Accionamientos mecánicos. [12]	52
Figura 37. Válvula 3,2 de pilotaje neumático. [20]	53
Figura 38. Válvula 5,2 de pilotaje neumático. [20]	54
Figura 39. Esquema válvula antirretorno. [12]	55
Figura 40. Esquema válvula selectora. [12]	56
Figura 41. Esquema válvula de simultaneidad. [12]	57
Figura 42. Esquema válvula de escape rápido. [12]	57
Figura 43. Esquema válvula de regulación de caudal. [12]	58
Figura 44. Esquema válvula de regulación de presión. [12]	59
Figura 45. Rosca con los parámetros por los que viene definida. [24]	62
Figura 46. Perfil de rosca métrica ISO. [25]	62
Figura 47. Perfil de rosca Whitworth. [25]	63
Figura 48. Perfil de rosca trapezoidal. [25]	63
Figura 49. Perfil de rosca redonda. [25]	64
Figura 50. Perfil de rosca de dientes de sierra. [25]	64
Figura 51. Componentes del atornillador. [26]	65
Figura 52. Controlador C5S. [26]	66
Figura 53. Controlador de secuencia C10. [26]	66
Figura 54. Alimentador circular ZEB. [26]	67
Figura 55. Husillo modelo PEB. [26]	68
Figura 56. Tabla con tipos de Arduinos existentes según sus capacidades y componentes. [28]	76
Figura 57. Pinout del Arduino UNO. [32]	76
Figura 58. Convertidor dc-dc NME0524SC. [33]	77
Figura 59. Creación de los objetos VL53L0X.	77
Figura 60. Setup del programa.	78
Figura 61. Loop del programa.	79
Figura 62. Sistema de atornillado automatizado completo.	81
Figura 63. Subconjunto cinta transportadora.	82
Figura 64. Sistema de medida de altura.	83
Figura 65. Estructura carriles de movimiento.	84
Figura 66. Sistema de movimiento del atornillador.	84
Figura 67. Sistema de movimiento con cilindros neumáticos.	85
Figura 68. Vista detalle elemento de unión, en el sistema de movimiento.	85

Figura 69. Salida del vástago del cilindro 1.	86
Figura 70. Salida del vástago del cilindro 2.	86
Figura 71. Desplazamiento del cilindro vertical.	87
Figura 72. Movimiento vertical del husillo del atornillador.	87
Figura 73. Conjunto sistema de movimiento atornillador.	88
Figura 74. Ensamblado completo del sistema de atornillado automatizado.	89
Figura 75. Graficet del sistema.	92
Figura 76. Circuito electroneumático del sistema.	93
Figura 77. Sistema de inicio del circuito.	94
Figura 78. Parte eléctrica del circuito.	95
Figura 79. Subcircuito de detención o apagado.	96
Figura 80. Subcircuito control pulsador.	97
Figura 81. Subcircuito control movimiento cilindros A, B y C.	98
Figura 82. Simulación circuito.	117
Figura 83. Presupuesto licencias.	118
Figura 84. Presupuesto mano de obra.	118
Figura 85. Presupuesto materiales utilizados.	120
Figura 86. Coste total del proyecto.	120

1 OBJETIVOS

Para la realización de este trabajo de fin de grado parto con varios objetivos, desde un enfoque industrial y académico.

En lo que se refiere al enfoque industrial el objetivo principal es claro, obtención del diseño de una máquina fiable, capaz de desempeñar una tarea como es la de atornillar dos piezas en un proceso de fabricación en serie, de manera automatizada, haciéndola lo más rápidamente y barata posible.

Desde el punto de vista académico me centraré en tres puntos principales:

Ampliar y obtener nuevos conocimientos en el campo de la neumática industrial, debido a lo sumamente amplios que son estos y la dificultad de abarcarlos durante la carrera.

Ejercitar de manera práctica mis habilidades en el diseño, a través del diseño de un prototipo enfocado a la fabricación del mismo para el sector de la automoción en la industria.

Y por último adquirir conocimientos en el ámbito de la programación, mediante la utilización del software Arduino, en el cual se utiliza el lenguaje C, uno de los que predomina en la programación.

2 SECTOR AUTOMOCIÓN EN LA INDUSTRIA

El sector de la automoción engloba una gran variedad de actividades económicas, ya sea de manera directa o indirecta, que han tenido como comienzo este sector y han basado su desarrollo en el mismo. Desde que nació hace en torno a un siglo y medio, su importancia ha aumentado de tal manera que en la actualidad es una de las principales industrias en el mundo, siendo posible conocer la salud de la economía mundial y muchas veces local, basándonos en la industria del automóvil.

2.1 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL

Aunque el aguje de la automoción es relativamente reciente, su historia desde que aparecieron los primeros conceptos de coche autopropulsado consta de varios siglos, y es importante remarcar que a lo que llamamos hoy en día automóvil no parte de la idea de una sola persona, sino que es la suma de la contribución de numerosa gente a lo largo del tiempo. En el siglo XIII se recoge la primera cita a un automóvil de la que tengamos constancia, dicha por el filósofo inglés Roger Bacon, que decía "Será posible construir carros que, sin animales, se moverán con ímpetu que no podrá estimarse", y sería dos siglos después, gracias al ingenio del italiano Roberto Volturio, cuando se podría hacer en cierta medida real esta cita, creando una máquina que funcionaba a través de la fuerza proporcionada por el viento a dos molinos que llevaba incorporados el vehículo. Este automóvil no llegó a funcionar, pero se daba comienzo a las sucesivas ideas que irían llegando, intentando alejar el movimiento de los carros de la fuerza animal, buscando otros motivos que hicieran posible el movimiento de estos.

Entre las ideas que fueron llegando se pueden destacar algunas como el conocido como "coche sin caballos", que en 1447 se desplazó por Meningen (Alemania) propulsado por pedales. O el diseñado por el conocido Leonardo Da Vinci entre los años 1487 y 1490 que funcionaba a través de un peso que al caer, transmitía su movimiento a las ruedas mediante engranajes. Pero todo esto era solo el comienzo, la aparición de una máquina que utilizaba pólvora como combustible en 1673, o el *Fardier* en 1784 construida por Nicolás José Cugnot, conocido como el primer vehículo autopropulsado, que utilizaba una caldera a vapor que llevaba con

siglo, y que se usó para transportar piezas de artillería, abrían la veda a los coches propulsados con un motor.

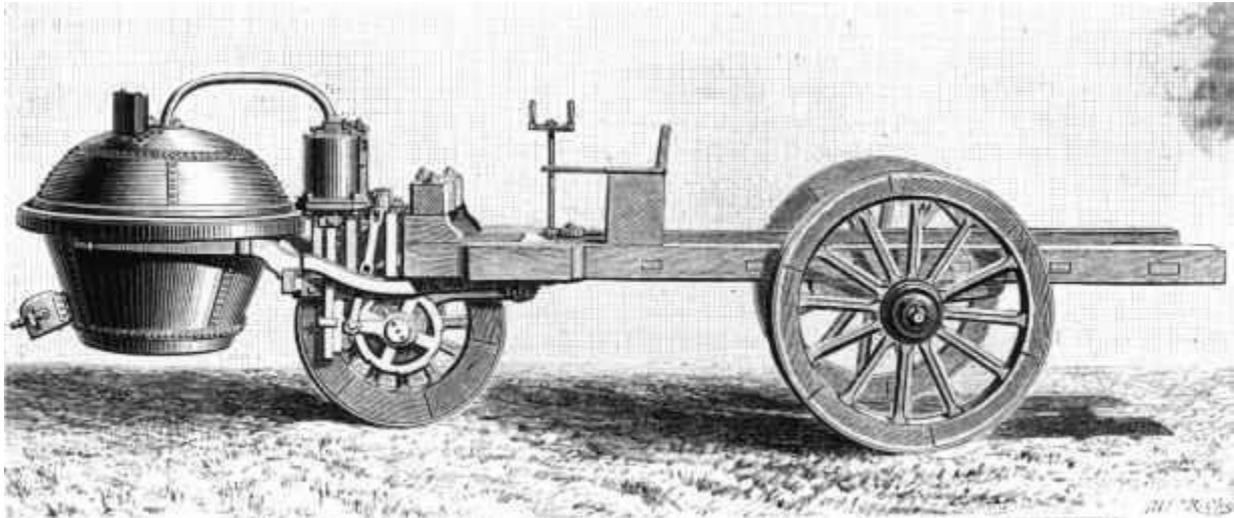


Figura 1. Fardier, primer vehículo autopulsado. [3]

A partir de aquí a lo largo del siglo XIX por toda Europa se fue desarrollando el concepto de automóvil, y desde el 1886 con la presentación del diseño de un triciclo con motor de gas, por parte de Karl Benz, comienza lo que se puede denominar como la *era del automóvil*, donde a través de progresos técnicos, pero sobre los mismos principios, ya que en ese momento ya se hablaba de carburación, transmisión, cambios etc., empezaba a crecer la industria de la automoción.

2.2 HISTORIA DE LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL

Una vez se hacía realidad la idea que había comenzado con el filósofo inglés Roger Bacon, de un carro el cual no se movía a través de tracción animal, que ahora se conocía como automóvil. La globalización y el desarrollo de la industria del mismo eran inevitables, ya que el automóvil ofrecía una libertad a las personas antes inimaginada. Se habla de que antes de la *era del automóvil* (1886) el 99% de la

población no se desplazaba durante su vida más allá de entre los 30-40 km de distancia de su domicilio.

La demanda en poco tiempo aumentaría de manera muy rápida, obligando a un aumento simultáneo de la producción para poder abastecer a la población. Veinte años después del comienzo de la *era del automóvil*, en Detroit apareció la primera fábrica en serie, reduciendo considerablemente los costes, con un modelo de producción en cadena novedoso, que rápidamente se popularizó.



Figura 2. Fábrica de automóviles Ford. [6]

No así en España, debido a la continua inestabilidad política y a que no existían las infraestructuras para ello, este desarrollo se retrasó, teniendo lugar entre finales del XIX y principios del XX en Barcelona. Hispano Suiza Fábrica de Automóviles fue pionera, considerándose la primera empresa en el sector que se consolidó en España, dando pie a poder hablar de la industria automotriz española, junto a otras pequeñas empresas situadas también en la ciudad condal. Esto generó un interés creciente en torno a la ciudad, provocando que el 75% de las empresas automovilísticas en España se localizasen allí. La industria siguió con la

inercia que llevaba, hasta la guerra civil y posguerra, cuando debido a la falta de recursos se quedó prácticamente paralizada, teniendo que reconstruirse.

Esta dura etapa para el sector, actuó como periodo reflexión, surgiendo ideas que se desarrollarían en tiempos venideros. Entre estas ideas sobresalen ampliamente sobre el resto, ENASA (1946) y SEAT (1949), las dos empresas más relevantes en la historia de la automoción en España. Estas empresas permitieron tener la suficiente infraestructura para que otras empresas de automoción extranjeras, colocasen fábricas en nuestro país. De ahí en adelante el crecimiento fue mayor, y más tras el final del franquismo, fruto del cual hubo una gran apertura de la economía española. La creación de la comunidad europea por lo que se eliminaron las barreras aduaneras, además de la cercanía al importante mercado europeo, son algunos de los factores que tuvieron especial relevancia en el desarrollo del sector.

En 2008 esta industria se vio frenada por la crisis económica, provocando varios años difíciles, en solo dos años las ventas de turismos y vehículos industriales se redujeron un 41% y 62,5% respectivamente (Fuente ANFAC). Tras el pico de la crisis económica, y gracias al impulso de los planes 2000E, PIVE y PIME aire, y al gran esfuerzo y las concesiones de los trabajadores y sindicatos, la curva descendiente de la industria automovilística se consiguió revertir, redibujándose con una pendiente ascendente que se ha conseguido mantener en el tiempo, hasta el presente año (2020), donde la caída de la economía ha sido mayúscula y la incertidumbre del futuro en el sector es también sumamente amplia.

2.3 RELEVANCIA Y FUTURO

Como se ha dicho previamente, el sector automoción es un sector estratégico para la economía española, debido al efecto dinamizador que tiene sobre el resto de actividades económicas. La importancia de este en la economía española se explica por sí mismo contextualizándolo respecto al mercado internacional, situándose en 2019 como el octavo productor mundial y segundo europeo, llegando a más de 2,8 millones de vehículos producidos en ese mismo año, de los cuales cerca de 2,3 millones fueron exportados a más de 100 países. Sumado a

la alta capacidad de utilización de las plantas de vehículos españolas, entorno a un 80%, superior a la media mundial, y a las continuas inversiones de los fabricantes en bienes de capital que mejora su eficiencia constantemente. Hace que esta industria suponga en la actualidad en torno a un 10% del Producto Interior Bruto español y genere cerca de 2 millones de puestos de trabajo de los cuales 300 mil empleos directos.

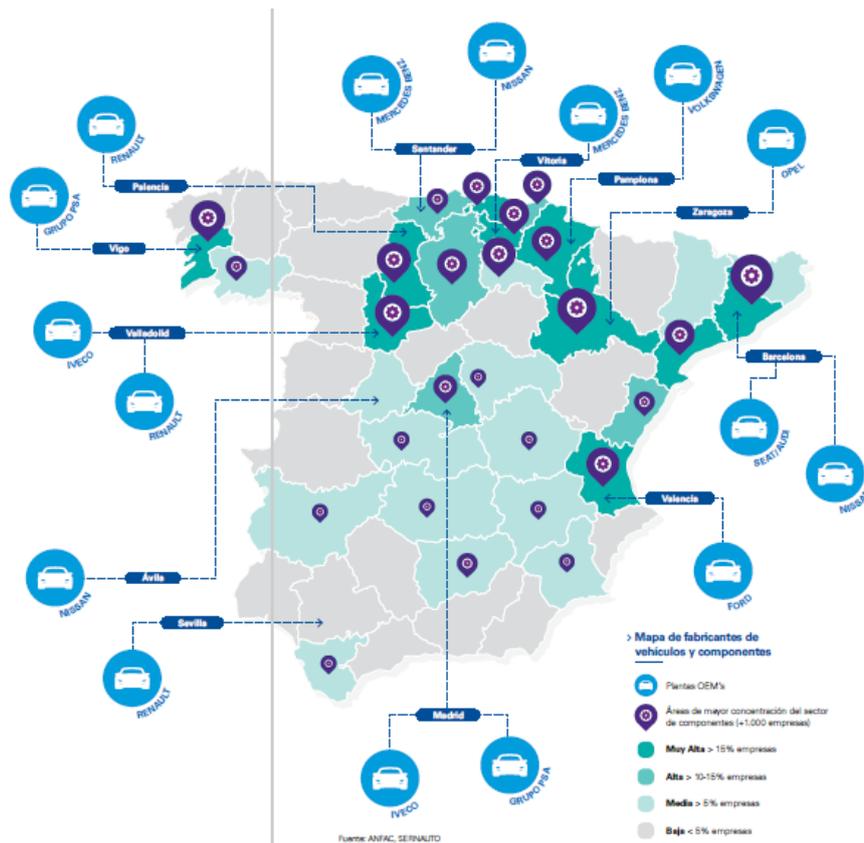


Figura 3. Fábrica de vehículos y componentes en España. [5]

Respecto al futuro de nuevo hay que dejar claro la notable incertidumbre sobre esta industria, no solo por lo cambiante de la misma, siendo uno de los sectores más dinámicos en la economía con la digitalización y automatización de los vehículos. Característica que además se ha acentuado en los últimos años, por la relevancia que ha tomado en la vida de las personas el cambio climático, en función del cual los automóviles están cambiando a una velocidad cada vez más rápida, en una transición desde los coches de combustión interna todavía predominantes, pasando por los híbridos, hacia los coches eléctricos. Sino que

también ahora por la pandemia global, la cual inunda de incertidumbre a casi todos los sectores de la economía.

3 ALTERNADOR

Dentro de los vehículos con motor de combustión interna existen muchos componentes, entre los cuales unos pocos son comunes a cualquiera de ellos, independientemente del tipo de vehículo del que se trate. Entre estos componentes se encuentra el alternador, sin el cual hoy en día, no podemos concebir un automóvil, ya que su funcionamiento se hace necesario para el uso de cualquiera de los elementos electrónicos que conforman un coche, desde las luces, hasta el encendido del motor. Su función es clara, la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, la cual se almacenará en la batería y después se suministrará a donde se necesite.

3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del alternador se basa en la diferencia de potencial que aparece en un elemento conductor, debido al movimiento de sus electrones, cuando dicho elemento se introduce en el seno de un campo magnético. Esta diferencia de potencial se aprovechará para crear una corriente eléctrica, a partir de la cual se generará la energía eléctrica que hará útil nuestro alternador.

Para la generación de la energía eléctrica, conocemos que un campo magnético determinado e inmóvil, produce en un conductor, una diferencia de potencial determinada, pero no una corriente eléctrica. Esta diferencia de potencial, se puede transformar en una corriente eléctrica alterna y posteriormente en corriente continua. Para ello, debemos alterar el campo magnético que causa la diferencia de potencial, rotando el elemento que produce el campo magnético constantemente, provocando que los electrones se muevan en un sentido y en otro, generando así una corriente eléctrica alterna.

En el alternador, el campo magnético lo generaremos a través de una bobina giratoria, por la cual circula una corriente continua. Y dejaremos fijo un arrollamiento lugar donde aparecerá una corriente eléctrica, a estos elementos los

denominaremos rotor y estator respectivamente. Al girar, el rotor inducirá una corriente eléctrica alterna en el estator.

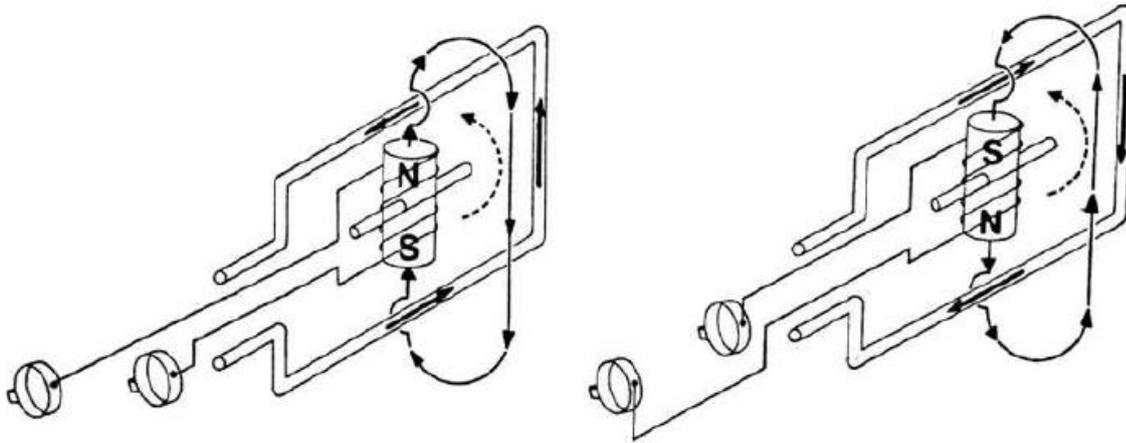


Figura 4. Movimiento del rotor respecto al estator. [7]

Son tres el número de arrollamientos que conforman el alternador, y suelen estar colocados en forma de triángulo o estrella, lo que hace que genere una corriente alterna trifásica. Este tipo de corriente se debe transformar a corriente continua, para ello se utilizan diodos de silicio. Se trata de un material semiconductor, el cual permite el paso de la corriente en un solo sentido. De esta manera solo tendrán efecto los pulsos o positivos o negativos, en función del tipo de diodos que se utilicen (diodos positivos o negativos), y por ende se tratará una corriente en un solo sentido. A esta corriente se la denomina corriente pulsante rectificada.

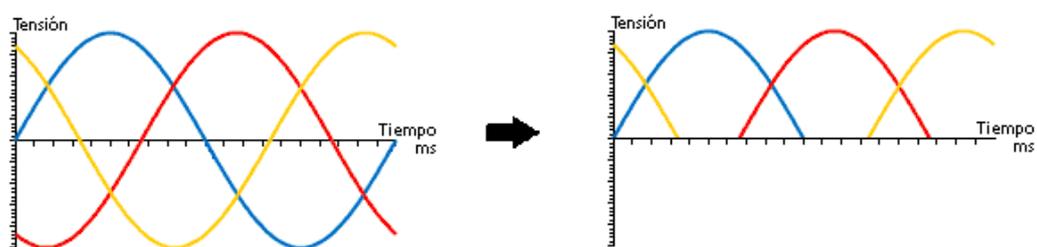


Figura 5. Gráficos de corriente trifásica alterna y corriente pulsante rectificada respectivamente. [7]

El circuito eléctrico clásico del transformador es el que se indica en la figura 6. Antes de explicar el modo de actuación del circuito, se ha de definir la función del regulador. El cual se encarga de controlar la corriente que circula por la bobina

que haga funcionar el electroimán, sino las mismas bobinas, las cuales también proporcionarán a través de B la electricidad demandada por el automóvil.

4 NEUMÁTICA

4.1 USOS

La neumática industrial se trata de una técnica que busca la automatización de movimientos y procesos dentro de la industria. Su uso se generalizó cuando la exigencia de la automatización de los procesos industriales fue común en todos los sectores. Sus aplicaciones y usos son de lo más variadas, selectores, prensas, atornilladores... a continuación se muestran varias imágenes con ejemplos de estas aplicaciones.

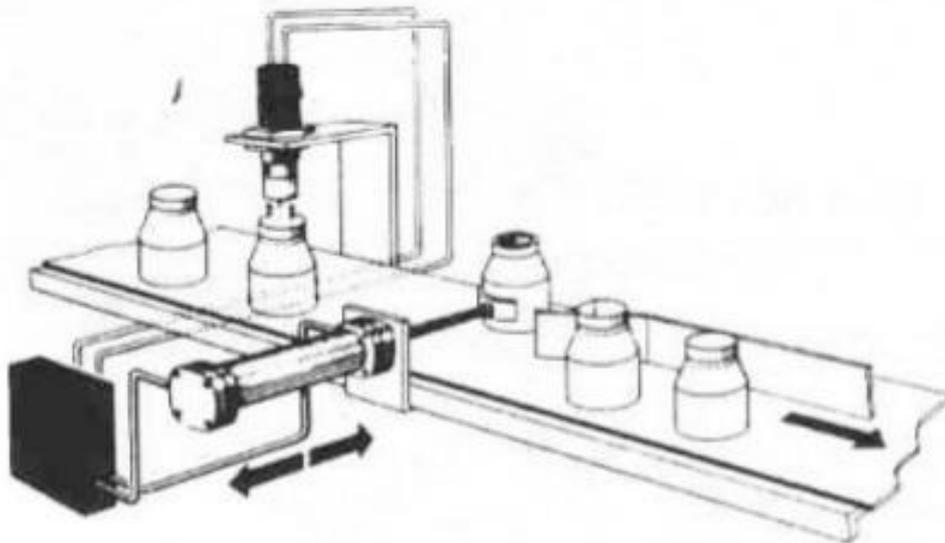


Figura 7. Selector, verifica si los botes tienen tapa. [8]

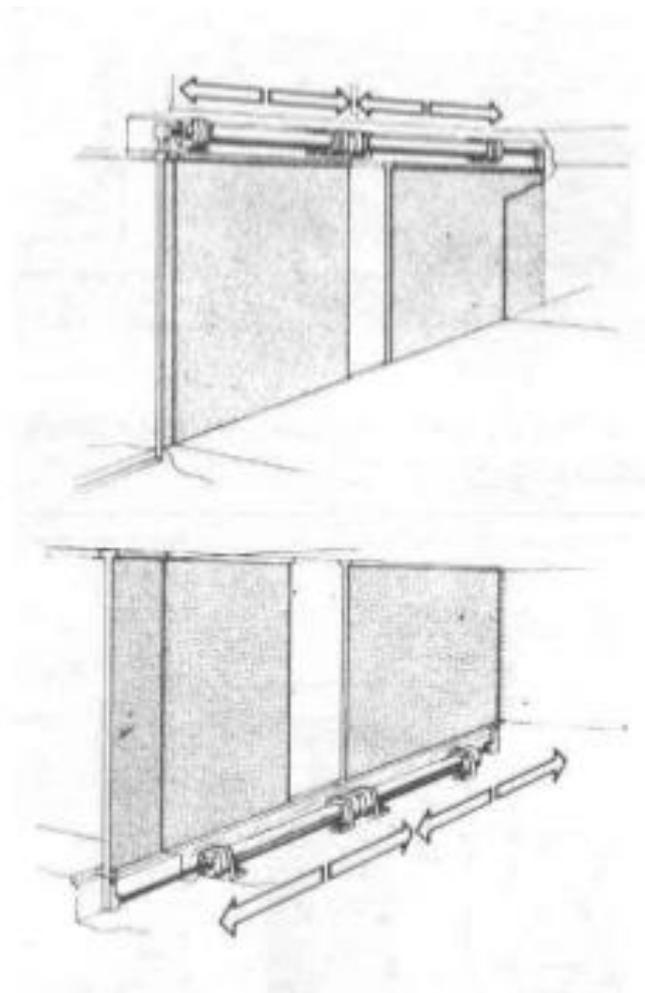


Figura 8. Control de la apertura y cierre de puerta con dos batientes. [8]

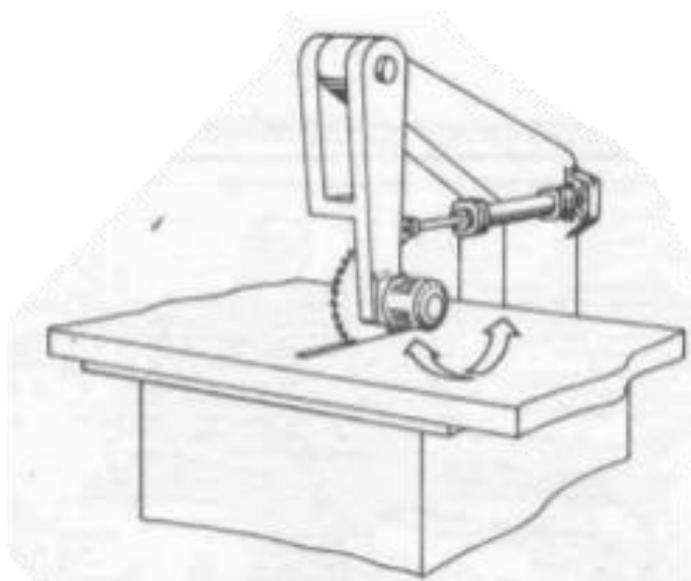


Figura 9. Control de avance de una tronadora. [8]

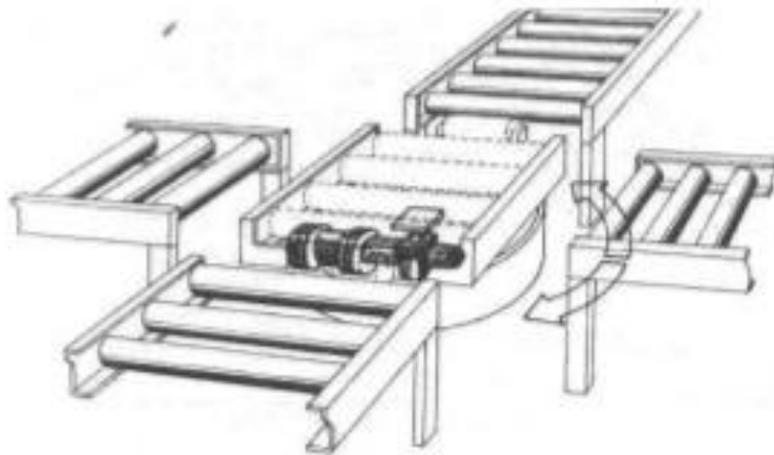


Figura 10. Cambio de la dirección de cinta transportadora. [8]

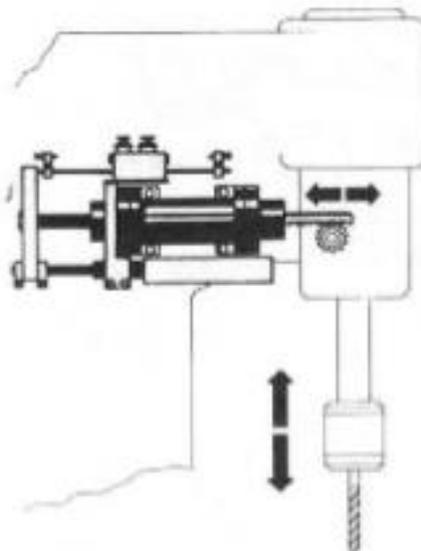


Figura 11. Avance del husillo de una taladradora. [8]

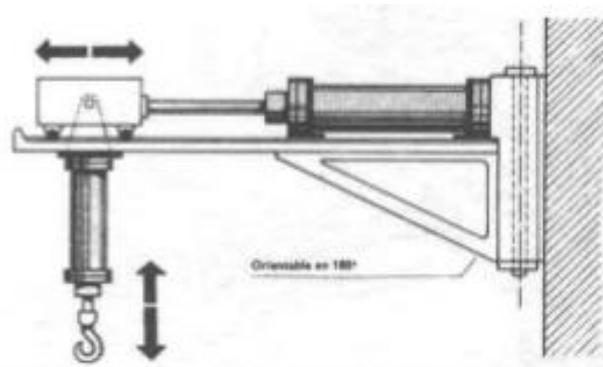


Figura 12. Movimiento de grúa. [8]

4.2 PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y TRATAMIENTO DEL AIRE

4.2.1 Producción del aire

En una planta industrial donde se va a hacer uso de la neumática existe una red de tomas de aire a presión distribuidas por la planta, de manera similar a lo que ocurre con los enchufes a la hora de suministrar electricidad. En estos suministros de aire a presión el componente más importante es el compresor, que se encarga de coger el aire a presión atmosférica del ambiente, incrementar la presión hasta la requerida para el circuito neumático y después alimentar el circuito.

Existe una gran variedad de tipos de compresores, los más comúnmente utilizados son los de émbolo, aunque otros tipos les van ganando terreno, como los de tornillo o los rotativos de uña, ambos más sofisticados pero que presentan ventajas al respecto, como que el aire que producen es más limpio en impurezas o que son menos ruidosos. Esto indica que en un futuro no demasiado lejano estos últimos serán predominantes, debido a la tendencia a la utilización de compresores no lubricados.

En cuanto al montaje de los compresores, predomina la instalación fija respecto a la móvil. Generalmente estos son alimentados por motores eléctricos, aunque también existen los que utilizan motores térmicos, estos últimos se utilizan más con compresores portátiles. La instalación de los compresores suele estar situada en lugares recónditos de la fábrica o en el exterior de la misma. Esto se debe principalmente a tres razones. El ruido de los compresores (suelen ser de émbolo) que son muy ruidosos y con vibraciones. La limpieza del aire exterior, superior a la del interior de las fábricas. Y la refrigeración natural que ofrece el estar en el exterior. Con los nuevos tipos de compresores más que generan menos impurezas en el aire comprimido, y son claramente menos ruidosos se están empezando a situar en otros sitios, sin la necesidad de alejarlos de las personas que trabajan en la fábrica.

Aunque como ya se ha dicho los compresores de émbolo tienen numerosas desventajas frente a los nuevos tipos de compresores, siguen siendo los más frecuentemente utilizados en la industria debido a que son más baratos y ofrecen

la suficiente calidad de aire teniendo en cuenta lo que se necesita. Los compresores giratorios son variados, se pueden diferenciar tres tipos, los rotativos multicelulares, estos son los más modernos, los de tornillo y los de uña, silenciosos los tres. En el caso de los turbocompresores no se utilizan en la industria, debido a que estos son adecuados para bajas presiones y caudales altos.

El caudal y la presión son las características fundamentales de los compresores, esta primera se da salvo que se especifique lo contrario a temperatura ambiente y presión atmosférica, y se debe adaptar a la demanda del circuito. La presión de trabajo se controla con un intervalo en el que se tiene que situar la presión a la salida del compresor, este control se puede hacer de varias maneras. Para compresores de baja potencia donde el arranque y el apagado del motor del compresor no supone ningún problema, el motor se apaga cuando el presostato indica que se ha llegado al valor máximo de presión, y cuando después de un tiempo el valor se sitúa en el mínimo se vuelve a encender, esta manera de control de la presión se denomina de funcionamiento intermitente. En otros casos en los que es importante mantener el funcionamiento del motor debido a que el arranque del motor supone un gasto importante de energía, un desgaste grande al motor o algún otro motivo, se hace girar al motor de ininterrumpidamente, haciendo que algunas veces gire en vacío y otras desarrollando potencia. Un ejemplo podría ser que el cuando el presostato haya indicado que la presión a la salida del compresor ha llegado al máximo se abre una válvula que hace enviar el aire que entra al compresor al ambiente. La presión de salida depende del compresor, siendo una presión mínima en industria de 6bar, en el caso de querer llegar a presiones más altas se utilizan compresores con dos etapas.

Nos centraremos en 6 tipos de compresores, comenzando por los alternativos donde podemos diferenciar dos.

1. Compresor de émbolo, es el que más se utiliza, por lo que existe una variedad amplísima en el mercado. Existen de muchos tamaños, para trabajar a muchos tipos de presiones (desde 4 bar como poco, hasta 15bar en compresores de dos etapas) o caudales (desde los más pequeños, hasta $500\text{m}^3/\text{min}$). Cuando la presión que se quiere obtener es muy superior se pueden utilizar también de hasta tres y cuatro etapas.

En lo que se refiere a la refrigeración del compresor, existen de refrigeración forzada, en este caso el refrigerante circula en torno a la camisa utilizándose habitualmente agua o aceite. Y de refrigeración no forzada, en los cuales se les dota de finas aletas externas para aumentar la superficie de intercambio de calor con el exterior, si se trata de un compresor muy grande se le colocará un ventilador para facilitar el intercambio de calor.

Su funcionamiento es similar al de un motor de combustión interna omitiendo la etapa de explosión. Comienza admitiendo el aire en la cámara de compresión a través de la válvula de admisión, cuando el émbolo efectúa la carrera de salida. En ese momento se va generando un vacío dentro de la cámara que provoca que el aire entre a la cámara. Cuando el émbolo ha llegado al final de la carrera de admisión, el volumen en la cámara es máximo y ya no entra más aire. En ese momento comienza la carrera de compresión con las válvulas de admisión y de impulsión cerradas, finalizando esta en el punto de volumen mínimo y estando el aire comprimido al máximo. En ese punto se abre la válvula de impulsión dejando salir al aire comprimido.

En los compresores de émbolos de dos etapas su funcionamiento es prácticamente el mismo, solo que el aire pasa por dos compresores en serie. El primero comprime el aire hasta los 4-6bar y el segundo por el que pasa comprime hasta los 10-15bar.

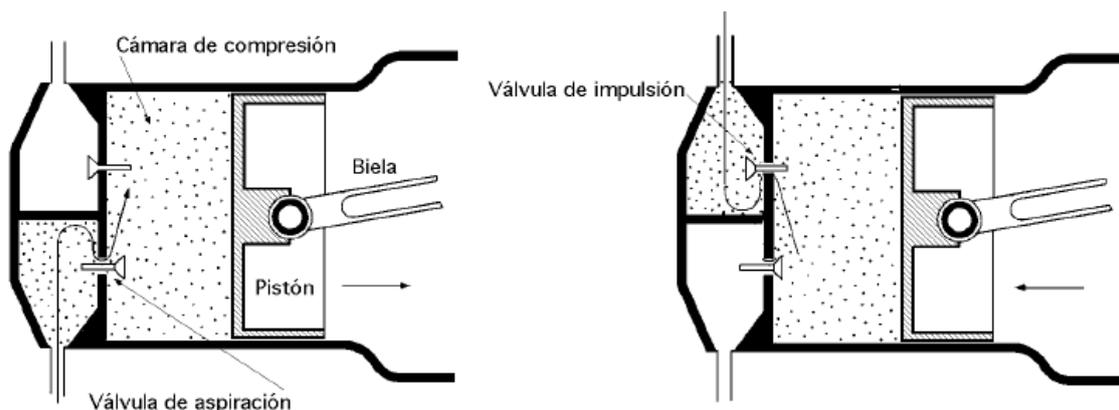


Figura 13. Compresor de émbolo de una etapa .[10]

2. Compresores de membrana o diafragma, el funcionamiento es prácticamente el mismo en lo que a fases se refiere, una primera fase de admisión del aire en la cámara de compresión. Y una segunda fase de compresión y expulsión del aire.

La diferencia que hay respecto al compresor de émbolo es la no existencia del mismo. En este caso en lugar de embolo hay una membrana flexible fijada a las paredes de la cámara de compresión, esta pasa de una forma convexa a cóncava en el momento de admisión del aire ampliando el volumen en la cámara y de forma inversa de cóncava a convexa en el momento de compresión expulsión del aire.

La principal ventaja que presentan estos respecto a los de émbolo, es que la membrana al no deslizar no tiene necesidad de estar lubricada, evitando lubricantes y provocando así que el aire se mantenga más limpio.

Los compresores alternativos tienen varios inconvenientes como lo ruidosos que son, la irregularidad del caudal o el contenido de impurezas en el aire que comprimido. Como alternativa a este tipo de compresores están los compresores rotativos, su forma de funcionar es variada pero en torno a un mismo principio, un rotor que al girar consigue aspirar aire y comprimirlo. Se tratan de compresores claramente menos ruidos y más limpios, por lo que su presencia en el mercado es cada vez más notable, los más conocidos son cuatro.

3. Compresores de paletas o multicelulares, existen también de más de una etapa, los de una etapa llegan hasta unos 4bar y los de dos hasta alrededor de 8bar. Su funcionamiento se basa en una cavidad donde se sitúa un rotor excéntrico, dotado de varias paletas colocadas de tal manera que gracias a la acción de un muelle, consiguen crear células estancas. Cuando la célula pasa por lo toma de aire se rompe su estanqueidad permitiendo la entrada de aire. Una vez ha entrado el aire en la celda el aire se comprime gracias a la excentricidad del motor. En el momento de paso por la tobera de salida el aire ya está comprimido y sale hacia el circuito comprimido, repitiéndose este ciclo con todas las células. El caudal que proporcionan es considerablemente uniforme, en muchas ocasiones esto pues ser una ventaja clara respecto a los compresores de émbolo.

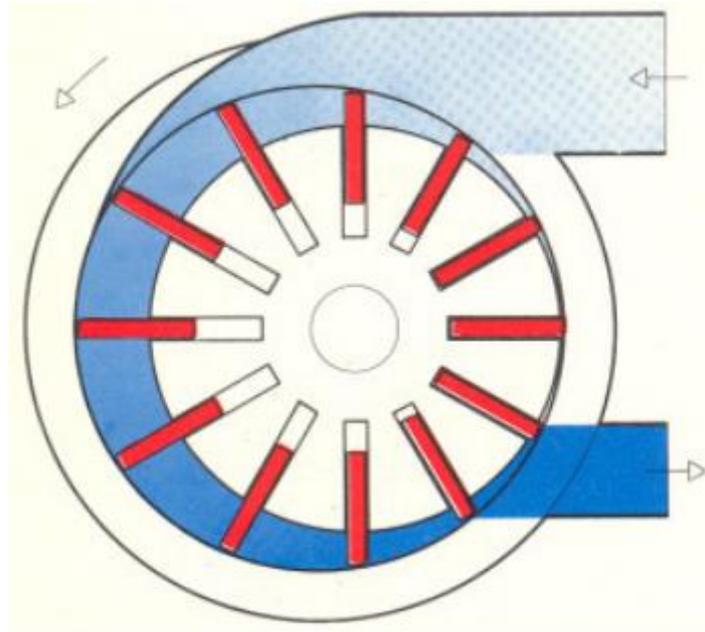


Figura 14. Esquema compresor de paletas. [14]

4. Turbocompresores, son un tipo de compresor destacado, pero no en la neumática industrial, debido a que no son capaces de generar fácilmente presiones altas. En lugar de esto proporcionan altos caudales sin problemas, algo que no se demanda frecuentemente en este campo de la neumática. Alguna característica adicional de los turbocompresores es que existen con compresión radial y axial.

5. Compresores de tornillo, su coste de adquisición es más alto, pero para una utilización prolongada en el tiempo, este coste se amortiza. Esta variedad de compresores presentan varias ventajas, son muy silenciosos (75dB a 1m de distancia), los hay sin lubricación en los tornillos, ya que cuando los tornillos están lubricados aunque se utilicen sistemas para evitar que parte del lubricante acabe en el aire, siempre termina habiendo alguna impureza en él, generando problemas en determinadas industrias. La existencia de compresores de tornillo sin lubricación es la razón de su principal ventaja, capacidad de generar aire comprimido sin partículas de lubricante, ya que la industria exige aire completamente limpio y seco cada vez más veces. Lo que está haciendo que los compradores de este tipo de compresores puedan ahorrarse además el coste de mecanismos limpiadores de impurezas que restan eficiencia como filtros, motivo por el cual su presencia en la industria es cada vez más significativa.

En cuanto a las características del aire comprimido que producen, el caudal varía de los 3 a los 8m³/min, y la presión se sitúa entre 7,5 y 13bar, valores correctos para la neumática industrial.

Su funcionamiento es simple, dos tronillos helicoidales que giran acompasadamente, captan el aire y lo llevan hasta la descarga comprimiéndolo. Los tornillos tienen que tener una geometría determinada y se permite muy poca tolerancia, por lo que su fabricación puede ser más costosa.

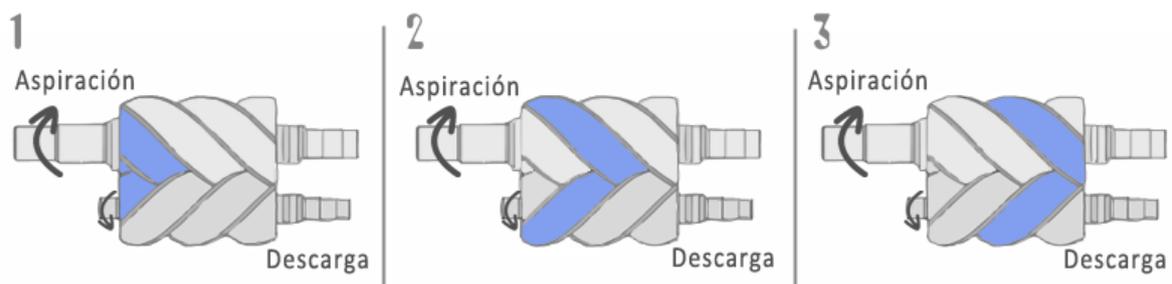


Figura 15. Ciclo de compresor de tornillo. [15]

6. Compresores de uña, presentan ventajas similares a los de tornillo, y su fabricación es incluso más compleja, debido a la exactitud y complejidad de los sus perfiles. Su funcionamiento es distinto al del resto de compresores, consta de dos rotores con diferentes geometrías y como se ilustra en la figura 16 su funcionamiento es sencillo. Consiste en admitir aire por lumbrera de entrada a la vez que el rotor 3 tapa la lumbrera de escape y la mantiene tapada durante el giro acompasado de los rotores. Mientras giran el aire es capturado en la cavidad que

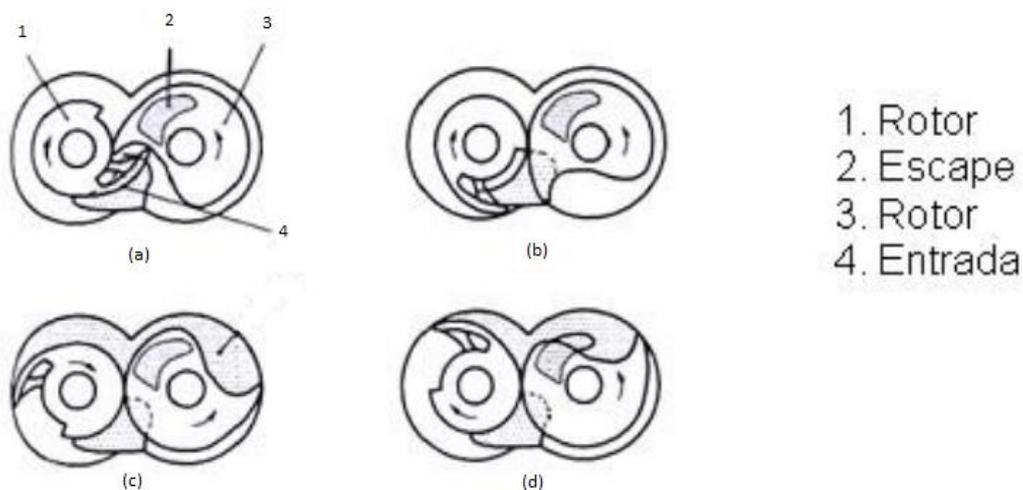


Figura 16. Compresor de uña. [16]

se forma entre los rotores y la carcasa, siendo comprimido hasta que el rotor 3 destapa la lumbrera de salida y permite al aire comprimido salir, este proceso se repite cíclicamente.

4.2.2 Distribución del aire

La distribución del aire consiste en trasladar el aire a presión desde los elementos generadores hasta los lugares de trabajo, para ello se emplean un conjunto de tuberías que se encarga de esta labor, a este conjunto se le denomina red de distribución. La red suele constar de una tubería principal de mayor diámetro desde la cual emanan otras tuberías que se distribuyen por la planta, todas estas atienden a las normas de conducción de cualquier fluido, procurando evitar cambios bruscos de sección, giros pronunciados y demás componentes que provoquen pérdidas notorias de presión. Todas estas tuberías generalmente serán de acero. Además de las tuberías la red está compuesta de acumuladores en lugares estratégicos con purgadores, para eliminar el agua proveniente de la condensación.

El aire circulará entre 6 y 10m/s sin llegar a la máxima, estos valores no están calculados en giros o estrangulaciones donde el valor será claramente superior. En el caso del diámetro de las tuberías el valor puede variar ampliamente, y el cálculo de este no es tarea sencilla, ya que no solamente depende de valores definibles como la velocidad, pérdidas admisibles, longitud de la tubería etc. también depende de parámetros más difíciles de cuantificar como las posibles ampliaciones de los equipos neumáticos. Todos estos valores están enfocados a evitar que las pérdidas totales de la red de distribución no supere el 5% de la presión de trabajo.

Para determinar las características que debe de tener la tubería, el método más sencillo será el empleo de ábacos facilitados por el fabricante, que nos permiten el cálculo de los parámetros de la tubería a partir de datos conocidos.

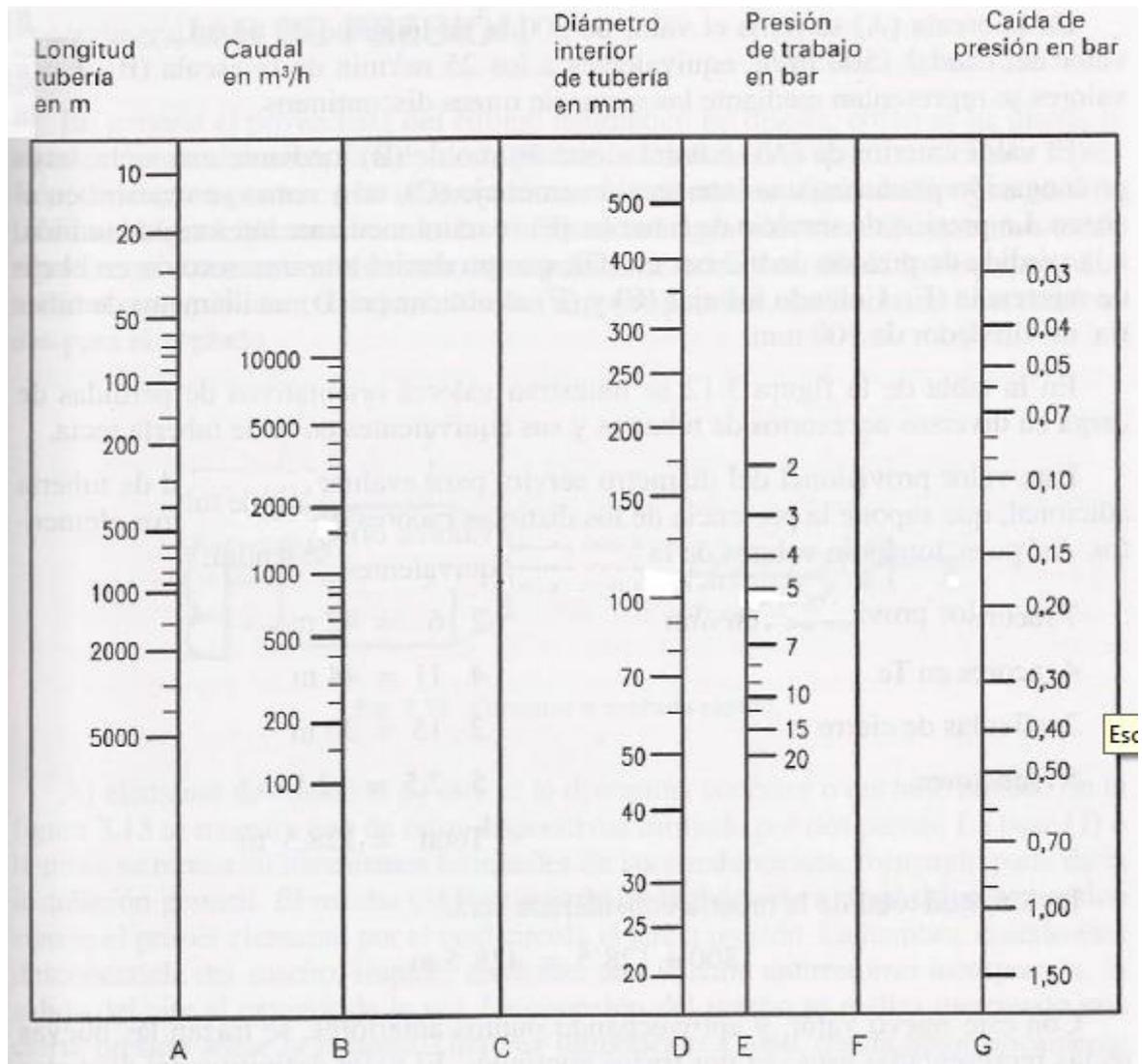


Figura 17. Abaco tipo para el cálculo de tuberías. [12]

4.2.3 Tratamiento del aire

EL aire comprimido generado debe cumplir unas condiciones para que sea admisible, y que se comporte de manera adecuada en las máquinas neumáticas donde trabaje. Para ello existe la norma ISO 8573-1, a la que debe de obedecer el aire en función de la calidad que se demande en el sistema. Esta norma viene definida en la *figura 18*.

ISO 8573-1				
CALIDAD	PARTÍCULAS SÓLIDAS		AGUA	ACEITE
	Máximo tamaño μm	Máxima concentración en mg/m^3	Punto de rocío($^{\circ}\text{C}$)	Máxima concentración en mg/m^3
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	>5
6	-	-	10	-
7	-	-	-	-

Figura 18. Norma ISO 8573-1. [12]

Para conseguir cumplir la calidad requerida se debe tratar el aire comprimido, incluso en las situaciones en las que gracias al uso de compresores más sofisticados, como los de tornillo o uña que no necesitan ser lubricados, el aire no contenga lubricante de las maquinas. Esto se debe a que el aire cuando se coge de la atmósfera, ya contiene impurezas además de agua en forma de humedad. Para ello se colocará en la toma de aire un filtro grueso y un enfriador, este segundo secará el aire, condensando parte de la humedad que tenga el aire. Tras la compresión del aire, en el depósito acumulador se deberá colocar un purgador, y después del depósito acumulador se colocará la unidad de mantenimiento. La unidad de mantenimiento no solo purga y filtra el aire para dejarlo apto para trabajar en las máquinas, sino que también lo lubrica, buscando conseguir que cuando pase por el circuito el desgaste de las partes móviles sea lo menor posible. Por ello en esta parte de la unidad de mantenimiento hay que tener cuidado con las fugas de aire, ya que en el caso de que las haya, el contenido de lubricante en el aire además de contaminante y perjudicial para la salud, en según qué condiciones podría arder.

4.3 CILINDROS NEUMÁTICOS

Los cilindros neumáticos basan su funcionamiento en transformar la fuerza transmitida por el aire comprimido en un movimiento rectilíneo. Se trata del

componente neumático más utilizado, por lo que existen infinidad de tipos en función del tamaño, fuerza, forma, marca de fabricante etc. pero se dividen principalmente en dos tipos, cilindro de simple efecto y cilindro de doble efecto. La diferencia que hay entre estos es que en el cilindro de simple efecto, la fuerza realizada para el avance o para el retroceso, está realizada por un motivo ajeno al aire comprimido, ya sea un muelle o la misma fuerza de la gravedad.

Uno de los motivos de su éxito en la neumática puede ser la simpleza de su funcionamiento. Cuando se quiere que el cilindro avance y el vástago salga, el aire penetra en la cámara donde no está el vástago, ejerciendo presión sobre el pistón y haciendo que este avance. Para que esto tenga lugar, en la cámara del vástago, el aire que contiene sale por un orificio impulsado por la fuerza generada por el avance el pistón, eliminando así contrapresiones que inhabiliten este movimiento.

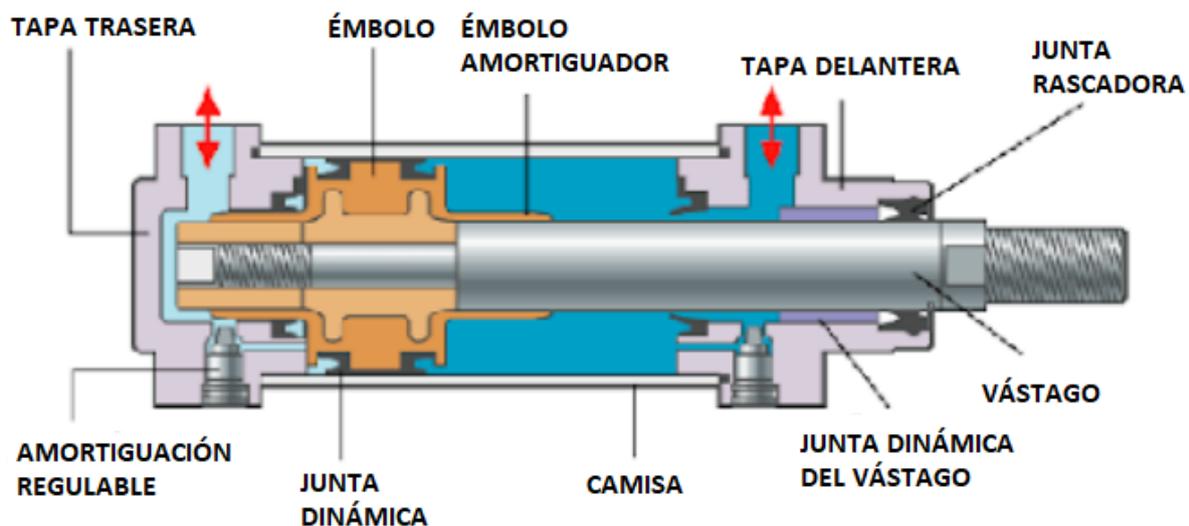


Figura 19. Partes cilindro neumático. [21]

Las partes principales del cilindro son: émbolo, vástago, camisa y tapas delantera y trasera. Además para lograr un buen funcionamiento evitando fugas de aire que hacen perder eficiencia en el trabajo, se utilizarán juntas dinámicas en el émbolo y en el vástago y estáticas en las tapas delantera y trasera. Por último es fundamental la junta rascadora para el vástago, la cual evita que este arrastre impurezas del aire exterior hacia el interior de la cámara del vástago, ya que este aire si está sucio puede generar desgastes en el cilindro.

Uno de los problemas que se pueden dar en los cilindros, es que al salir o entrar el émbolo a una alta velocidad, en el momento de frenar no haya una amortiguación y frene con el tope final sin desacelerar antes, produciendo un choque. Ese golpe se traduce en ruido, vibraciones y desgaste, lo cual reduce la vida útil del cilindro. Para evitar este suceso, habitualmente se amortigua los finales de carrera del cilindro, generando una subcámara con un escape de aire regulado, que crea un colchón de aire que reduce el choque. De esta manera se puede controlar la amortiguación en función de la velocidad que traiga pistón o lo que se desee, y aumentar la velocidad de avance y retroceso del cilindro, reduciendo los tiempos de ciclo.

La fuerza que ejerce el cilindro depende de varios factores, presión del aire, superficie en contacto con el aire del pistón y en el retroceso también sección del émbolo. Además hay que tener en cuenta el rendimiento del cilindro debido al rozamiento de las juntas dinámicas. En cilindros de simple efecto también hay que considerar la fuerza ejercida por el resorte. Generalmente se calcula la fuerza para una presión del aire de 6bar, que es la presión que casi cualquier instalación neumática te puede garantizar, aun así los fabricantes de cilindros suelen sobredimensionar los cilindros, siendo previsores para casos en los que la instalación va bajando debido a problemas que pueden surgir de la utilización de los compresores, tuberías etc. El rendimiento del cilindro debe estar facilitado por el fabricante, si esto no fuera así si suele considerar un rendimiento de 0,85 para cilindros de diámetro inferior a 40mm, y 0.95 para cilindros de diámetro superior a 40mm.

Las fuerzas de avance y retroceso de los cilindros de doble efecto son:

- $F_a = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R$ (Fuerza de avance CDE en daN)
- $F_r = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * p * R$ (Fuerza de retroceso CDE en daN)
- $F_a = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R - F_m$ (Fuerza de avance CSE en daN)

Siendo:

- D: Diámetro pistón (cm)
- P: Presión del aire (bar)

- R: Rendimiento
- D: Diámetro émbolo (cm)
- Fm: Fuerza del muelle (daN)

La fuerza del resorte como se puede prever, no será constante en todo el desplazamiento del émbolo, por lo que los fabricantes facilitarán la información sobre ella en varios puntos de deformación.

Además de la fuerza, es interesante saber el consumo del cilindro para conocer las dimensiones del compresor y depósito. Al tratarse de neumática el aire que circula por el cilindro, después es expulsado a la atmósfera, por lo que el aire que se suministra al cilindro es siempre nuevo, al igual que en el resto de componentes neumáticos.

Los factores de los que depende el consumo del cilindro son la carrera, el diámetro, la frecuencia del ciclo y la presión de trabajo. Aunque también influyen aspectos externos a él como las pérdidas en las tuberías que conducen el aire comprimido hasta el cilindro. En el cilindro de doble efecto se deben de tener en cuenta la carrera de avance y la de retroceso, ya que en ambas se suministra aire al cilindro, sin embargo en el de simple efecto solo se necesita tener en cuenta la carrera de avance o retroceso, debido a que como es lógico no hay consumo en la carrera en la cual es el muelle el que hace la fuerza.

El consumo en el los cilindros vienen definidos por:

- Volumen a presión de trabajo (en cm³) consumido en cilindro de doble efecto:

$$V = \frac{\pi}{4} * (2D^2 - d^2) * S$$

- Para conocer el volumen consumido a presión atmosférica se multiplica por la presión:

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

- Si queremos saber el caudal (en l/min):

$$Q = \frac{\pi * S * p * n}{4000} * (2D^2 - d^2)$$

- En el caso del cilindro de simple efecto el caudal consumido sería:

$$Q = \frac{\pi * S * p * n}{4000} * D^2$$

Considerando que:

- D: Diámetro del pistón (cm)
- D: Diámetro émbolo (cm)
- S: Carrera del émbolo (cm)
- p: Presión de trabajo (bar)
- n: Números de ciclos por minuto

4.3.1 Tipos de cilindros neumáticos

Como sea dicho previamente la variedad de cilindros neumáticos es amplísima, debido a que se deben adaptar a cualquier función para lo que los requiera el consumidor, por lo que se les puede encontrar de muchas formas. Por este motivo nosotros nos centraremos en algunas de las formas que se consideran más importantes.

1. Cilindros de carrera corta, se caracterizan por tener la carrera claramente más corta de lo habitual, existen de varias formas según su constitución, de construcción común, muy similar al clásico cilindro neumático, con cámaras delantera y trasera émbolo y vástago, de membrana o de tipo fuelle. Estos dos últimos tienen una construcción diferente al resto de cilindros.

El cilindro de carrera corta convencional, son cilindros neumáticos cuya principal diferencia es la longitud de su carrera, cosa que no tiene apenas importancia en otras características del mismo ya que por ejemplo, puede realizar grandes fuerzas. Existen de simple y de doble efecto, y no poseen amortiguación final por lo que son muy rápidos en sus cortos desplazamientos. Una de sus ventajas es su gran robustez, lo que les hace tener una longevidad considerable.



Figura 20. Cilindro carrera corta. [13]

Los cilindros de membrana tienen un mecanismo de funcionamiento muy diferente, están compuestos de una membrana de caucho que hace la función del émbolo desplazando al vástago, y separa las dos cámaras creando hermeticidad en ellas. También puede realizar grandes esfuerzos, ya que se fabrican con diámetros muy grandes, y existen de simple y doble efecto.

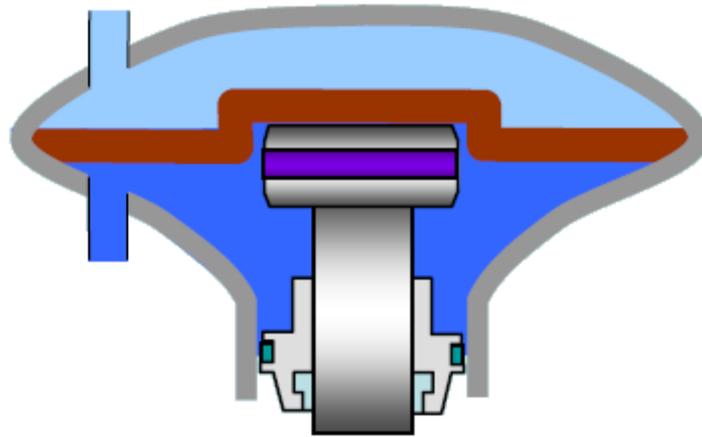


Figura 21. Esquema cilindro de membrana. [11]

Por último el cilindro de fuelle además de no tener émbolo, tampoco tiene vástago. Se trata de un fuelle que bajo la presión del aire en su interior se deforma realizando un desplazamiento axial, por lo que tiene que ir guiado para que el desplazamiento sea correcto. En su interior solo hay una cámara, los más utilizados son los de fuelle simple y los de doble fuelle. Entre sus funciones además de como cilindro neumático, está la función de amortiguador de vibraciones.



Figura 22. Cilindro de doble fuelle y de fuelle simple respectivamente. [13]

2. Cilindro miniatura, como su propio nombre indica son de tamaño muy pequeño, tanto en lo que se refiere a la longitud como al diámetro, por lo que la fuerza que pueden ejercer es también pequeña. Existen de simple y de doble efecto, en ambos casos la alimentación está situada en la tapa trasera. Además, entre sus

características se destaca que generalmente, están roscados en todo su exterior, lo que permite una muy buena fijación al lugar que se requiera.



Figura 23. Cilindro miniatura. [22]

3. Cilindro con bloqueo de vástago. Una de las desventajas que presentan los cilindros neumáticos, respecto a los que funcionan con fluidos incompresibles en su interior, es que al ser el aire un fluido compresible, el cilindro no tiene la capacidad de parar en cualquier punto a lo largo de su carrera aunque ceda su alimentación. Para dotar de esta capacidad al cilindro se debe recurrir a otro mecanismo mecánico ajeno al cilindro, el cual se situará en la salida del vástago. Este mecanismo también puede servir como medida de seguridad previniendo una posible parada del suministro.



Figura 24. Cilindro con bloque de vástago. [18]

El funcionamiento de este mecanismo de bloqueo se basa en unas arandelas elásticas de tipo estrella, las cuales cuando están bajo la alimentación de aire comprimido están relajadas. Pero en el caso de que se corte el suministro, estas

empiezan a ejercer una presión sobre el vástago, que produce un rozamiento que hace que se frene el cilindro. La precisión del frenado dependerá de varios factores, como la fuerza con la que esté saliendo el cilindro, o la velocidad de respuesta de las válvulas.

4. Cilindros de doble fuerza o de varias posiciones, son dos tipos que ofrecen características diferentes pero que tienen en común su distribución. Son básicamente dos cilindros de igual diámetro que están colocados uno seguido de otro longitudinalmente.

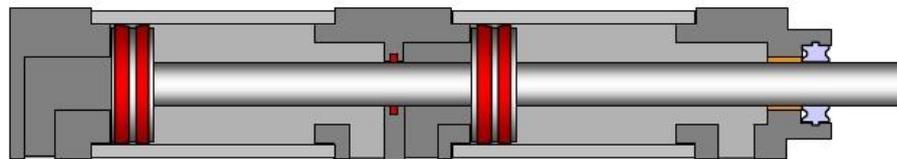


Figura 25. Esquema cilindro de doble fuerza. [12]

Los cilindros de doble fuerza constan de dos cámaras separadas entre sí y un solo vástago, que a la hora de que salga entra aire en las dos cámaras, lo que provoca que la fuerza que ejerce el aire a presión sea aproximadamente el doble, debido a que lo ejerce sobre el doble de superficie. La ventaja es clara se obtiene una fuerza mayor sin la necesidad de tener un diámetro mayor.

Cuando lo que se busca no es que la fuerza sea mayor, sino que existan varias posiciones para el vástago, se puede utilizar una disposición similar, pero en este caso si que se necesitará un segundo vástago de longitud diferente al primero. Este segundo vástago estará orientado en sentido contraria al primero. Las posiciones serán cuatro y se corresponderán a las diferentes combinaciones de los cilindros, en orden ascendente de menor longitud, a mayor longitud lograda son:

1. Los dos vástagos dentro.
2. Vástago largo dentro y vástago corto fuera.
3. Vástago largo fuera y vástago corto dentro.
4. Los dos vástagos fuera.

5. Cilindro de doble vástago, se utiliza como solución al problema existe en los cilindros de un solo vástago, debido al giro del mismo sobre su propio eje.

Tradicionalmente la solución que se le ha dado es la incorporación de una guía en el exterior del cilindro paralela al mismo, por la que pasa una pieza de metal cilíndrica que va solidaria al vástago, e impide su rotación.

En la actualidad en vez del cilindro metálico guiado, se utiliza un segundo vástago incorporado al émbolo, asegurando de esta manera que no puedan girar los vástagos. Este tipo de cilindros se producen con amortiguación para evitar ruidos y vibraciones.

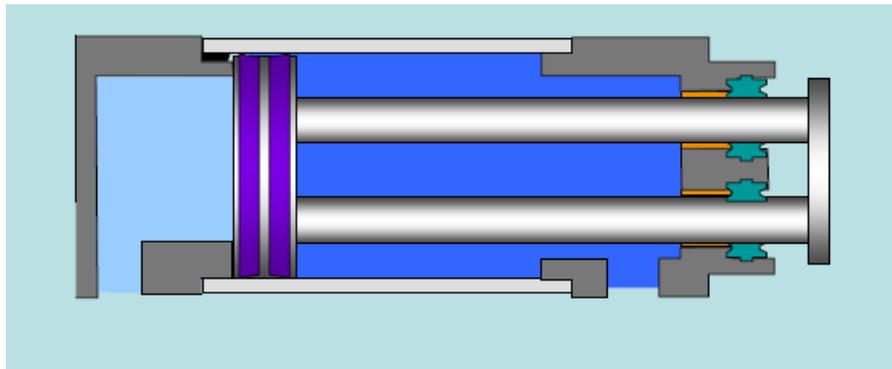


Figura 26. Esquema cilindro de doble vástago. [19]

6. Cilindro sin vástago, este tipo de cilindro tiene una ventaja primordial respecto al resto de cilindros neumáticos, al no poseer vástago, su longitud se reduce tanto, como tan largo sea el propio cilindro. Lo que le permite tener carreras muy largas, sin la necesidad de espacios mucho más grandes que el de la propia carrera. Además reduce notablemente las cargas exteriores que se soportan, porque se eliminan los momentos que pueden aparecer en el vástago, los cuales pueden ser muy altos. Y si se cuenta con un buen guiado del carro más aún, ya que este puede soportar sin excesivo problema cargas de todo tipo.

Su funcionamiento puede ser básicamente de dos tipos, con desplazamiento del carro a través de una unión mecánica al émbolo, tipo de unión más utilizada. O con una unión magnética la cual cada vez está más generalizada, debido a que este tipo de unión simplifica el conseguir una buena hermeticidad en las cámaras, la cual es difícil de conseguir en los cilindros si vástago con unión mecánica. Si el

carro no va guiado, habrá que utilizar algún mecanismo para evitar la rotación, y las cargas axiales que pueda soportar serán claramente inferiores.



Figura 27. Cilindro sin vástago. [13]

7. Cilindro programado, este tipo de cilindro no se diferencia del resto por la forma, sino en las posibilidades que ofrece. Se basa en la utilización del sistema de bloqueo del vástago, controlado por un equipo informático que transfiere la información a otro electro-neumático, que se encargara de enviar la información recibida al bloqueador del vástago. Las posibilidades que ofrece son varias, siendo las principales tres:

1. Manejo flexible de paradas y velocidades tanto en el avance como en el retroceso del cilindro.
2. Capacidad de almacenamiento en memorias de tipo digital, de circuitos neumáticos de simple implantación.
3. Modificación de los circuitos neumáticos sin, o con pocos cambios físicos.

4.3.2 Pinzas neumáticas

Se trata de una herramienta neumática novedosa, que basa su funcionamiento en la acción de un cilindro neumático. A pesar de esto son mecanismos realmente complejos, debido a que llevan incorporados complementos como reguladores de velocidad o detectores de final de carrera que complican este mecanismo a priori simple.

El campo de utilización de las pinzas neumáticas se centra en la robótica, pero abarca otros muchos campos. En este apartado mencionaremos 3 tipos de pinzas en función de su apertura y del número de garras. Algunos de los elementos que se pueden agarrar con estos tipos de garras son: piezas de diferentes formas en procesos de mecanizado, elementos circulares como flejes o anillos, y multitud de objetos no relacionados con procesos de fabricación.

Según su tipo de apertura y cierre reconocemos dos tipos, de apertura angular y de apertura paralela. Comenzaremos con las de apertura angular.

Como hemos dicho antes la base de su funcionamiento es un cilindro, cuyo final de vástago está conectado con las pinzas, y cuando el émbolo avanza impulsa el extremo inferior de las garras de las pinzas, provocando que roten cada una respecto a su eje de rotación, y haciendo que estas queden abiertas y puedan agarrar. Cuando retrocede el cilindro las garras rehacen el giro hecho en sentido inverso quedando cerradas.

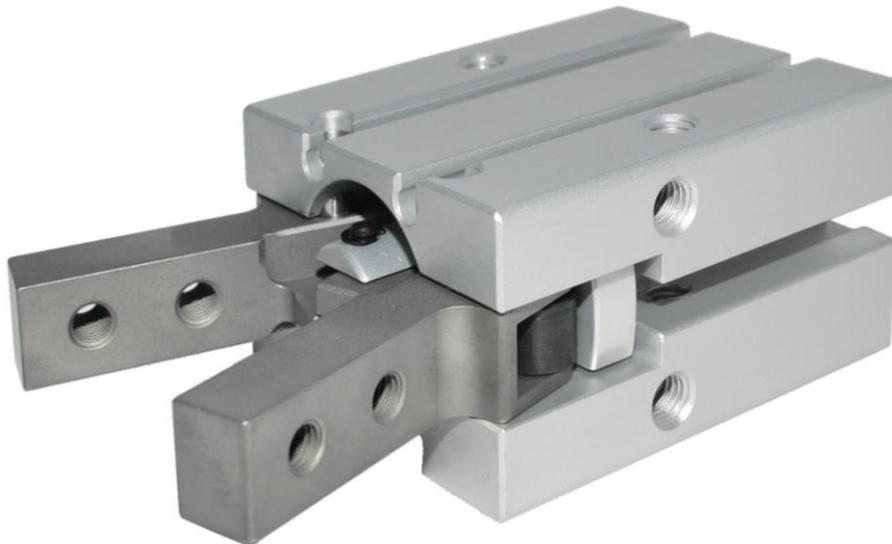


Figura 28. Pinzas neumáticas con garras con apertura angular. [17]

El comportamiento de las pinzas de apertura paralela es similar, pero en este caso las garras no están unidas directamente al final del vástago, sino a un elemento intermedio. Este elemento intermedio se comporta como las garras de las pinzas de rotación angular. Cuando rotan, los puntos de estos elementos intermedios, que está conectado a las garras tienen un desplazamiento rectilíneo, impulsando

a las garras, las cuales van sobre unos railes que la guían, hacia fuera y dejándolas abiertas. Al retorcer el cilindro, el recorrido es el inverso cerrándose las garras.



Figura 29. Pinzas neumáticas de apertura paralela. [17]

El tercer tipo de pinzas neumáticas se trata de unas pinzas de apertura paralela, pero en este caso en vez de dos garras tendrá tres. Esto propicia que sea un tipo de pinzas ideal para agarrar piezas con forma cilíndrica, ya que es casi imposible que exista un cojeo en alguna de las garras. El funcionamiento es prácticamente el mismo, solo que añadiendo una tercera garra y cambiando la distribución de las mismas. Este tipo de pinzas neumáticas se puede encontrar en el plato de cierto tipo de tornos.

4.4 ELEMENTOS NEUMÁTICOS DE GIRO

Como no cabía de otra manera en el campo de la neumática industrial, la necesidad de movimientos de rotación para el desarrollo de la neumática en toda su capacidad, iba a provocar la creación de elementos giratorios, ampliando así su ámbito de utilización a un entorno mucho mayor.

Entre los elementos giratorios diferenciaremos entre dos tipos dependiendo de su capacidad de giro. Lo actuadores de giro limitado, de movimientos mucho más lentos y controlados, este tipo de actuadores se emplean por ejemplo, en brazos

neumáticos para realizar la función de codo, donde no se requiere giros de más de 360° pero si un control del mismo. Y los de giro ilimitado, como en el caso de los motores neumáticos, donde cobra importancia conseguir una alta velocidad de giro.

4.4.1 Actuadores de giro limitado

Como se ha dicho previamente, con este tipo de elementos lo que se busca es que tengan la capacidad de realizar un giro que se pueda controlar, independientemente de que los grados de rotación posibles, sean inferiores o iguales a una vuelta completa. Entre este tipo de actuadores diferenciamos dos, según su método de funcionamiento, de tipo cremallera o rotativo de paletas.

Actuadores de tipo cremallera, su funcionamiento está basado en la transformación del movimiento rectilíneo de un cilindro neumático, en un movimiento de rotación. En función del par que se necesite, se utilizará actuadores con uno o con dos pistones.

La transformación del movimiento se realiza a través de la utilización de un mecanismo de cremallera. El émbolo del pistón está dentado, y cuando sale engrana con eje dentado que girará, y transmitirá el giro al elemento que se desee. Este tipo de actuadores son los de un solo pistón y pueden proporcionar una par de torsión de alrededor de $1000\text{N}\cdot\text{m}$ y giros de hasta 360° .

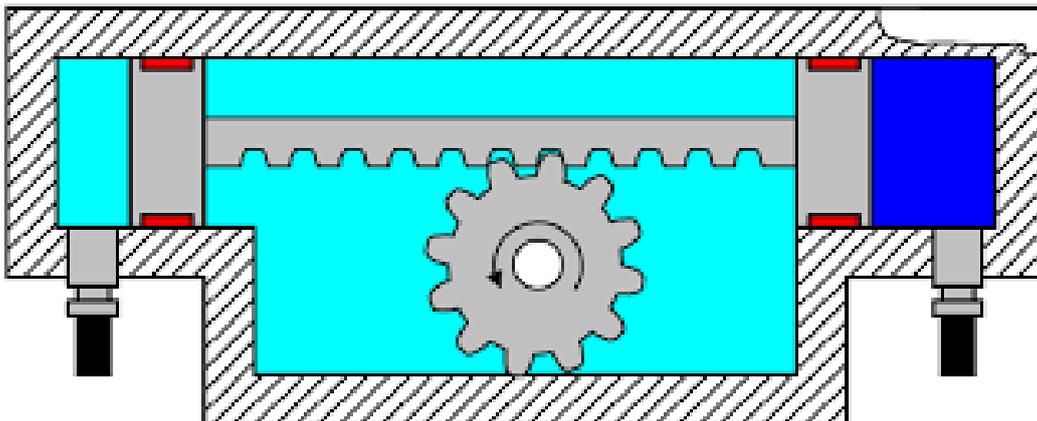


Figura 30. Esquema de actuador neumático de tipo cremallera. [19]

Si el par que se necesita es mayor se puede recurrir a actuadores de tipo cremallera de doble pistón, de funcionamiento es casi idéntico. La diferencia reside en que estarán los dos émbolos dentados y en contacto con el piñón que rota. Esto provoca que la fuerza total transmitida sea claramente mayor, llegando hasta los $1750\text{N}\cdot\text{m}$ de par de torsión transmitido.

Actuadores de paletas, este tipo de actuadores permiten un giro todavía más limitado, debido a los condicionantes físicos que tienen. En su caso no pueden llegar a la vuelta completa de giro en el mejor de los casos. Por otro lado presentan la ventaja de que son más compactos que los anteriores actuadores, y su mecanismo es más simple. Se diferencian dos tipos según el número de paletas.

Actuador de paleta simple o de una sola paleta. Consta de una cámara cilíndrica que se separa en dos cámaras de aire herméticas, por medio de la paleta que está fijada al centro de la cámara y una pared que separa las dos entradas de aire a presión. Cuando penetra el aire por uno de los lados, impulsa a la paleta haciéndola rotar respecto a su punto fijo, generando un movimiento de rotación. Este tipo de actuador suele llegar a un giro máximo de 270° , y $250\text{N}\cdot\text{m}$ de par torsor.

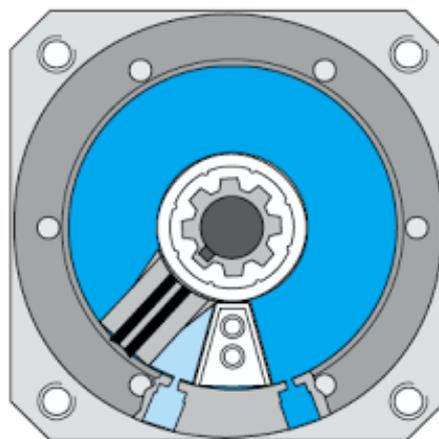


Figura 31. Esquema actuador neumático de paletas. [19]

El actuador rotativo de paleta doble tiene un funcionamiento similar al de paleta simple, pero en este caso hay dos paletas que forman 180° entre ellas, dos cámaras, que conectan por el centro del cilindro, que se dividen en dos cada una de ellas por medio de las paletas. Al entrar el aire por uno de los conductos de entrada, empuja las dos paletas haciéndolas rotar en el sentido correspondiente.

De manera contraria se comportan las paletas cuando el aire entra por el otro conducto.

4.4.2 Motores neumáticos

Este tipo de actuador giratorio es totalmente diferente a los citados en los apartados anteriores, tanto en capacidades como en funcionamiento. Como motor presenta algunas cualidades que lo hacen no tener competencia en su campo de aplicación, ya que tiene una robustez y un aguante a condiciones ambientales adversas que ningún otro motor tiene. Prácticamente no tiene influencia en su funcionamiento la temperatura, debido a su capacidad de autorefrigeración, tampoco es sensible ni a la humedad ni a la suciedad del ambiente. La exposición del motor a cargas superiores de las que está capacitado, no provoca ningún desgaste grave en él, incluso aunque se le lleve hasta la parada. Además la capacidad de trabajar en ambos sentidos de giro con igual facilidad le dota de cierta versatilidad.

Sus aplicaciones son de lo más variadas, pero se destaca su uso en lugares donde las condiciones ambientales son peligrosas para otros tipos de motores, así como en la industria debido a que son elementos fácilmente amortizables por su alta durabilidad. Dentro de estos motores, dos tipos sobresalen sobre el resto, los motores de aletas y los de pistones radiales.

Los motores de aletas son de lo más conocidos, y su comportamiento no representa ninguna complejidad, estando compuesto de dos entradas de aire (una para cada sentido de giro), y una salida. El aire penetra por una de las entradas e impulsa las paletas, haciéndolas girar en torno al centro de las mismas que coincide con el centro de rotación. Estos motores poseen diferentes potencias, alcanzando hasta los 3500W dentro de los más comerciales y velocidades entre 400rpm y 20000rpm los de tamaño más reducido.

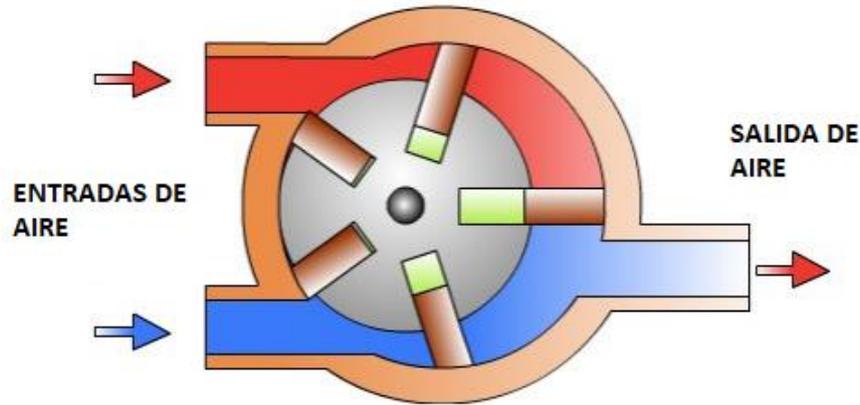


Figura 32. Esquema motor neumático de paletas. [12]

Otro tipo de motor neumático muy utilizado es el de pistones radiales, su composición es mucho más compleja, ya que está compuesto de varios cilindros neumáticos. Su comportamiento es el mismo que el de un motor de combustión interna, los pistones transfieren el giro a través de un mecanismo de biela-manivela a un eje común para todos los pistones.

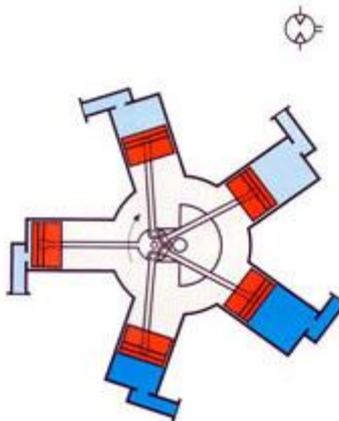


Figura 33. Motor neumático de pistones radiales. [23]

A ambos motores se les puede encontrar con reductores de velocidad, con el fin de reducir la velocidad a cambio de un incremento de potencia.

4.5 VÁLVULAS DE DISTRIBUCIÓN

Este tipo de componentes están destinados al control del resto de actuadores neumáticos, ordenando cuando deben de ejecutar su trabajo, y en que orden, para el correcto desarrollo de la función para la que se ha creado el circuito. En este capítulo explicaremos el funcionamiento de este tipo de actuadores, así como la diferenciación de los tipos, en función de como estén gobernadas las válvulas, esto marcará en muchos casos, cuando, donde y como se podrán utilizar, y no tanto la forma de construcción que depende fundamentalmente del fabricante y tiene una influencia menor en cuanto a su utilización.

Su constitución depende de las posiciones y vías que se requieran en la válvula. Las posiciones se representan como rectángulos, las líneas de flujo con segmentos, que terminan, comienzan o ambas dos, en puntos de los lados superior e inferior, lo que representa las vías de entrada y de salida de aire en la válvula. La manera de nombrar la válvula será, mencionando primero el número de orificios de entrada y salida que tiene por posición, y después el número de posiciones, así pues, una válvula muy utilizada será la válvula 3,2, la cual tiene tres orificios por posición y dos posiciones. Un ejemplo de aplicación de esta 3,2 es el control de un cilindro de simple efecto, como se muestra en la figura 34.

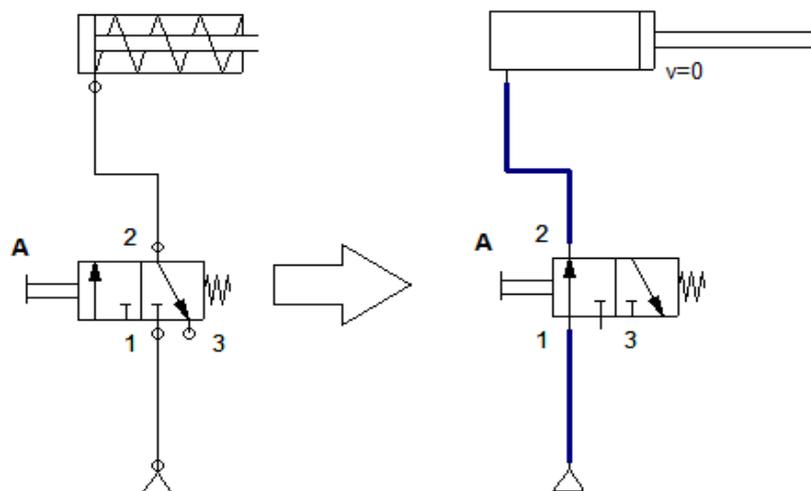


Figura 34. Esquema control cilindro simple efecto con válvula 3,2.

En la figura 34 se ve como partimos de la posición 1, donde no hemos aplicado ninguna fuerza, el cilindro está dentro resultado de la acción del muelle, y la

válvula 3,2 con control mediante pulsador y muelle, permanece en la posición 1 gracias a la acción del muelle. En el momento que pulsamos el pulsador, la válvula pasa de la posición 1 a la 2, y permite el paso del aire hacia el cilindro, haciendo salir el vástago. En el momento en el que soltemos el pulsador, válvula y cilindro retornarán a la posición inicial, ya que su única solicitud será debida a la acción de los muelles.

Dentro de las vías de flujo, las que están representadas como segmentos transversales, serán en las que el aire fluya de una entrada a una salida de la válvula, generalmente se señalará con una flecha la dirección de flujo. Cuando la línea de flujo no sea transversal, y termine con forma de "T", significa que el aire no podrá fluir por ahí, y consecuentemente quedando taponado. Como última opción una línea de flujo podrá ser afluyente de otra, marcando el nexo de ambas con un punto en el lugar que confluyen.

4.5.1 Tipos de válvulas según su accionamiento

Como se ha indicado previamente, podemos diferenciar los tipos de válvula según el método de accionamiento que lleven incorporadas. Esto marcará el servicio que la válvula está destinada a ofrecer, ya sea ser accionada por parte de un operario, un cilindro, la misma presión del aire o un circuito eléctrico.

1. Con accionamiento manual, este tipo requiere de la mano humana para su activación. En función del grado de automatización que tenga el circuito se necesitará más, o menos la acción del operario. Cuanto más automatizado sea, menos implicación humana a la hora del accionamiento de válvulas se necesitará. Por otro lado, en cualquier circuito neumático, hace falta como mínimo un accionamiento manual para el inicio del ciclo de trabajo.

Normalmente todos los accionamientos manuales de un ciclo se suelen situar juntos, y en un lugar de fácil accesibilidad, de este modo se le dotará de una mayor comodidad para el trabajo de los operarios. Además su localización, influirá en su forma. Entre los tipos más destacadas podemos mencionar a los accionamientos de tipo:

- Pulsador seta, este tipo se acciona pulsándolo manualmente, y se mantiene accionado el tiempo que se mantenga la fuerza sobre el pulsador, en el

momento que cese, un resorte lo devuelve a la posición inicial. Se puede encontrar como elemento de emergencia para una parada automática del ciclo de trabajo. También puede estar protegido por una carcasa cuando su accionado pueda suponer un peligro para los trabajadores.

- Pulsador de dos posiciones, es similar al anterior, pero en este caso una vez sea accionado, se puede dejar de ejercer fuerza sobre él y se mantiene en la misma posición. Para que retroceda a la posición inicial habrá que volverlo a accionar.
- Llave, este tipo de accionamiento se emplea para casos en los que se quiere mantener protegido de personas ajenas al proceso, solo pudiendo ser activado con una determinada llave. Generalmente son de dos posiciones sin retroceso por medio de resorte.
- Palanca, se trata generalmente de un accionamiento de tamaño superior al resto. En este tipo de accionamiento se puede realizar una fuerza mayor. Su retroceso es también por acción manual y en vez de por resorte.
- Pedal, la característica principal de estos es como su nombre indica, es que se acciona con el pie, por lo que están localizado en sitios donde sea cómodo acceder con el pie. Normalmente el retroceso viene dado por un muelle cuando cede la acción del pie. Es fácil encontrarlos protegidos por una cubierta con el fin de evita su accionamiento debido a la caída de un objeto o cosa similar.

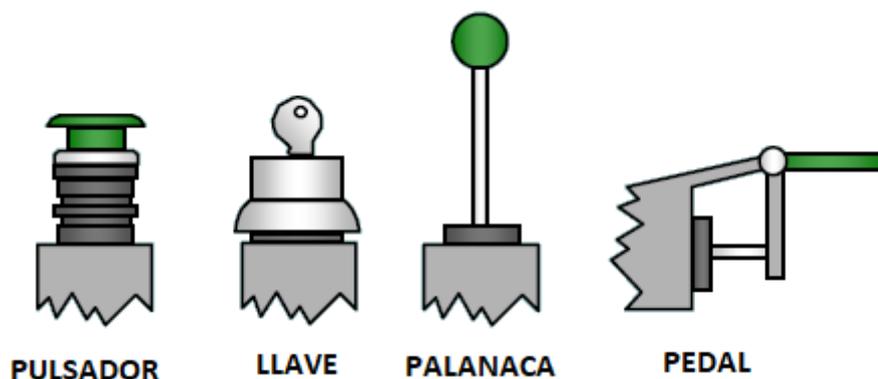


Figura 35. Accionamientos manuales. [12]

2. Con accionamiento mecánico, en este caso el motivo de la activación de este tipo de accionamiento es debido a la actuación de un componente mecánico, ya sea un actuador de giro, un cilindro u otro elemento. Suelen ser de tamaño

reducido y se utilizan muchas veces para la detección de posición, y partir de ahí controlar las válvulas distribuidoras que gestionan el ciclo de trabajo.

Este tipo de válvulas se localizan cerca de los actuadores mecánicos, ya que serán estos los encargados de activarlas. Esto a su vez explica la dificultad que tiene el diseño de estos accionamientos, porque no es el humano el que los acciona adaptándose a su funcionamiento, sino un mecanismo al cual debemos adaptar el diseño. Esto lo condiciona totalmente, y no solo a nivel del tipo de movimiento, también la fuerza puede más grande o más pequeña según la situación.

Según la forma del accionamiento puede haber diferentes tipos de accionamientos mecánicos, entre los que destacamos dos, de pulsador o de ruleta. En el caso del primero, su activación podrá ser únicamente en dirección frontal, por lo que toma especial relevancia la exactitud de la colocación, teniendo que obedecer a un desplazamiento del émbolo determinado, con lo que si se coloca el pulsador más alejado de lo debido, donde la carrera no llega, quedará inhabilitado para ser pulsado. O en caso contrario, si queda situado en un lugar que sobrepasa el émbolo, podría llegarse a efectuar una rotura del accionamiento.

Dentro de los accionamientos de ruleta, hay diferentes tipos de diseños. Con brazo articulado, funciona frontal y transversalmente, ruleta abatible, funciona frontalmente y en uno de los sentidos transversales. También existen sin brazo articulado, en este caso necesitan una fuerza mayor para su activación, pero tienen la posibilidad de ser activados frontal y transversalmente, este diseño

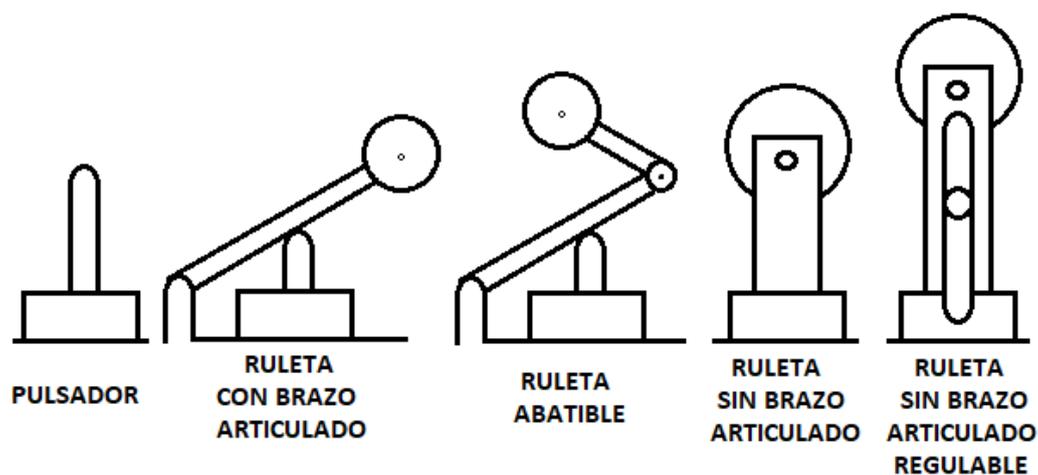


Figura 36. Accionamientos mecánicos. [12]

también puede llevar incorporados un mecanismo de regulación, en función de la longitud y el ángulo que se desee que tenga.

3. Con pilotaje neumático, permite el accionamiento de las válvulas a distancia, su comportamiento se basa en la utilización de la fuerza que puede ejercer el aire a presión para variar de una posición a otra. Su utilidad más común es el control de válvulas distribuidoras desde una lejanía relativa, ya que si la distancia pasa a ser demasiado amplia, podría no suministrarse la suficiente presión como para activar el accionamiento. Además de evitar una distancia muy amplia, también hay que tener en cuenta otros factores en su diseño. Es común en diseñadores inexpertos, que se olvide la creación de un método de desalajo del aire de las cámaras de activación, ocasionando que a la hora de cambiar de posición, esto no sea posible debido a la presión que hay en la cámara opuesta.

Los mecanismos más utilizados para la generación de válvulas con este tipo de pilotaje, suelen estar fundamentados en la utilización de asientos planos o válvulas corredera. De este modo podríamos construir una válvula 3 2 monoestable con pilotaje neumático como se ve en *la figura 37* a partir de un asiento plano. Cuando se proporciona aire a presión al accionamiento neumático desplaza el asiento deformando el resorte, permitiendo pasar aire de "P", orificio por donde se suministra el aire a presión en la válvula, a "A", cerrando además el orificio "R".

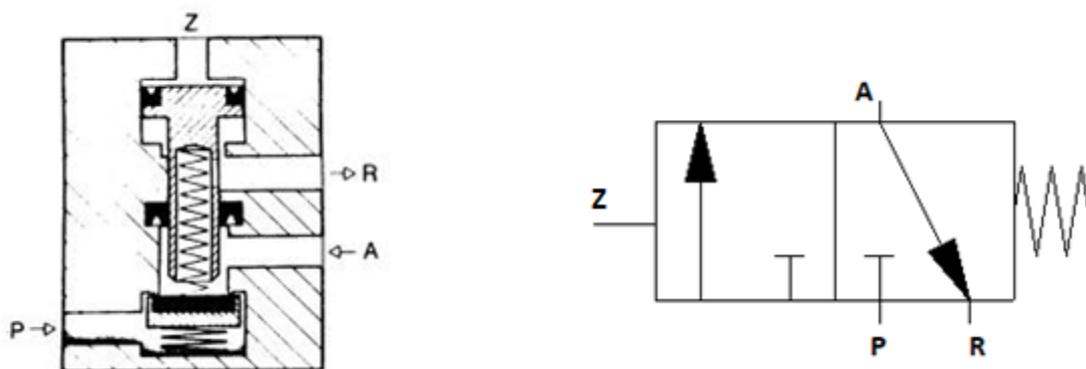


Figura 37. Válvula 3,2 de pilotaje neumático. [20]

Otro ejemplo podría ser el que se muestra en *la figura 38* donde se ha construido una válvula 5 2 biestable, a partir de una válvula corredera. Inicialmente si consideramos que es el pilotaje "Z" el que está activado, el aire circula entre "B" y "S" y entre "P" y "A". En el momento que se genere presión en "Y" y se permita la salida de aire de la cámara de "Z", deslizará la corredera cambiando los flujos de aire, pasando a circular aire entre "A" y "R" y entre "P" y "B", quedando el orificio "S" aislado.

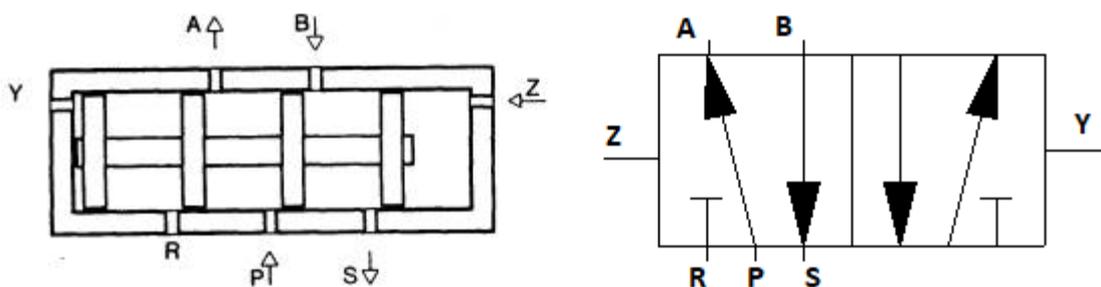


Figura 38. Válvula 5,2 de pilotaje neumático. [20]

3. Electroválvulas, la activación de la válvula funciona a partir de una señal eléctrica inicial y terminar generando una señal neumática. El método que se emplea no tiene por qué ser siempre el mismo, pudiendo ser con control directo, o con control indirecto o servopilotado.

Las válvulas de control directo son más simples y compactas, ya que es la misma bobina que recibe la señal eléctrica, la que controla directamente la posición de la válvula. El mecanismo empleado puede ser de asiento o de corredera indistintamente.

En cambio, las válvulas de mando indirecto o servopilotadas, no es la fuerza generada por la bobina la que controla la válvula final, sino una señal neumática que sí que ha sido generada previamente por una válvula que utiliza la bobina. Esto tiene como consecuencia que la señal eléctrica no tenga que llegar, hasta el lugar donde está situada la válvula sobre la que se desea establecer el control.

4.6 CONTROL Y REGULACIÓN

Se trata de elementos neumáticos no tan importantes como los anteriores, ya que pueden no ser necesarios en circuitos de mucha simpleza, pero a medida que se requiere una mayor complejidad en el diseño neumático, se vuelven también indispensables ya que nos facultan de capacidades muy útiles como la regulación del caudal que se permite pasar por una tubería, o hacerla no retornable obligando a la circulación en un solo sentido. Dividiremos este apartado en elementos de control y elementos de regulación, y explicaremos la función de cada uno de ellos.

4.6.1 Elementos de control

A través de estos elementos puedes controlar el flujo de aire con diversas capacidades complementarias entre sí, de entre todos los elementos que se podrían considerar de control destacaremos cuatro válvulas, válvula antirretorno, válvula selectoras, válvula de simultaneidad y válvulas de escape rápido.

1. Válvula antirretorno, como su propio nombre indica su cualidad es que no permite el retorno, tratándose de neumática, del aire. Se trata básicamente de una válvula de asiento, el cual tapa el orificio de paso del aire debido a la acción de un muelle sobre el asiento. Cuando el aire a presión va en sentido opuesto al de la fuerza del resorte, mueve el asiento permitiendo el flujo del aire. De manera contraria si el sentido de flujo es el mismo que el de la fuerza del muelle, la sección de paso permanece cerrada provocando que la tubería sea de un único sentido.

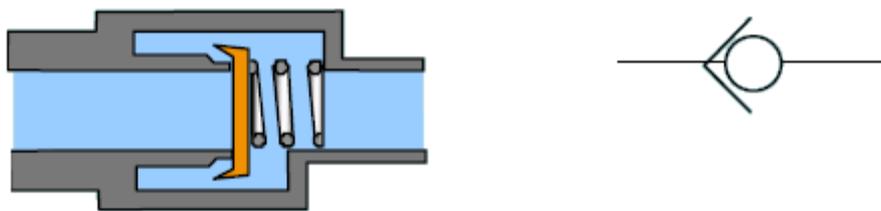


Figura 39. Esquema válvula antirretorno. [12]

2. Válvula selectora, son válvulas cuya función es permitir que dos tuberías que conducen aire de manera no simultánea, puedan converger y suministrar aire a una tercera en un mismo punto, sin que haya pérdidas de aire. De esta manera podemos hacer que circule aire por una tubería que provenga de dos fuentes distintas. Su funcionamiento se basa en una bola y dos asientos, cuando el aire comprimido viene por una de las tuberías, penetra por el asiento que corresponde, desplazando la bola y tapando el asiento opuesto. El efecto que se produce es que el aire fluya como por una tubería única, haciendo prácticamente imperceptible el conducto taponado por la bola.

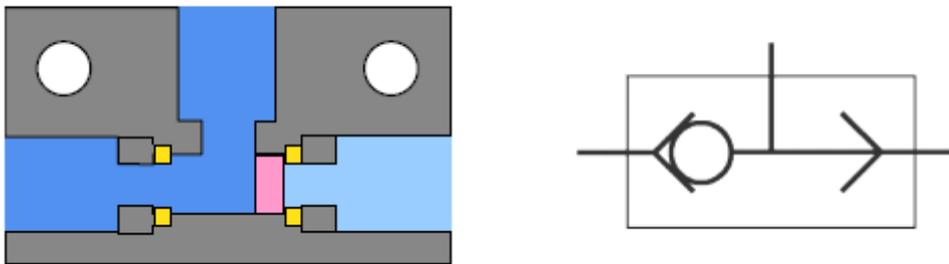


Figura 40. Esquema válvula selectora. [12]

3. Válvula de simultaneidad, al igual que la anterior válvula, están diseñadas para una situación de convergencia de dos tuberías, en la que transmiten aire a una tercera, pero en este caso se busca que se impida el paso de aire, salvo que llegue el aire simultáneamente por los dos orificios de llegada. Esta válvula está constituida también por dos asientos, pero en este caso en vez de una bola que funciona como tapa, habrá dos tapas planas unidas por una fina barra. Si el aire comprimido trata de fluir a través de un único asiento, desplazará las tapas planas bloqueando su asiento, e impidiendo que corra el aire. Para que pueda fluir el aire a través de la válvula de simultaneidad, tendrá que proceder de las dos fuentes de alimentación a la vez, de esta manera el aire comprimido ejercerá fuerza por ambos lados, compensándose la fuerza, y haciendo permanecer inmóvil las tapas de los asientos dejando pasar el aire.

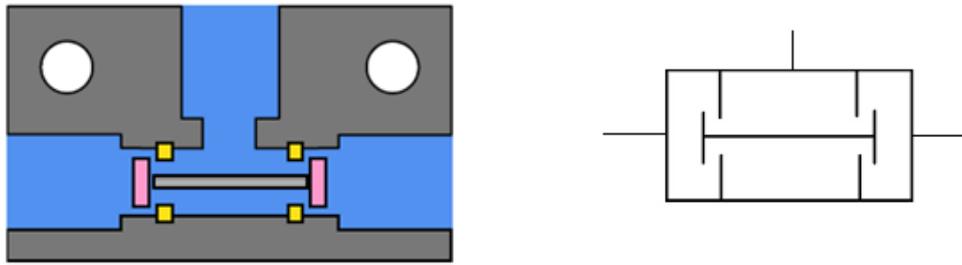


Figura 41. Esquema válvula de simultaneidad. [12]

4. Válvula de escape rápido, a través de esta válvula se busca que el aire de las cámaras de un cilindro, se evacúe de la manera más rápida posible durante las carreras del cilindro, para evitar contrapresiones y facilitar los movimientos de avance y/o retroceso del cilindro. El mecanismo de funcionamiento es similar a todos los anteriores, por medio de dos asientos y una tapa, el aire cuando va en la dirección de escape, desplaza la tapa bloqueando el flujo hacia el circuito y dejando libre la salida a la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire fluye hacia adentro del cilindro, la tapa tapona la salida a la atmósfera dejando solo fluir hacia el interior del cilindro.

En la *figura 42* se ilustra su funcionamiento durante el escape, además en este caso se le ha dotado de un silenciador para reducir el ruido generado por el aire a presión.

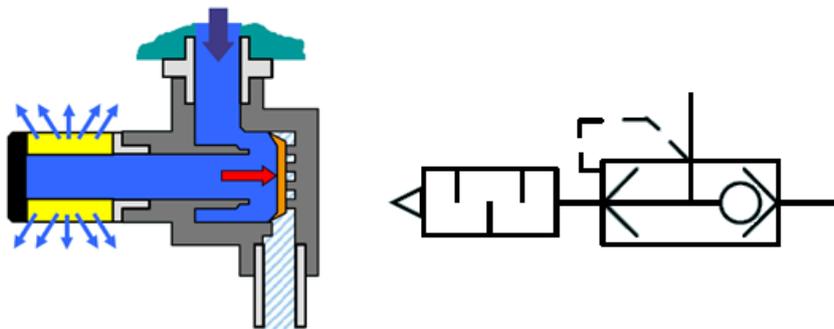


Figura 42. Esquema válvula de escape rápido. [12]

4.6.2 Elementos de regulación

A menudo la regulación de ciertos parámetros en los circuitos, como el caudal o la presión del aire, se vuelve necesario, según lo que se desee conseguir con el sistema neumático. Para esto, existen varios elementos destinados a realizar este tipo de funciones, y se destacan por no ser mecanismos excesivamente complejos. Entre los más utilizados destacamos tres:

1. Válvula de regulación de caudal, existen de dos tipos, bidireccionales y unidireccionales. Las más simples son las bidireccionales, regulan el caudal en ambas direcciones, y están compuestas simplemente de un paso el cual se puede estrangular reduciendo su sección. Se reduce a través de un elemento roscado que a medida que avanza va taponando el paso, provocando una reducción de la sección.

Las de regulación unidireccional son algo más complejas, ya que además necesitan una válvula antirretorno, situada en paralelo con el paso de regulación. En una de los sentidos la válvula antirretorno impide el paso, obligando al aire comprimido a pasar por la estrangulación. En el sentido contrario, la el aire no tienen que pasar por la estrangulación ya que atraviesa la válvula antirretorno con lo que no se puede controlar el caudal.

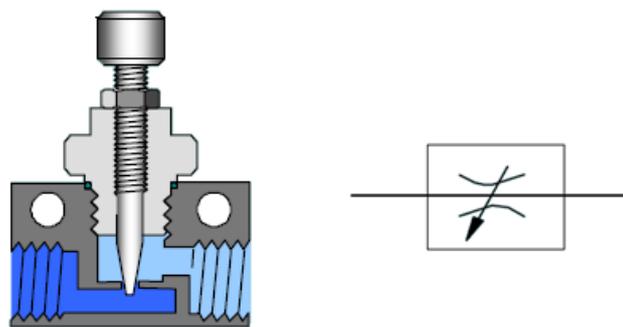


Figura 43. Esquema válvula de regulación de caudal. [12]

2. Válvula de regulación de presión, está constituida por un asiento bloqueado por la acción de la fuerza de un resorte, cuya fuerza de compresión se puede regular por medio de un elemento roscado, el cual deforma más o menos el resorte en función de la presión que se desee que ejerza en el asiento.

Cuando el aire a presión supera la presión que ejerce el muelle, entonces se abre el orificio del asiento permitiendo el paso del aire.

Su funcionamiento puede estar destinado principalmente a dos objetivos. Primero y más simple, controlar que no se exceda una presión. Para lo cual se fija en el asiento la presión máxima que se desea aguantar, y en el momento que se supere el aire sale por la válvula reduciéndose la presión. Segundo, secuenciar la acción de los actuadores en el circuito. Después de que haya realizado su trabajo el primer actuador, el compresor sigue suministrando aire al circuito aumentando la presión, tras un espacio de tiempo se llega a la presión máxima establecida, abriéndose el asiento de la válvula de regulación, y permitiendo el paso del aire al siguiente actuador.

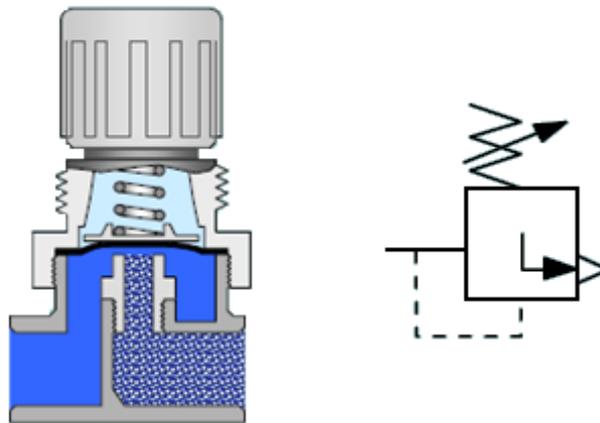


Figura 44. Esquema válvula de regulación de presión. [12]

3. Válvula de regulación del escape, su composición y funcionamiento es prácticamente igual al de un regulador de caudal bidireccional, pero en este caso con forma de racor. Aunque sea bidireccional realmente solo se suele emplear en el sentido de salida, y se trata de uno de los mejores métodos para controlar la velocidad de funcionamiento de según qué actuador. Por ejemplo son muy empleados en los cilindros neumáticos, permitiéndonos controlar la velocidad de avance y/o retroceso del pistón, únicamente regulando el caudal que permite salir de la cámara correspondiente del cilindro. A menudo se utilizan con silenciador para reducir el ruido provocado por el aire comprimido. Su símbolo de representación es igual que el del regulador de caudal.

4.7 DETECTORES

Por último, dentro de la neumática industrial, entre los casi inagotables componentes que existen, cabe destacar a los detectores, elementos cuya utilización está muy extendida gracias a la funcionalidad que ofrecen.

Existen muchos tipos de detectores en función de para los que se les requiera, ya sean neumáticos, eléctricos o magnéticos. Su uso va desde la detección de la posición de un cilindro, donde es la posición del pistón quien activa el detector enviando una señal, hasta captadores de presión, de fugas etc., donde es la misma magnitud física la que genera la señal que será enviada.

Entre todos los tipos de detectores que existen, sobresale en importancia, gracias a su simpleza y ventajas sobre el resto el captador neumático. Este no necesita de la utilización de ningún tipo de energía alternativa a la que genera el aire a presión, y con solo eso es capaz de controlar válvulas distribuidoras.

Son de pequeño tamaño, y con cuerpo un cuerpo habitualmente igual o muy similar en casi todos los casos. Su funcionamiento se basa en un accionamiento mecánico, como los ya citados. Hay que prestar especial atención a la colocación de los mismos, ya que de su colocación dependerá su correcto funcionamiento. Su cuerpo suele ser de tres vías y de dos posiciones, pero puede tener cualquier otra disposición.

Entre los detectores de posición cabe también citar a los microrruptores eléctricos, detectores magnéticos, detectores de proximidad electrónicos y células fotoeléctricas. Todos estos tipos de detectores desempeñan la misma función que los detectores neumáticos, pero necesitan la intervención de la energía eléctrica, lo que obliga a la instalación de cuadros eléctricos adicionales, incrementando notablemente la complejidad del circuito. Aun así dependiendo de la situación, puede ser necesario usar alguno de estos tipos de detectores.

5 UNIONES ROSCADAS

Las uniones roscadas son unos de los tipos de unión más importantes dentro de la industria, entre los motivos de su gran relevancia se encuentran sus características, que hacen que sean ideales para muchas uniones. Dentro de estas podemos destacar:

- Se pueden montar y desmontar sin que se deteriore la unión.
- Al estar los elementos de unión estandarizados, su coste es relativamente bajo, y un mismo elemento de unión puede valer para distintas uniones.
- Su montaje es sumamente simple.
- Se puede unir casi cualquier material independientemente de que los elementos a unir sean de igual o diferente material.
- Tiene una buena resistencia a todo tipo de cargas.

Estas características hacen que los elementos de unión roscada tengan una gran presencia en el mercado, existiendo infinidad de elementos de unión en función de su tamaño, forma, material, calidad etc., lo que hace que tengan una alta adaptabilidad a los requerimientos de la unión. Además de que el acceso a ellos es muy fácil.

Cuando se desea definir una rosca existen varios parámetros que hay que determinar, a partir de los cuales se conocerá perfectamente la rosca:

- Paso, distancia medida paralelamente al eje de la rosca, entre dos hilos sucesivos.
- Diámetro mayor o nominal, máximo diámetro de la rosca, se corresponde al medido entre las crestas.
- Diámetro menor, mínimo diámetro de la rosca, se corresponde al medido entre los valles.
- Longitud roscada, distancia en la que se ha mecanizado la rosca.
- Avance, distancia que avanza el tornillo por cada giro completo realizado.
- Número de hilos, cantidad de hilos mecanizados en la rosca, lo más conocido es de hilo único, pero también es posible encontrarse roscas múltiples.

- Dirección de rosca, sentido de giro para el cual se aprieta o afloja el tornillos, si no se indica lo contrario, el sentido horario aprieta el tornillo.
- Ángulo de rosca, ángulo formado entre los flancos de la rosca.

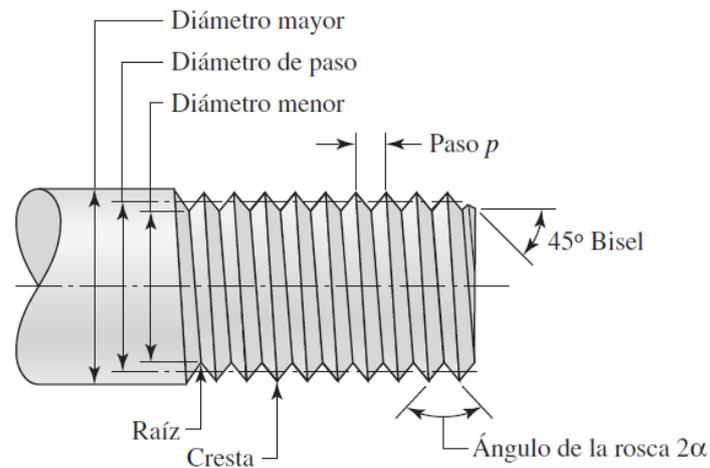


Figura 45. Rosca con los parámetros por los que viene definida. [24]

El perfil más típico de rosca es el que tiene 60° de ángulo de rosca, con cresta aplanada o redondeada. Pero existen además muchos perfiles de rosca normalizados, a continuación citaremos cinco de los más relevantes:

1. Rosca Métrica ISO, existen dos tipos:

Paso normal M30, diámetro nominal 30mm, paso 3,5mm.

Paso fino M30, diámetro nominal 30mm, paso 1,5mm.

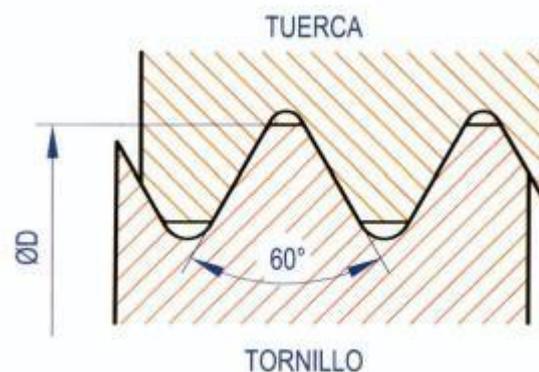


Figura 46. Perfil de rosca métrica ISO. [25]

2. Rosca Whitworth, paso normal W5''1/4, diámetro nominal W5''1/4, paso 25/8.

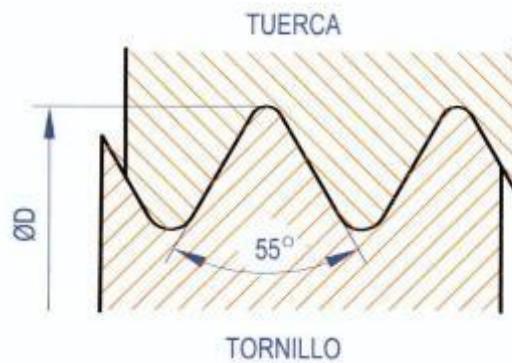


Figura 47. Perfil de rosca Whitworth. [25]

3. Rosca trapezoidal, paso normal Tr30 x 14 P7, diámetro nominal 30mm, paso 14mm, 2 hilos.

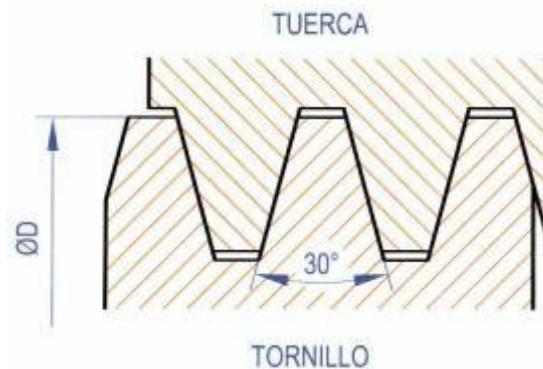


Figura 48. Perfil de rosca trapezoidal. [25]

4. Rosca redonda, paso normal Rd 16 x 3, diámetro nominal 16mm, paso 3mm.

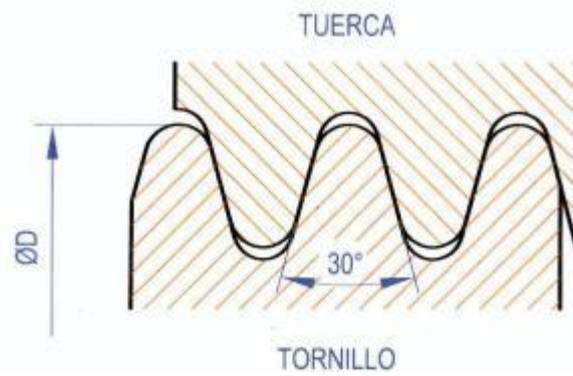


Figura 49. Perfil de rosca redonda. [25]

5. Rosca de dientes de sierra, paso normal S16 x 3, diámetro nominal 16mm, paso 3mm.

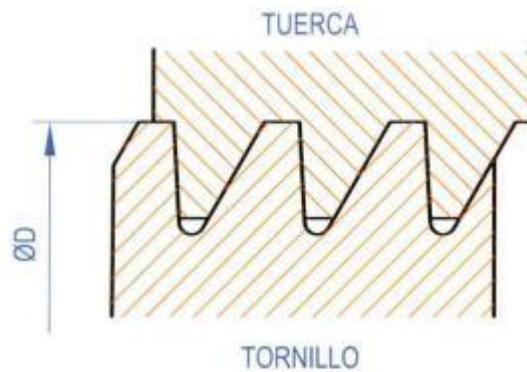


Figura 50. Perfil de rosca de dientes de sierra. [25]

6 ATORNILLADOR WEBER

El sistema que utilizaremos para el atornillado será un atornillador estacionario Weber modelo PEB, con accionamiento neumático. El motivo principal es la capacidad de este de atornillar series largas, ya que cuenta con un mecanismo de alimentación automático que permite su funcionamiento, durante periodos prolongados de tiempo sin la necesidad de una persona.

Este atornillador está compuesto por cuatro elementos que se encargan de que el atornillado sea correcto, desde la alimentación hasta la inserción de los tornillos. Un controlador de secuencia, un controlador de atornillado, alimentación del atornillador y husillo.

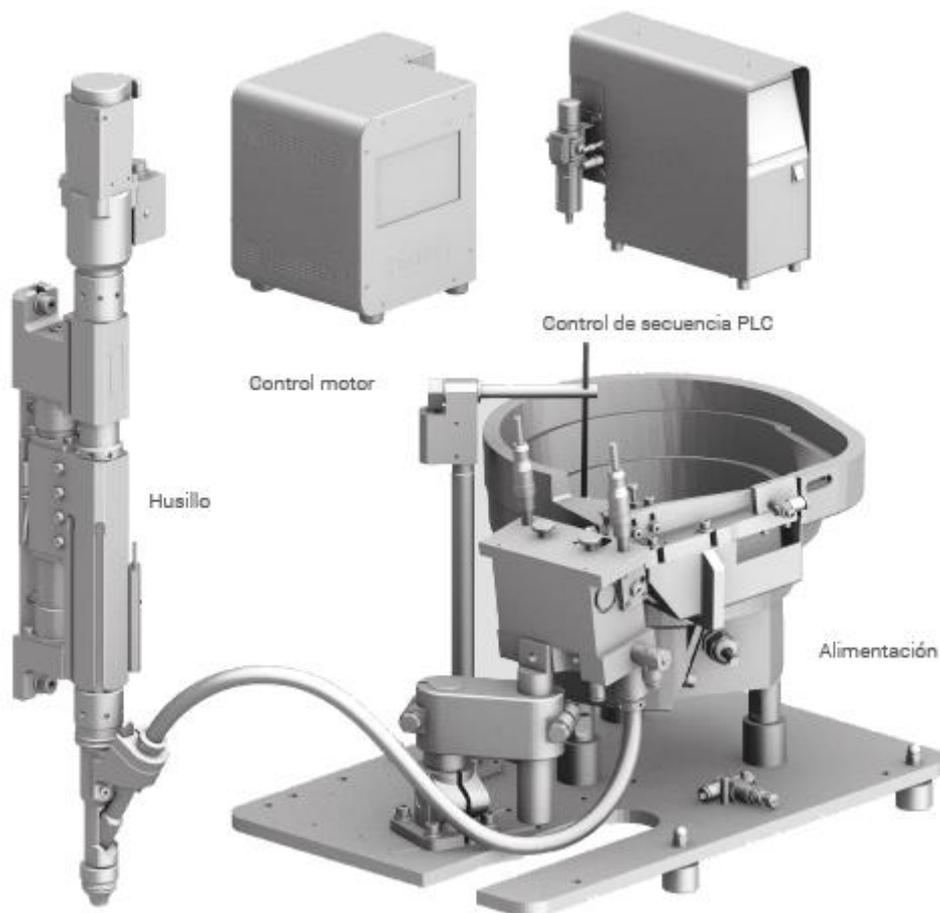


Figura 51. Componentes del atornillador. [26]

Control del atornillado, emplearemos el modelo C5S, se trata del controlador menos complejo. Es válido para operaciones de atornillado simples, cuenta con servoaccionamiento ec, el cual define y regula el giro del husillo durante la inserción del tornillo. Y con un interfaz digital que permite monitorizar la operación.

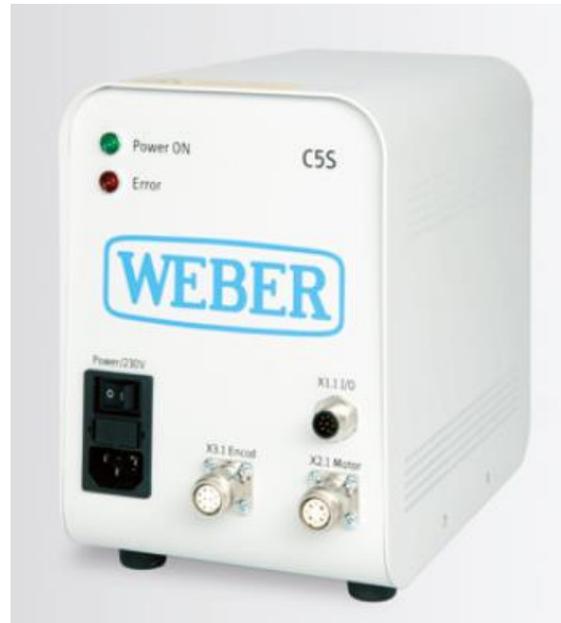


Figura 52. Controlador C5S. [26]

Control de la secuencia, también emplearemos el controlador de menos complejidad, C10, su función es controlar la secuencia del mecanismo, desde la alimentación de los elementos de unión, hasta la carrera de avance en la operación de atornillado.



Figura 53. Controlador de secuencia C10. [26]

Alimentación, es uno de los componentes fundamentales en la elección de este atornillador neumático, debido al grado de automatización de este proceso. Su funcionamiento se basa en un recipiente con forma de cuba, que contiene un plano inclinado por toda la periferia, que conecta la base del recipiente con la parte superior. Sobre ese plano pasa una cinta transportadora que hace que los elementos de unión vayan ascendiendo, y por medio de elementos situados a lo largo del plano inclinado, se vayan colocando de la manera deseada a su vez. Cuando llegan a la parte superior entran una tubería con una forma específica en función del contorno del elemento, y cuando llega su momento son enviados a través de dicha tubería hasta el husillo.

El alimentador empleado será el alimentado circular ZEB, debido a que está fabricado de materiales resistentes al desgaste, que facilitan un uso del sistema durante un periodo largo de tiempo, sin la intervención de un operario.



Figura 54. Alimentador circular ZEB. [26]

Husillo, es el elemento encargado de realizar el atornillado, en el mercado existen infinidad de variedades. En concreto el mismo proveedor Weber, ofrece una amplia variedad en función de la forma, de la alimentación, de la fuerza deseada, de la movilidad etc. En mi caso voy a utilizar el husillo PEB, porque cumple con todos los requerimientos que se buscan, alimentación automática, que sea estacionario y que no tenga la carrera de aproximación integrada.



Figura 55. Husillo modelo PEB. [26]

7 CONTROL DEL MECANISMO

7.1 INTRODUCCIÓN A LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES

El control del mecanismo se realizará a través de un controlador programable. Este tipo de elementos, se han extendido en la industria moderna, debido a la capacidad de automatización que ofrecen. Generalmente se suelen utilizar los llamados PLC (Programmable Logic Controller, controlador lógico programable en español), dispositivos electrónicos con los que se puede controlar procesos y máquinas de lo más variadas. Ofrecen muchas ventajas respecto a otros dispositivos electrónicos, entre las que se destacan dos, lo resistentes que son, permitiendo ser utilizados en ambientes muy desfavorables, y la mayor cantidad de entradas y salidas que tienen respecto a casi cualquier computador. Estas ventajas se traducen en una notable reducción del coste de mantenimiento, además del aumento de la durabilidad de las máquinas.

Dentro de la industria del automóvil son muchas las aplicaciones que tienen, algunos de los ejemplos donde podemos encontrar este tipo de dispositivos son: en control de líneas de montaje para soldaduras, ensamblaje, cabinas de pintura etc., o en el control de máquinas como taladradoras, tornos o fresadoras.

En el caso que nos ocupa en vez de un PLC utilizaremos un Arduino, que se trata de un dispositivo electrónico similar, pero algo más simple que el propio PLC. Los motivos de la utilización de un Arduino como emulador del PLC son varios, entre los cuales se encuentra su bajo coste, su fácil utilización, lo que me permite sin haber estado en contacto con él previamente poder aprender a utilizarlo y generar un programa, es una plataforma abierta, lo que abre la posibilidad a cualquier programador a modificar el programa buscando mejoras en el mismo, y la gran variedad de tipos que existen, permitiéndome la elección de un dispositivo que encaje correctamente con el proyecto.

Por otro lado hay que resaltar que Arduino no ha sido creado para una utilización industrial, sino para un ámbito didáctico de programación, por lo que aunque esto genere algunas ventajas, y nos sirva para crear un prototipo del atornillador

automatizado, se debe dejar claro que a la hora de exportar el proyecto a la industria se debería hacer utilizando PLC en vez de Arduino.

7.2 TIPOS DE ARDUINO

Como se ha dicho previamente la cantidad de tipos de Arduino que existe es numerosa, y está en continuo crecimiento gracias a la demanda de este tipo de dispositivos en el mercado. A continuación citaremos estos modelos, resaltando algunas de sus características:

Modelo	Características
Arduino UNO	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 6</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB (ATmega328)</p> <p>EEPROM: 1 KB (ATmega328)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>
Arduino Leonardo	<p>Microcontrolador: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 20</p> <p>Canales PWM: 7</p> <p>Pines de entradas análogas: 12</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB (ATmega32u4)</p> <p>EEPROM: 1 KB (ATmega32u4)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>

<p>Arduino Due</p>	<p>Microcontrolador: AT91SAM3X8E</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 3.3 V</p> <p>Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 12 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 12</p> <p>Corriente DC total en todos los pines I/O: 130 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 5 V: 800 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 800 mA</p> <p>Memoria Flash: 512 KB disponibles para las aplicaciones de usuario.</p> <p>SRAM: 96 KB (dos bancos: 64KB Y 32 KB)</p> <p>Velocidad de reloj: 84 MHz</p>
<p>Arduino Yún</p>	<p>Microcontrolador AVR Arduino: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 20</p> <p>Canales PWM: 7</p> <p>Pines de entradas análogas: 12</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader)</p> <p>SRAM: 2.5 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p> <p>Procesador Linux: Atheros AR9331</p> <p>Arquitectura: MIPS @400MHz</p> <p>Ethernet: IEEE 802.3 10/100Mbit/s</p> <p>WiFi: IEEE 802.11b/g/n</p> <p>USB Tipo A: 2.0</p> <p>Lector de tarjeta: sólo Micro-SD</p> <p>RAM: 64 MB DDR2</p> <p>Memoria Flash:16 MB</p>

Arduino Robot	<p>Microcontrolador: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 5</p> <p>Canales PWM: 6</p> <p>Canales de entradas análogas: 4 (de los pines digitales I/O)</p> <p>Canales (multiplexados) de entradas análogas: 8</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB (ATmega32u4)</p> <p>EEPROM (interno): 1 KB (ATmega32u4)</p> <p>EEPROM (externo): 512 KB (I2C)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p> <p>Teclado: 5 teclas</p> <p>Perilla: Potenciómetro conectado a un pin análogo</p> <p>LCD a color: Comunicación SPI</p> <p>Lector de tarjetas SD: Para tarjetas formateadas FAT16</p> <p>Altavoz: 8 Ohms</p> <p>Compás digital: Proporciona la desviación desde el norte geográfico en grados</p> <p>Áreas de prototipado: 4</p>
Arduino Esplora	<p>Microcontrolador: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2.5 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p> <p>Incorpora: cuatro botones, joystick, potenciómetro lineal, micrófono, fotorresistor, sensor de temperatura, acelerómetro de 3 ejes, buzzer, led RGB, y conector para LCD.</p>
Arduino Mega ADK	<p>Microcontrolador: ATmega2560</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 16</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 8 KB</p> <p>EEPROM: 4 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>

Arduino Ethernet	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 4 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 6</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB (ATmega328)</p> <p>EEPROM: 1 KB (ATmega328)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p> <p>Controlador embebido Ethernet W5100 TCP/IP</p> <p>Tarjeta MicroSD, con adaptadores activos de voltaje</p>
Arduino Mega 2560	<p>Microcontrolador: ATmega2560</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 16</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 8 KB (ATmega328)</p> <p>EEPROM: 4 KB (ATmega328)</p> <p>Velocidad del reloj: 16 MHz</p>
Arduino Mini	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 8</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>

Arduino Nano	<p>Microcontrolador: ATmega168</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 8</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 1 KB</p> <p>EEPROM: 512 bytes</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>
Arduino Pro Mini	<p>Microcontrolador: ATmega168</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 3.3 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 8</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 1 KB</p> <p>EEPROM: 512 bytes</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>
Arduino Pro	<p>Microcontrolador: ATmega168</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 3.3 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 6</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 1 KB</p> <p>EEPROM: 512 bytes</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>
Arduino Micro	<p>Microcontrolador: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 20</p> <p style="padding-left: 20px;">Canales PWM: 7</p> <p>Pines de entradas análogas: 12</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2.5 KB (ATmega32u4)</p> <p>EEPROM: 1 KB (ATmega32u4)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p>

Arduino Fio	<p>Microcontrolador: ATmega328P</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 3.3 V</p> <p>Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 8</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>
LilyPad Arduino USB	<p>Microcontrolador: ATmega32u4</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 3.3 V</p> <p>Pines I/O digitales: 9</p> <p>Canales PWM: 4</p> <p>Pines de entradas análogas: 4</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2.5 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>
LilyPad Arduino Simple	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 9 (de los cuales 5 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 4</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>
LilyPad Arduino SimpleS nap	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V</p> <p>Pines I/O digitales: 9 (de los cuales 5 proveen salida PWM)</p> <p>Pines de entradas análogas: 4</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB</p> <p>EEPROM: 1 KB</p> <p>Velocidad de reloj: 8 MHz</p>

LilyPad Arduino	Microcontrolador: ATmega168V
	Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V
	Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
	Pines de entradas analógicas: 6
	Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
	Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
	SRAM: 1 KB
	EEPROM: 512 bytes
Velocidad de reloj: 8 MHz	

Figura 56. Tabla con tipos de Arduinos existentes según sus capacidades y componentes. [28]

7.3 ARDUINO EN MI PROYECTO

De entre todas las opciones que existen, y de acuerdo con las necesidades y requerimientos de nuestro sistema, el tipo de Arduino utilizado es Arduino UNO. Dispone de 14 pines de entrada y salida, que es suficiente para nuestros requerimientos. A continuación en la figura 57, mostramos la configuración de su pinout.

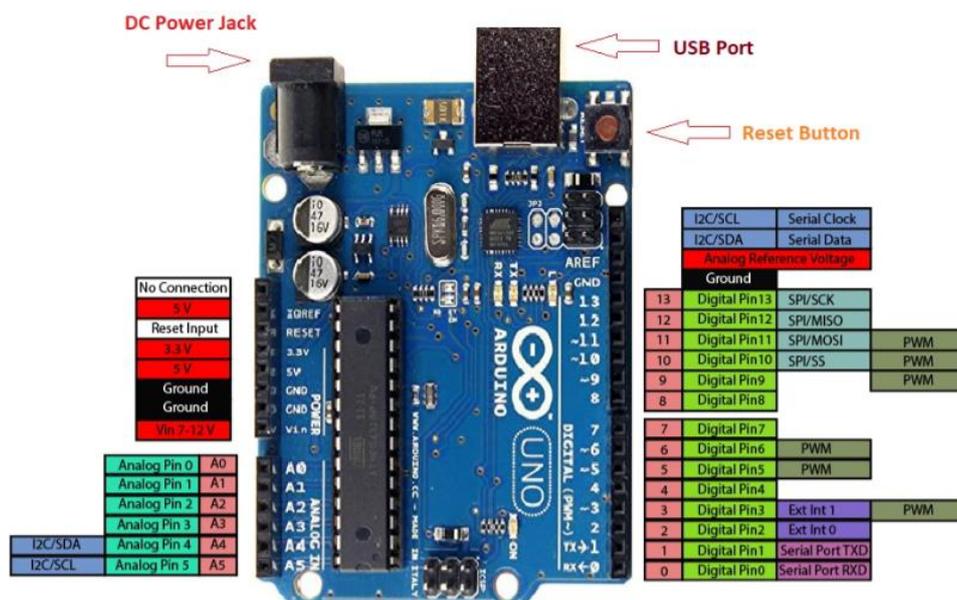


Figura 57. Pinout del Arduino UNO. [32]

Respecto a la alimentación se requiere que sea entre 7-12V para lo cual emplearemos una resistencia a su entrada para disminuir la tensión que inicialmente es de 24V. En las salidas utilizaremos un convertidor dc-dc NME0524SC, que amplía desde entre 4,5-5,5V hasta 24V.



Figura 58. Convertidor dc-dc NME0524SC. [33]

7.3.1 Programa

Comienzo creando los objetos VL53L0X, a los cuales les llamo laser y laser2, (previamente he descargado la librería de estos objetos de *Pololu* y la he añadido al fichero, existen más bibliotecas para este tipo de objetos que también serían válidas). Además defino los parámetros que utilizaremos.

Programa_control_del_mecanismo Arduino 1.8.14 Hourly Build 2021/01/29 11:33

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

```
Programa_control_del_mecanismo $
#include <VL53L0X.h>
#include <Wire.h>

//creamos los objetos laser y laser2 VL53L0X
VL53L0X laser;
VL53L0X laser2;

//Declaramos las variables y contantes que vamos a utilizar
int d;
int Xa;

#define x1 2 //Si d es mayor que 540mm
#define x2 3 //Si d es igual que 540mm
#define x3 4 //Si d es menor que 540mm
#define AgujeroV 6 //Si Xa está entre 45 y 55
#define AgujeroF 7 //Si Xa no está entre 45 y 55
```

Figura 59. Creación de los objetos VL53L0X.

A continuación definimos la configuración del programa.

Inicializamos los laser, y definimos los pines del Arduino que vamos a utilizar, diferenciando entre entradas y salidas.

```
void setup() {
  //Escribimos nuestro codigo de configuración del programa:
  //Primero inicializamos los laser
  laser.init(1);
  laser.setTimeout(750); //definimos la lectura del laser válida hasta los 750ms
  laser.startContinuous();

  laser2.init(5);
  laser2.setTimeout(750); //definimos la lectura del laser válida hasta los 750ms
  laser2.startContinuous();

  //Definimos que pins son entradas y cuales salidas

  pinMode(1, INPUT); //Lectura del valor del laser
  pinMode(x1, OUTPUT); //Salida si el valor es mayor que 540mm
  pinMode(x2, OUTPUT); //Salida si el valor es igual que 540mm
  pinMode(x3, OUTPUT); //Salida si el valor es menor que 540mm

  pinMode(5, INPUT); //Lectura del valor del laser2
  pinMode(AgujeroV, OUTPUT); //Si el valor está entre 45 y 55
  pinMode(AgujeroF, OUTPUT); //Si el valor no está entre 45 y 55
}
```

Figura 60. Setup del programa.

Por último, establecemos el modo de actuación del programa.

El cual está compuesto por dos bucles *if else*, un primer bucle que interpreta el alternador que hay que atornillar, según si la altura del alternador obstaculice la primera medida o no. Además para asegurarnos de que no existe un error en la medida, como podría ser por que se mueva el láser, definimos el valor máximo la distancia láser-pared, por encima de ese valor se considera errónea la medida y se detiene el sistema.

Y otro segundo bucle que define si hay agujero, leyendo si la distancia medida está entre los valores 45mm y 55mm, lo cual significa que la medida llega hasta el interior del agujero, determinando que hay agujero donde atornillar. Por lo contrario, si el valor es superior, significará que la medida es hasta la cinta lo que quiere decir que no está el alternador. Otro caso de error podría ser que la medida esté realizada hasta la carcasa superior del alternador, por lo que no hay agujero

o no está colocado donde debería. Defino estos valores porque el sensor laser está colocado pegado al husillo enfocando al agujero, por lo que no puede enfocar perpendicularmente, sino, oblicuamente. Esto hace que la medida sea hasta la pared del agujero y no hasta el final. Así que con un máximo de 55mm es suficiente para asegurar que es agujero donde llega el láser. Esta misma lógica aplicamos con el valor mínimo, el cual lo establecemos para dejar un cierto margen de tolerancia válido, y sabiendo que hay 10mm de distancia entre agujero y extremo del husillo, considero que la distancia mínima de 45mm es suficiente para asegurar que no hay error.

```
void loop() {

    // Definimos el código de actuación del programa:
    // Determinamos el valor de "d"
    d=laser.readRangeContinuousMillimeters();
    laser.timeoutOccurred(); //Comprobamos que la medida ha sido tomada en el tiempo correcto

    if (d > 545) {
        digitalWrite(x1, HIGH);// Salida high por el pin 2

        digitalWrite(x2, LOW);// Salida low por el pin 3

        digitalWrite(x2, LOW);// Salida low por el pin 4
    }
    else if (545 > d > 535) {
        digitalWrite(x1, LOW);// Salida low por el pin 2

        digitalWrite(x2, HIGH);// Salida high por el pin 3

        digitalWrite(x2, LOW);// Salida low por el pin 4
    }
    else {
        digitalWrite(x1, LOW);// Salida low por el pin 2

        digitalWrite(x2, LOW);// Salida low por el pin 3

        digitalWrite(x2, HIGH);// Salida high por el pin 4
    }
    //Determinamos el valor de Xa
    Xa=laser2.readRangeContinuousMillimeters();
    laser.timeoutOccurred(); //Comprobamos que la medida ha sido tomada en el tiempo correcto

    if (55<Xa<45){
        digitalWrite(AgujeroV, HIGH);// Salida high por el pin 6

        digitalWrite(AgujeroF, LOW);// Salida low por el pin 7
    }
    else {
        digitalWrite(AgujeroV, LOW);// Salida low por el pin 6

        digitalWrite(AgujeroF, HIGH);// Salida high por el pin 7
    }
}
}
```

Figura 61. Loop del programa.

8 INVENTOR

8.1 INTRODUCCIÓN AL ENTORNO DE INVENTOR

Autodesk inventor es un programa de diseño 3D avanzado, con capacidad para generación de modelos 3D, ensamblaje de piezas, creación de planos, e incluso simulación de movimientos.

El modelado 3D se basa en la generación de bocetos sobre planos previamente definidos, con los cuales posteriormente se trabajará pasando de las 2 dimensiones al 3D, ya sea con extrusiones, revoluciones, barridos, bobinados etc. El número de bocetos es ilimitado, permitiendo modificar la pieza hasta la obtención del modelo deseado, pero además también se puede trabajar sobre la pieza con operaciones sin necesidad de boceto, como chaflanados, roscados, vaciados, taladrados etc. que permiten acelerar la creación del diseño cuando se necesita utilizar geometrías determinadas, que a veces pueden tener una dificultad elevada, en el caso de que se tenga que crear a partir de un boceto.

En el ensamblaje de piezas, el programa nos permite situar piezas en posiciones relativas de unas respecto a otras, restringidas por ejemplo por el paralelismo entre dos superficies determinadas o el ángulo entre dos planos. Esto nos permite realizar desde uniones completas, hasta uniones en las que tienen uno o varios grados de libertad. Los ensamblajes son empleados para pasar de elementos unitarios a conjuntos, de esta manera se pueden crear mecanismos de tanta complejidad y elementos contenidos como desee el diseñador.

La generación de planos como en cualquier programa de diseño 3D es una parte fundamental, el conocimiento de su uso es obligado para la correcta descripción de las piezas y ensamblajes utilizados. Aquí podremos realizar cualquier proyección deseada, guardando previamente el punto de enfoque de la misma, además de cortes, vistas detalle, anotaciones de tolerancias y un amplio abanico de posibilidades necesarias para definición del modelo.

La utilización de vistas explosionadas, o videos de explosión, donde se puede mostrar el orden de montaje de un ensamblaje, puede ser también en ocasiones una herramienta útil. Por último, cabe mencionar las posibilidades que Inventor

ofrece de cálculo de estructuras, simulación de movimientos, generación de soldaduras o utilización de una biblioteca considerablemente amplia en la que se dispone de elementos como tornillos, tuercas, rodamientos, correas de transmisión, engranajes, materiales etc. que nos permite que los diseños sean de lo más completo.

8.2 DISEÑO MECÁNICO

Para el diseño de la instalación de atornillado automatizada se ha creado cada uno de los elementos utilizados, empleando piezas *Normal.ipt* y *Chapa.ipt*. La unidad de medida empleada en el diseño ha sido el milímetro, la cual viene por defecto en el programa y la he considerado adecuada para el diseño de los componentes de la instalación.

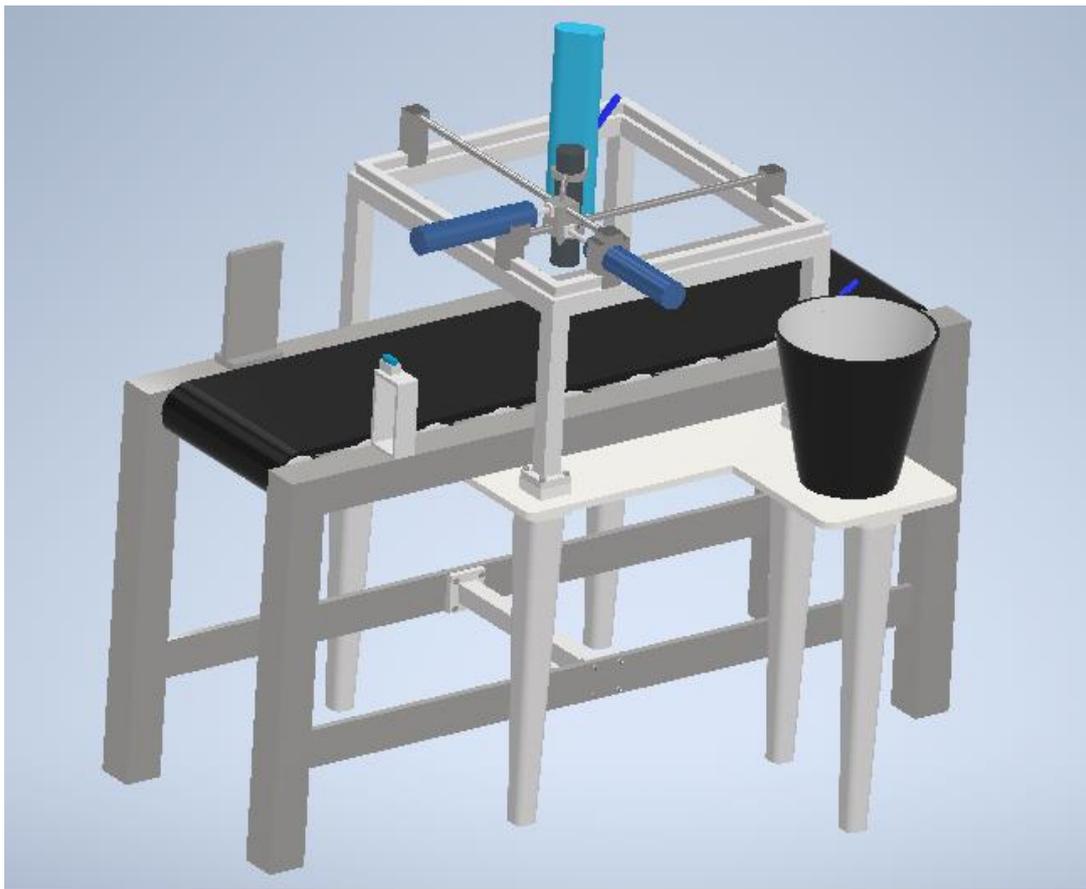


Figura 62. Sistema de atornillado automatizado completo.

El conjunto de todos los elementos se ha ensamblado entorno a la tabla de la mesa, la cual hace de soporte de los carriles, por los que se mueven los carros

donde están situados los cilindros neumáticos. Además, se han realizado e insertado ensamblajes adicionales para la simulación de los cilindros neumáticos.

Todo el sistema se puede dividir en dos subconjuntos principales, el primero y más simple, el generado en torno a la cinta transportadora, destinada a conducir los alternadores para que sean atornillados uno tras otros. Este sistema está formado por dos soportes idénticos, que hacen la función de patas y de soporte de los 10 ejes que giran haciendo la función de poleas con la cinta transportadora. Los soportes a su vez están unidos por un elemento de unión que da la suficiente rigidez al conjunto. Además de estos elementos, he utilizado 20 rodamientos de JB/T 10238 tipo DAC de diámetro 60mm, para asegurar el correcto giro de los ejes, 8 pernos tipo ISO 4014 de 10mm de diámetro y 55mm de longitud, y 8 tuercas tipo ISO 4032 diámetro 10mm, para conseguir la unión entre los soportes y el elemento de unión, todo ello proveniente de la biblioteca de inventor.



Figura 63. Subconjunto cinta transportadora.

En este mismo subconjunto se ensamblará también el conjunto encargado de definir el tipo de alternador que atornillar, diferenciando entre dos tipos, uno más grande y otro más pequeño. Este sistema está conformado por un sensor laser medidor de distancias, un soporte y una pared límite, y su funcionamiento consiste

en la medición del sensor laser, el cual está situado sobre el soporte a una altura mayor que la del alternador pequeño, pero menor a la del grande. A partir de aquí la pared límite establece la distancia máxima que puede medir el sensor, si está se da lugar, se deberá a que el alternador no tiene la altura suficiente para interferir en la medida, por lo que se tratará del alternador pequeño. Si la distancia es menor a la límite, entonces la medida que se habrá tomado es hasta el alternador y no la pared, por lo que el alternador será el grande. El valor de la medida se interpretará para definir donde se deben de hacer los atornillados.

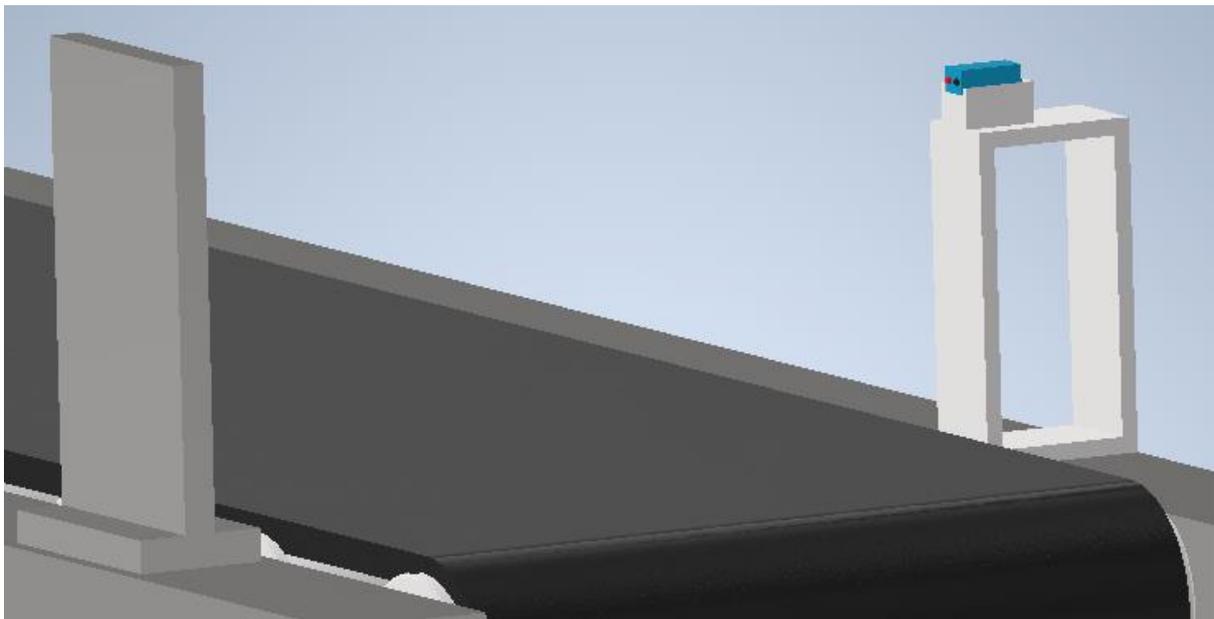


Figura 64. Sistema de medida de altura.

El segundo subconjunto principal es el formado por la estructura de los carriles de movimiento, vagones, cilindros y atornillador. La estructura contiene la tabla de la mesa soporte, 5 patas de la tabla, tacos de unión mesa patas y carriles de movimiento, sobre los cuales se moverán los vagones. Además de esto se han utilizado también 16 tornillos de conexión ciega, tipo ISO 4014 de diámetro 10mm y 45mm de profundidad, provenientes de la biblioteca de Inventor, que se encargan fijar los carriles a la tabla de la mesa.

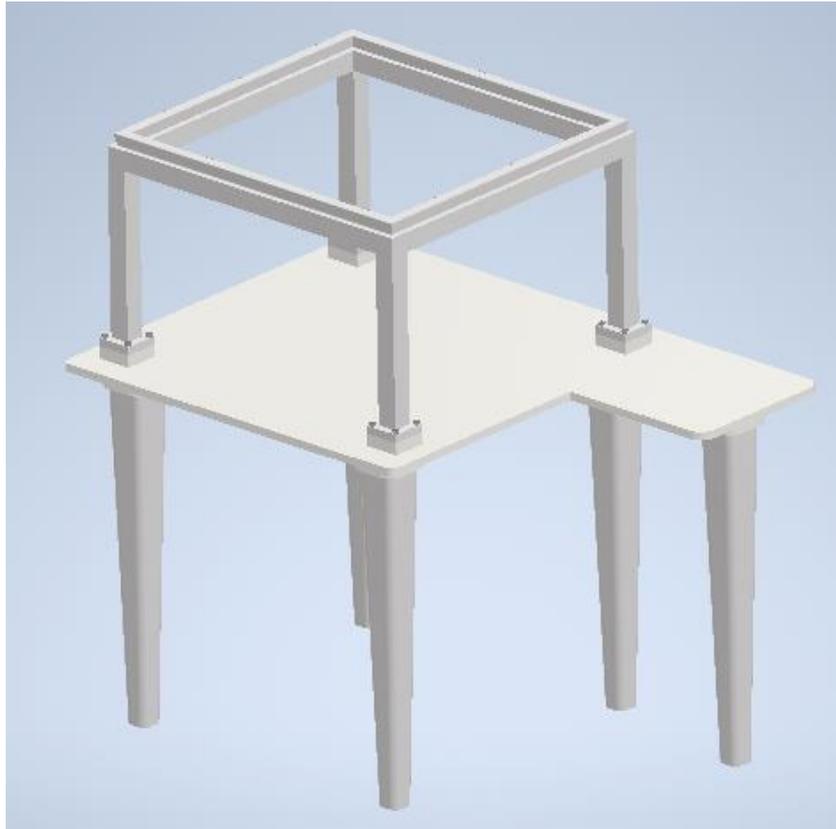


Figura 65. Estructura carriles de movimiento.

Sobre esta estructura va montado el sistema de movimiento del atornillador, que está compuesto por 4 vagones situados sobre los carriles, 2 guías cilíndricas que unen los vagones enfrentados, 1 elemento de unión de las guías.

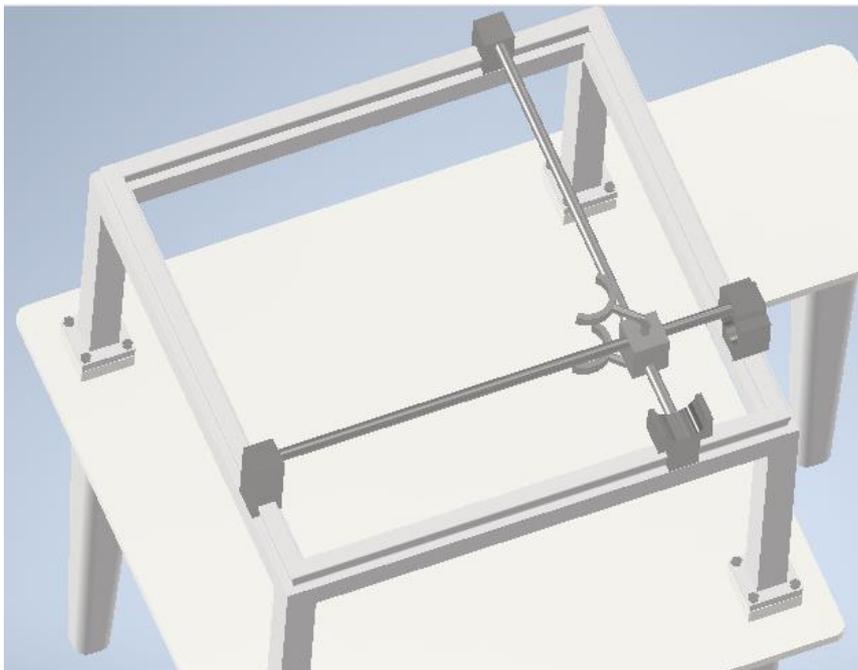


Figura 66. Sistema de movimiento del atornillador.

Sobre el sistema de movimiento están colocados los cilindros neumáticos, 2 cilindros horizontales y 1 vertical sin vástago. Los verticales están sobre vagones, y el vertical sobre el elemento de unión.

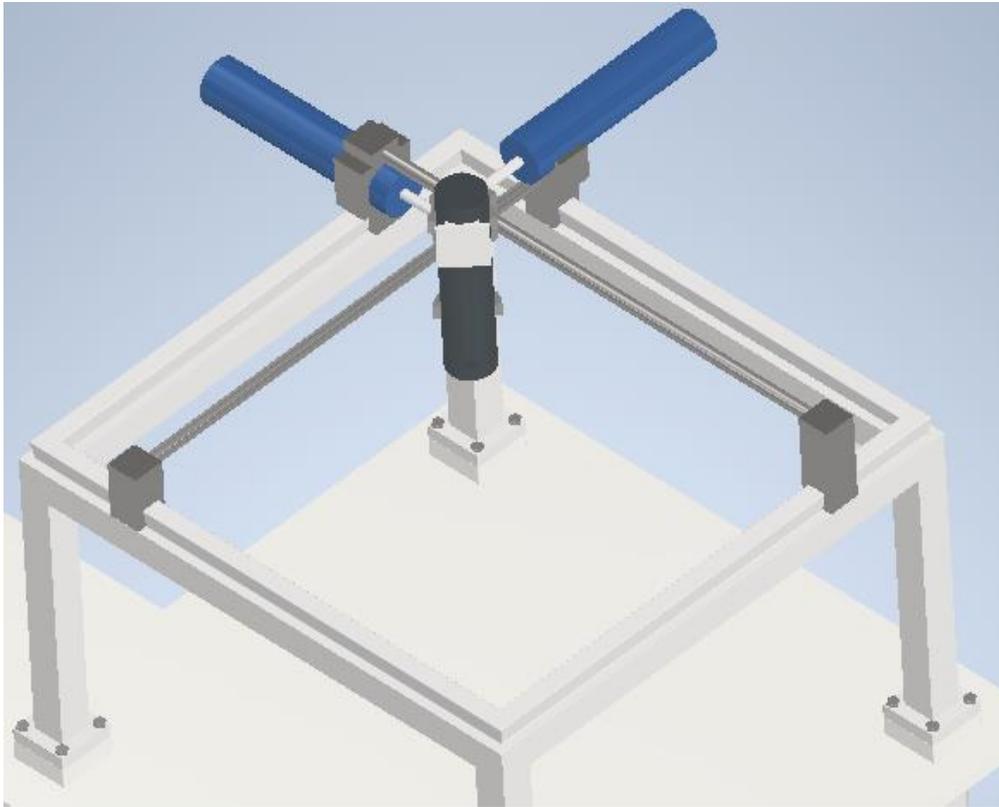


Figura 67. Sistema de movimiento con cilindros neumáticos.

El funcionamiento sobre el plano horizontal consiste en el movimiento del elemento de unión de las guías cilíndricas.

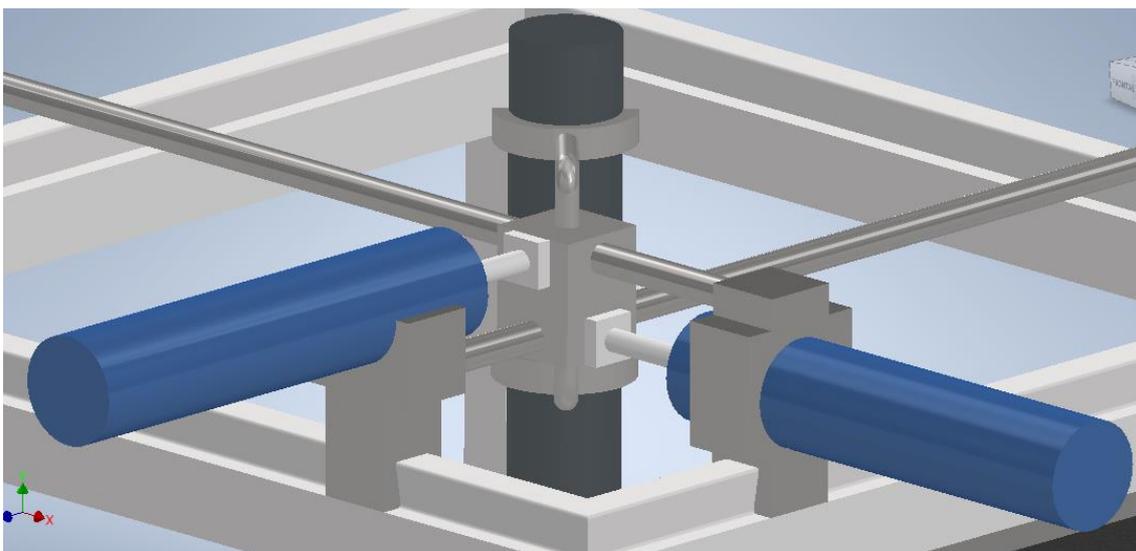


Figura 68. Vista detalle elemento de unión, en el sistema de movimiento.

El elemento de unión se desplaza en los ejes X e Y, cuando sale el vástago del cilindro 1 desplaza el elemento de unión, haciendo que a su vez se desplace la guía cilíndrica transversal y los vagones que están unidos a ella.

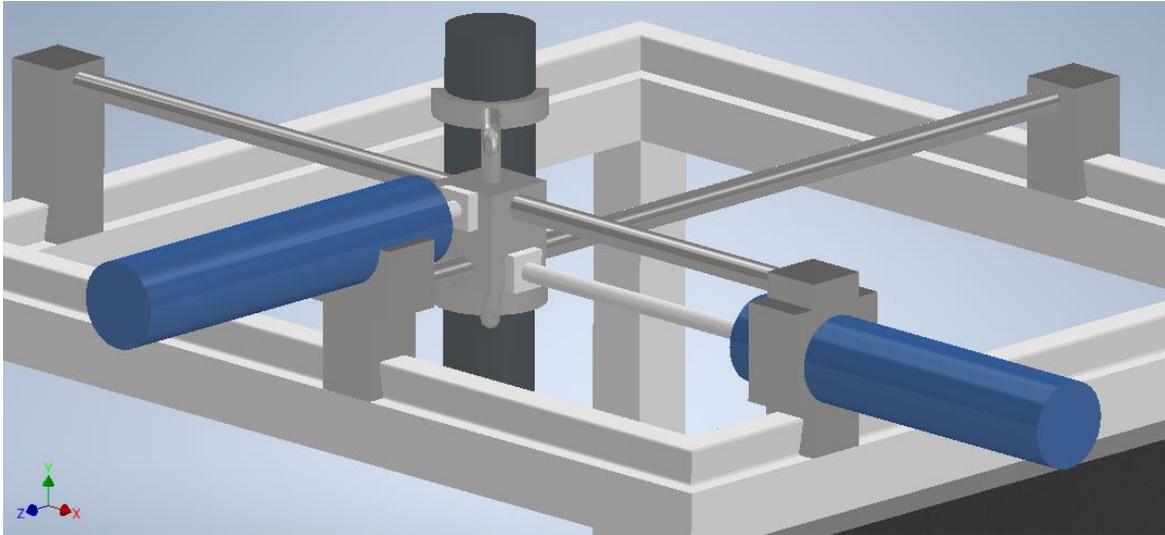


Figura 69. Salida del vástago del cilindro 1.

En la dirección transversal funciona de igual manera, cuando sale el vástago del cilindro 2 desplaza el elemento de unión, haciendo que se mueva la guía transversal simultáneamente, y con ella los vagones unidos con los que está unida.

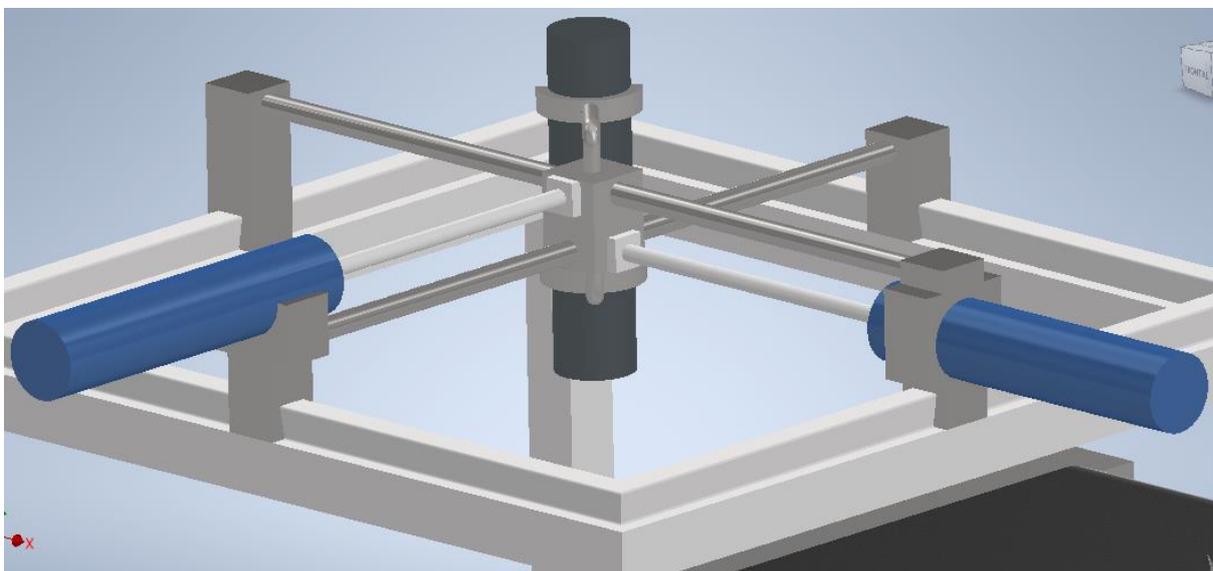


Figura 70. Salida del vástago del cilindro 2.

Por otro lado el movimiento del cilindro neumático vertical es mucho mas simple, este cilindro tiene una plataforma donde irá situado el husillo del atornillador, la

cual se mueve de arriba abajo para aproximar y alejar el husillo al agujero de atornillado.

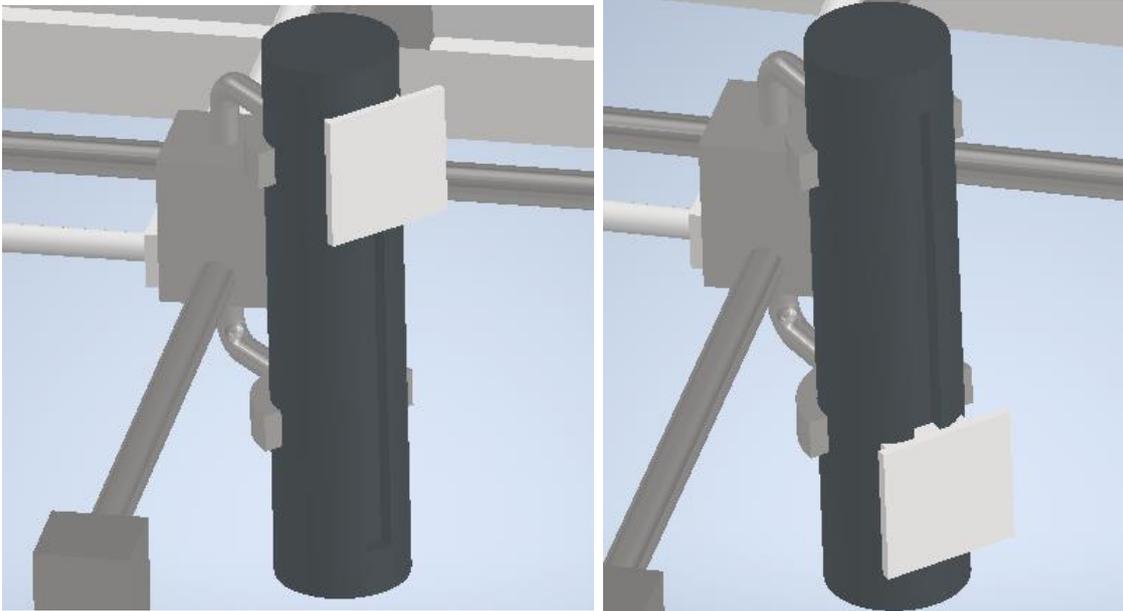


Figura 71. Desplazamiento del cilindro vertical.

Como se acaba de decir sobre el cilindro vertical se situará el husillo del atornillador, con el objetivo de dotarle de movimiento en los ejes X, Y y Z, y así poder situarse sobre los agujeros de atornillado, bajar para atornillar, subir e ir hacia el siguiente agujero, haciendo este proceso repetitivamente.

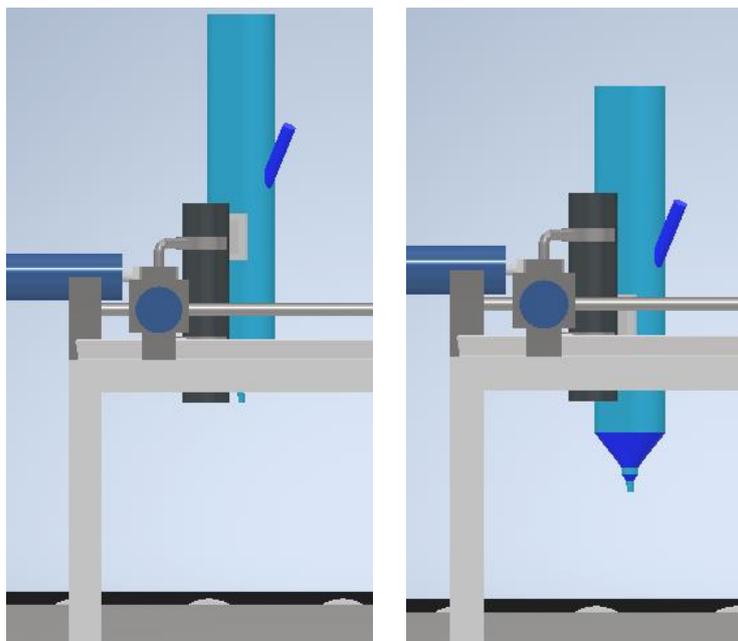


Figura 72. Movimiento vertical del husillo del atornillador.

Por último, este subconjunto lo completa el alimentador del atornillador, fundamental para el funcionamiento durante tiempos prolongados. El alimentador está situado sobre el espacio que se ha dejado en la tabla de la mesa soporte, en una posición donde pueda alimentar al husillo, sin que existan problemas con que se enganche el tubo de alimentación por los movimientos del husillo.

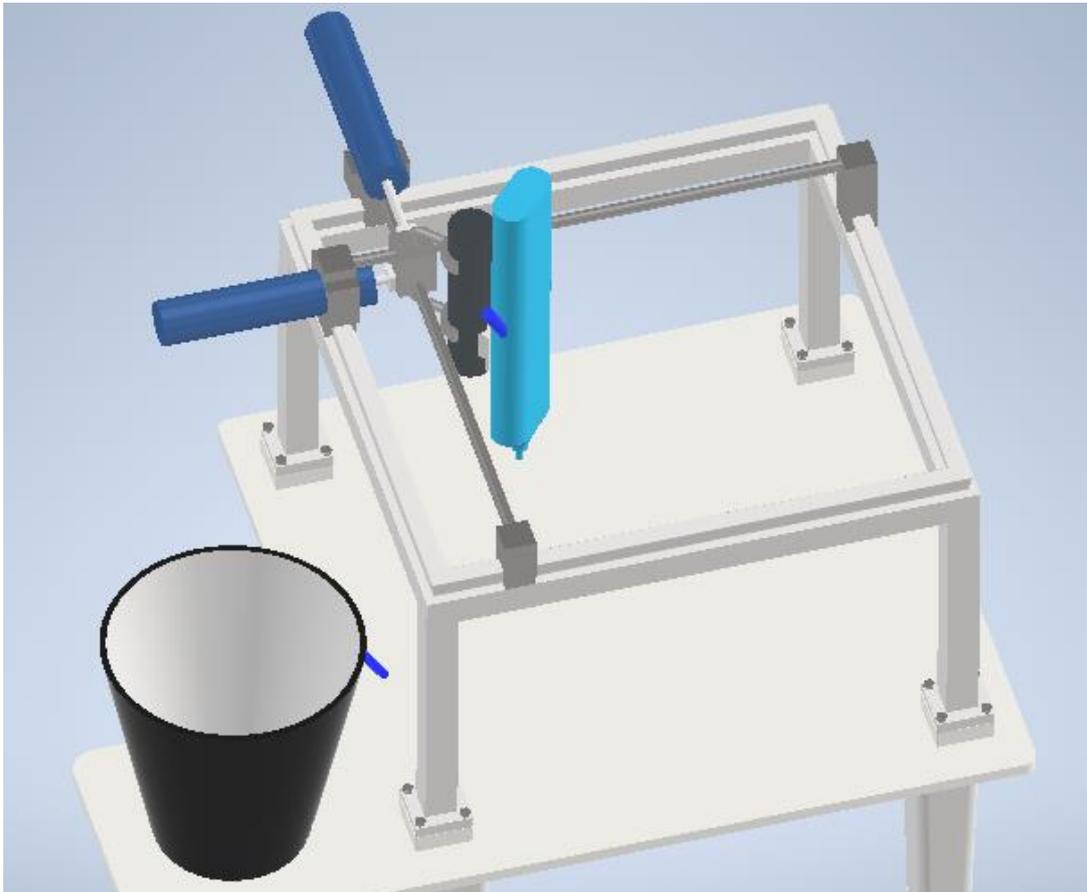


Figura 73. Conjunto sistema de movimiento atornillador.

Los dos subconjuntos principales formarán el sistema completo de atornillado automatizado.

Cabe decir que los elementos: laser medidor de distancia, husillo del atornillador y alimentación del atornillador, están representados de forma aproximada y no realista, pero ajustándose a los tamaños reales de los elementos, de tal manera que puedan ser colocados en las posiciones definidas, en una supuesta construcción real del sistema.

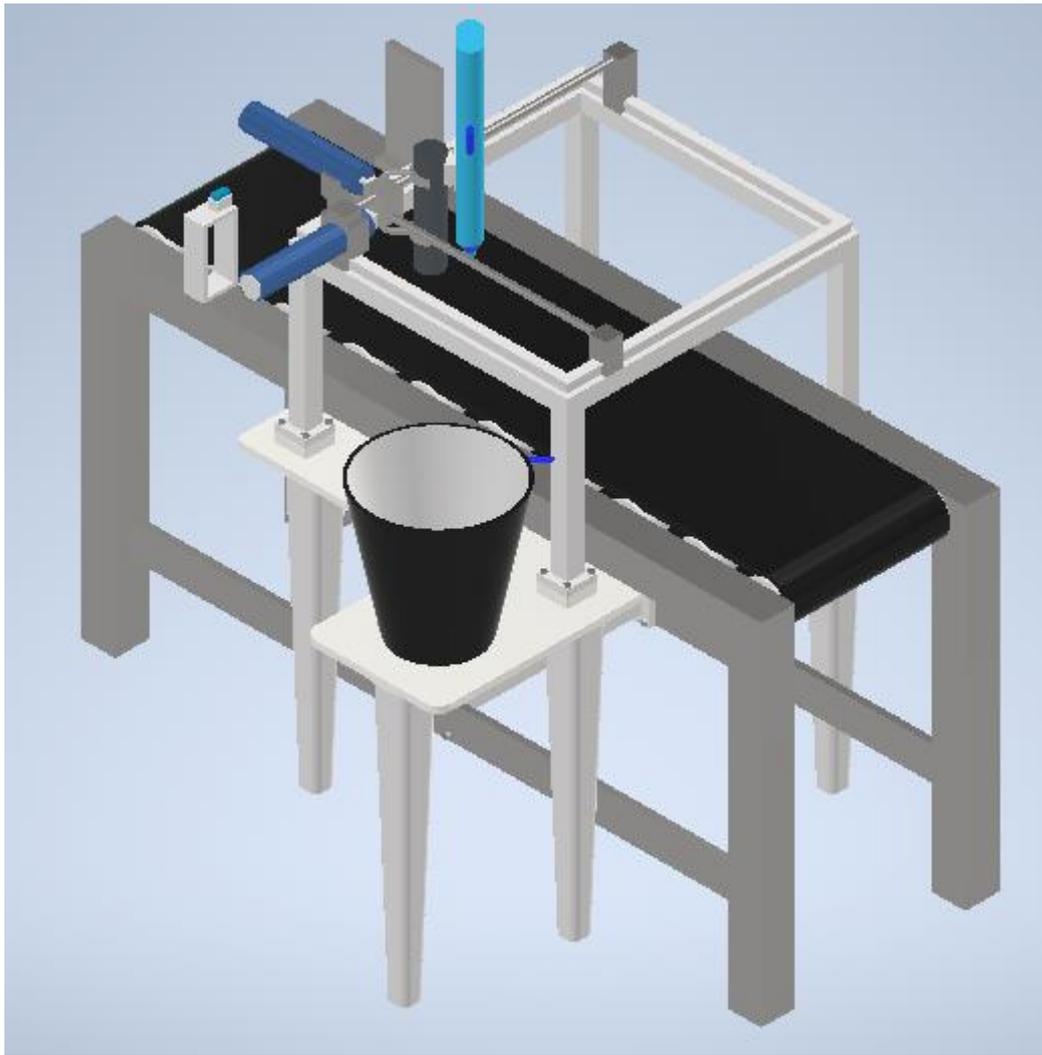


Figura 74. Ensamblado completo del sistema de atornillado automatizado.

9 FLUIDSIM

Para crear el circuito neumático he utilizado la aplicación FluidSIM, se trata de una aplicación destinada a la creación y simulación de circuitos neumáticos, electroneumáticos e hidráulicos. El método de utilización se basa en seleccionar el elemento requerido, y en la ventana de trabajo en la posición deseada. A partir de aquí estos elementos serán unidos a través de un cableado, que representará las tuberías por donde circula el fluido, o el cable por el que circula la electricidad.

FluidSIM presenta varias características y ventajas, que hace que me decante por su utilización.

- Permite la simulación del circuito en tiempo real.
- Rango de complejidad amplio, desde circuitos de 2 componentes, hasta circuitos de una complejidad elevada con multitud de componentes.
- Velocidad de creación, y fácil reconocimiento de los circuitos.
- Aplicación gratuita y de accesibilidad para todo el mundo.
- Simplicidad de su manejo, además no ser el primer contacto que tengo con la aplicación.

9.1 CIRCUITO ELECTRONEUMÁTICO

9.1.1 Grafcet del circuito

Antes de definir nuestro circuito electroneumático, determinaremos cual es la secuencia que debe seguir, para el correcto desarrollo de sus funciones. Para esto he representado el grafcet, donde podemos ver los movimientos de los actuadores, en función de los resultados deseados y las lecturas de los sensores.

Un grafcet es básicamente un sistema mediante el cual, se representa gráficamente, el proceso que sigue un sistema, cuyas etapas del proceso vienen definidas por las entradas y salidas que se suceden en el ciclo.

El grafcet que define el proceso que quiero realizar, cuenta con 26 etapas en el caso más largo, y se trata de una secuencia cíclica que se repite una y otra vez. La detención de esta secuencia puede venir dada por una orden manual o, por

motivo de la aparición de un problema en el proceso. Los problemas que pueden aparecer son los siguientes:

- Distancia de la primera medida es incorrecta, "x" es mayor que el valor límite, en este caso solo cuenta con la etapa en la cual se toma esta medida. Tras obtener este dato erróneo vuelve al inicio.
- Que el sensor de detección de taladros no detecte el taladro, en ese caso emitirá una señal de 0, implicando el final del proceso. En este caso, el número de etapas variará en función de la posición del taladro que el sensor no ha detectado. Tras esta señal del sensor la secuencia volverá a su inicio.

Todas las etapas comprendidas en el proceso, y el flujo de las mismas vienen representadas en el graficet de la secuencia, que aparece en la *figura 70*.

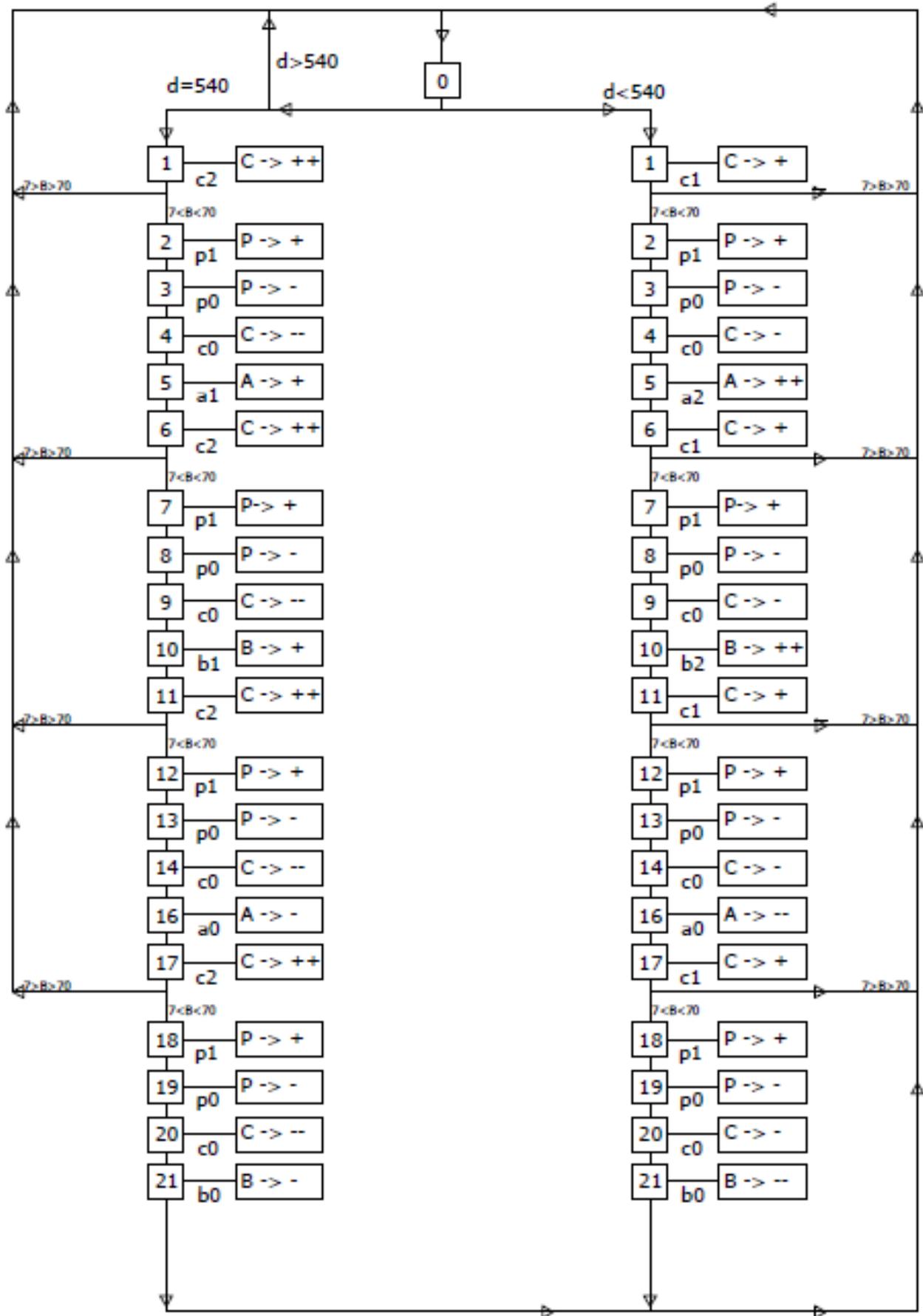


Figura 75. Grafset del sistema.

9.1.2 Circuito electroneumático

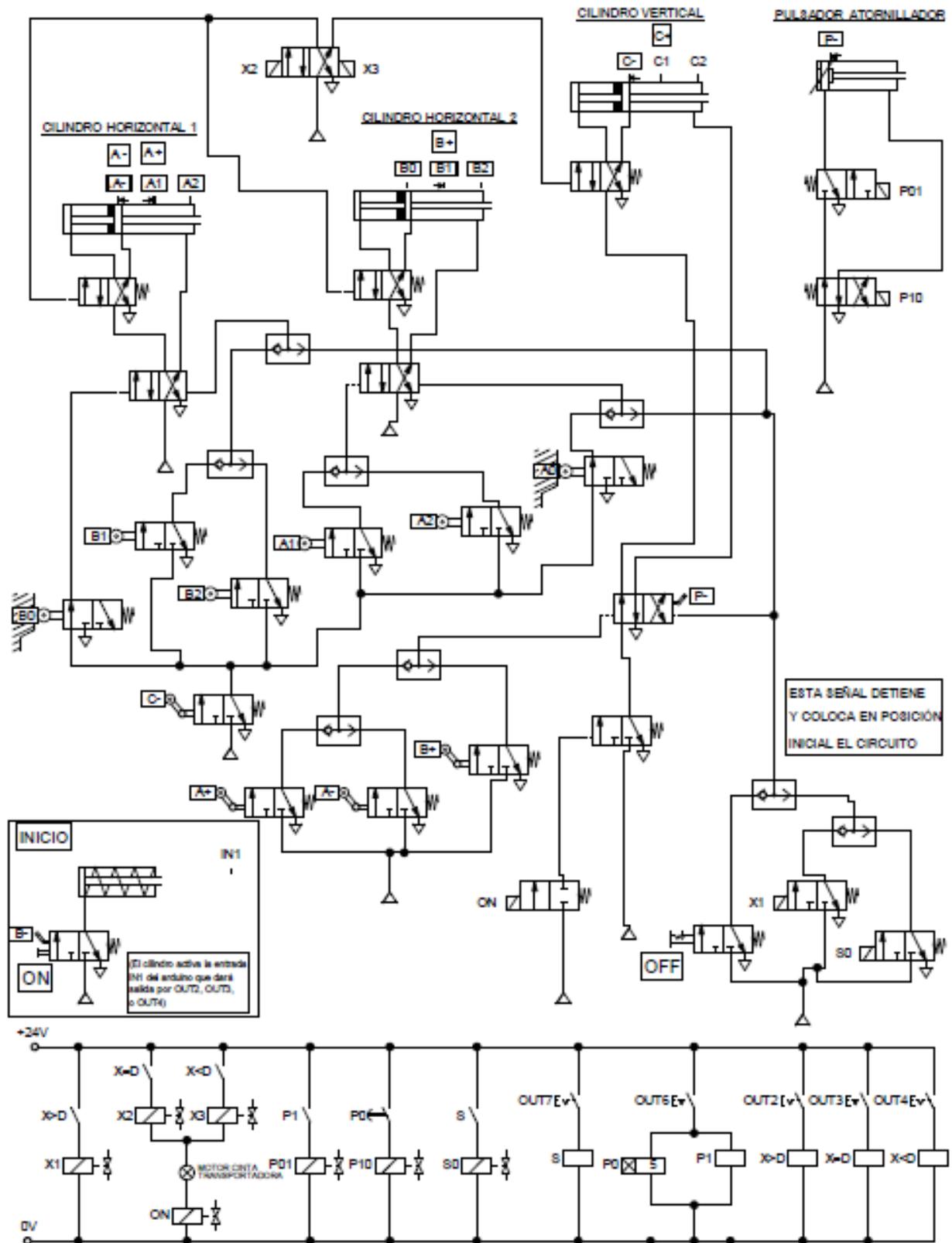


Figura 76. Circuito electroneumático del sistema.

El circuito electroneumático está diseñado para obedecer a la secuencia establecida en el graficet. Contiene una parte neumática que ese encarga de realizar los trabajos del sistema, y otra eléctrica, necesaria para que se ejecuten las órdenes del Arduino.

Comenzaremos explicando la parte eléctrica del circuito. Esta comienza con la activación del circuito cuando se pulsa el pulsador ON, o la carrera de retroceso del cilindro B, los cuales activan la salida del cilindro INICIO, que pulsa un el pulsador IN1 dejando pasar electricidad por el láser medidor de distancia mandando el valor de la medida la entrada 1 del Arduino. Con esta medida, el Arduino proporcionará una salida entre los pines 2, 3 y 4.

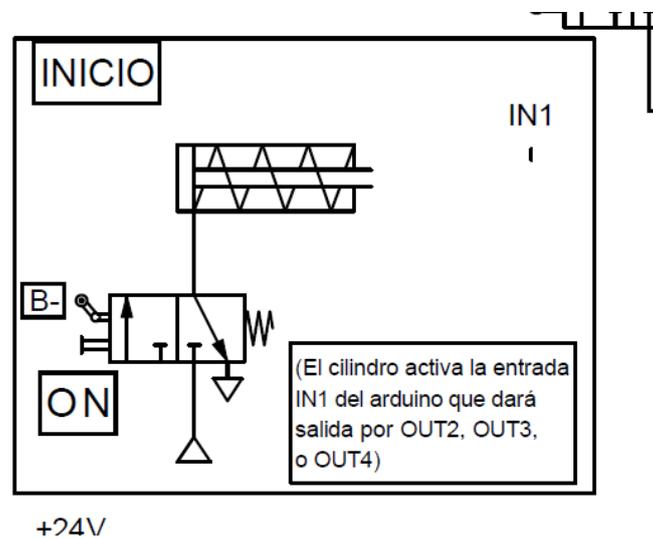


Figura 77. Sistema de inicio del circuito.

Estas tres salidas en el circuito están definidas como OUT2, OUT3 y OUT4. Y activan los obturadores, $x > D$, $x = D$, y $x < D$ respectivamente. El primero detiene el circuito debido a que la medida tomada se considera errónea, activando el solenoide x1. El segundo y tercer obturador determinan que la medida ha sido correcta definiendo que tipo de alternador está en la cinta. Si es el alternador más pequeño se activará el solenoide x2 y si es el alternador es el más grande se activará el x3. De todos modos, ambos alternadores activarán la secuencia del circuito mediante el solenoide ON, y la activación de la cinta, que en el circuito se representa con la bombilla MOTOR CINTA TRANSPORTADORA.

El circuito eléctrico también contiene la parte del sensor de agujero. El sensor laser de agujero mandará el valor medido al Arduino cuando el cilindro C salga,

este será interpretado, y a partir de aquí si se determina que el agujero está donde debe de estar, saldrá corriente por la salida 6 (OUT6 en el circuito), activando los obturadores P1 y P0, este segundo es con retraso de 5 segundos en su activación. Estos obturadores activan los solenoides P01 Y P10 respectivamente. El solenoide P01 hará salir al cilindro P, (cuya función pulsar la activación del atornillador) y el solenoide P10, hará retroceder al mismo cilindro 5 segundos más tarde, una vez se haya realizado la operación de atornillado. Por último, si la medida del sensor determina que no hay agujero donde atornillar o está mal colocado, la salida del pin 7 (OUT7) se activará, activando a su vez el obturador S, que hará que el solenoide S0 detenga el sistema.

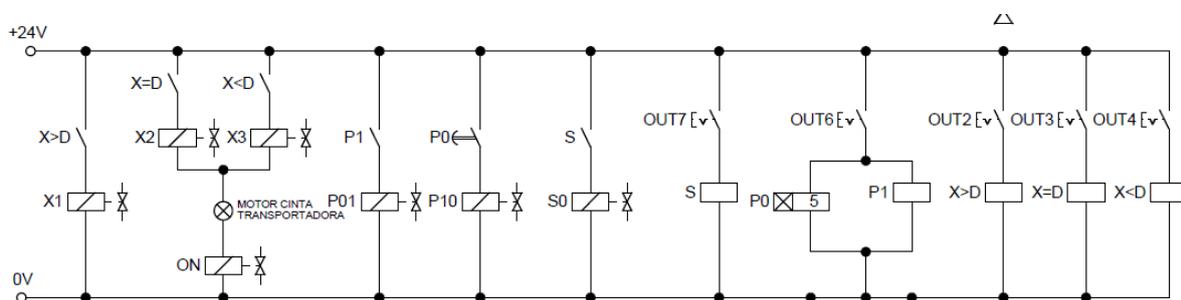


Figura 78. Parte eléctrica del circuito.

El resto del circuito (parte neumática), se podría dividir en tres subcircuitos unidos entre sí, pero diferenciados: subcircuito de detención o apagado del sistema, subcircuito de movimiento del cilindro P (pulsador), y subcircuito de control de secuencia de los cilindros A, B y C.

El subcircuito de detención o apagado está formado por 3 válvulas 2,2, normalmente cerradas, cuando cualquiera de estas válvulas es activada, manda una señal que hace que todos los componentes del circuito neumático vuelvan a su estado inicial y se detengan, quedando el circuito bloqueado.

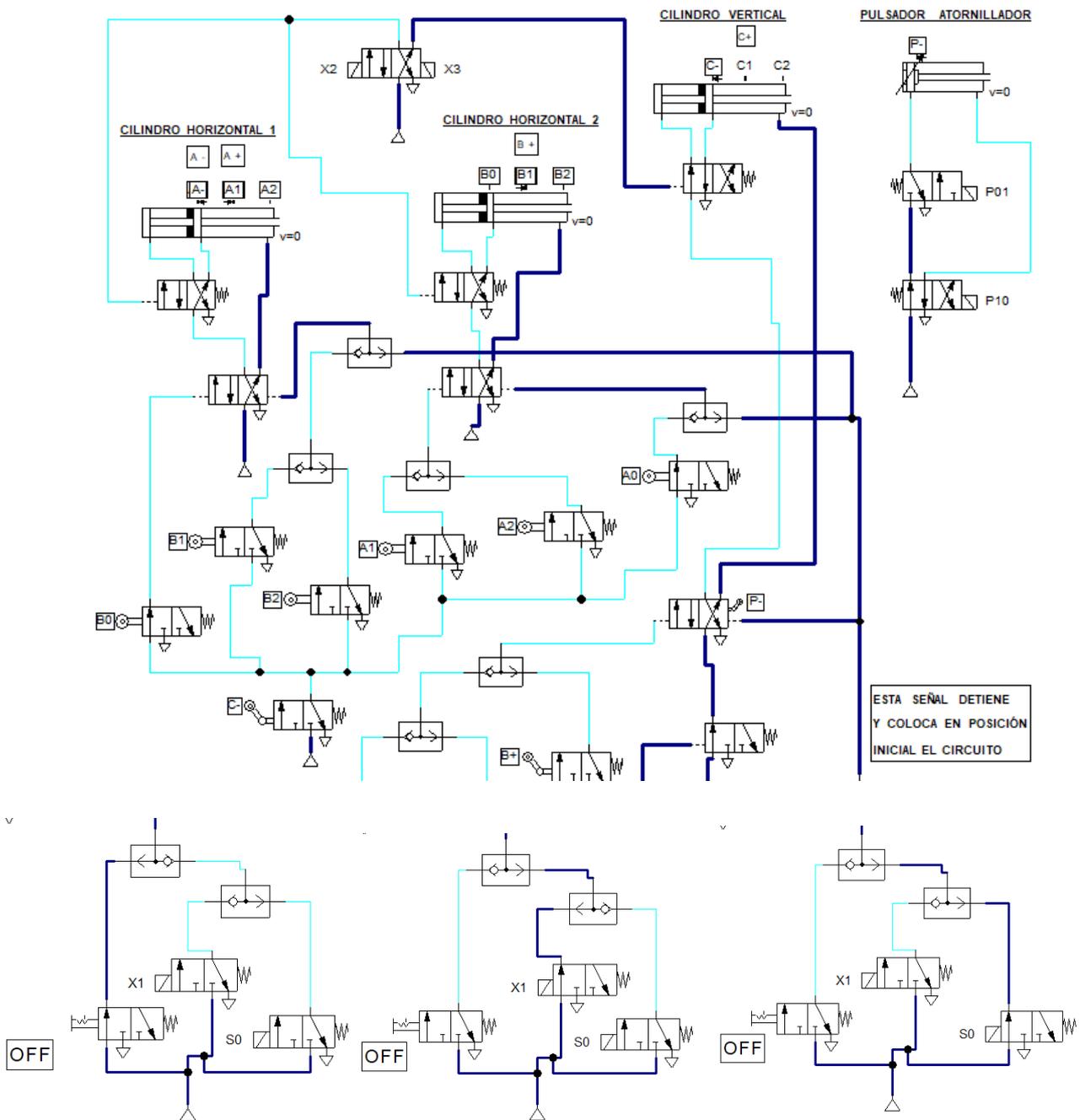


Figura 79. Subcircuito de detención o apagado.

El segundo subcircuito, destinado a controlar el subcircuito pulsador es el más simple de todos, está compuesto únicamente por una válvula 3,2 y otra válvula 4,2 normalmente cerrada también. Ambas se activan mediante un solenoide cada una, los cuales citamos anteriormente. Cuando se activa la primera válvula (3,2) el cilindro P sale, y cuando se activa la segunda (4,2) el cilindro P vuelve a su posición inicial.

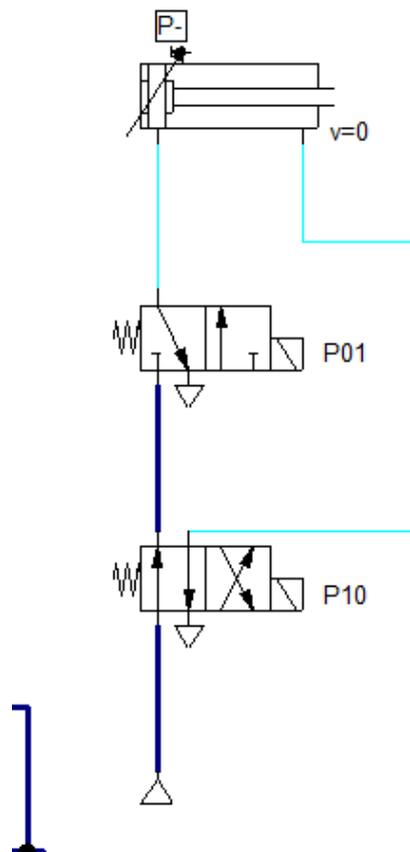
PULSADOR ATORNILLADOR

Figura 80. Subcircuito control pulsador.

Por último, está el subcircuito de control del movimiento de los cilindros A, B y C. Este subcircuito se rige por la secuencia determinada en el graficet. Es la parte más elaborada del circuito, y comienza cuando se define el alternador que se va a atornillar, a través de los solenoides x2 y x3, que definen como será la salida de los cilindros (larga o corta), siendo siempre igual para los cilindros A y B (cilindros horizontales), y la opuesta a la de estos dos para el cilindro C (cilindro vertical). Lo definido al comienzo del ciclo marcará el funcionamiento hasta el final cuando se volverá a tomar la medida y se redefinirá de nuevo cual será el alternador que atornillar.

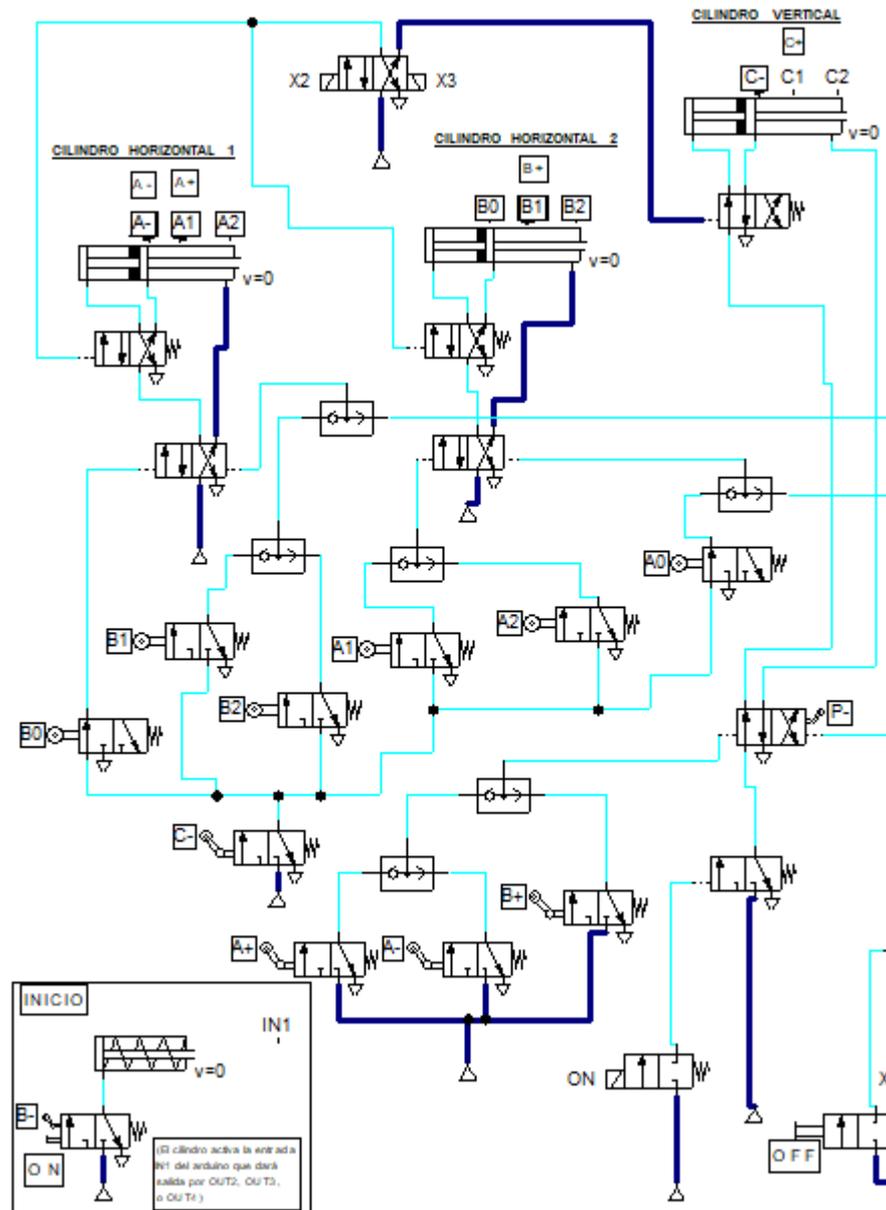
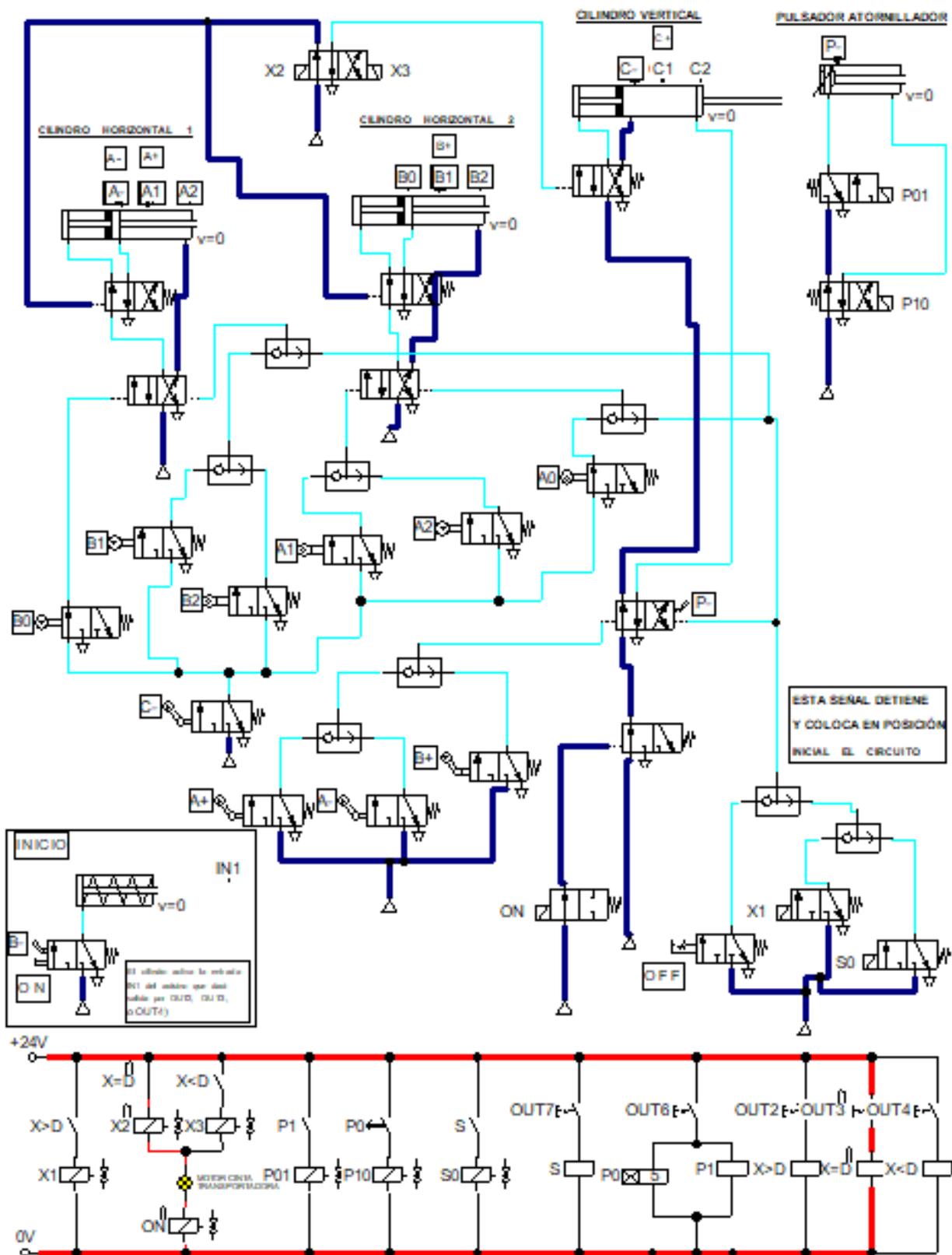
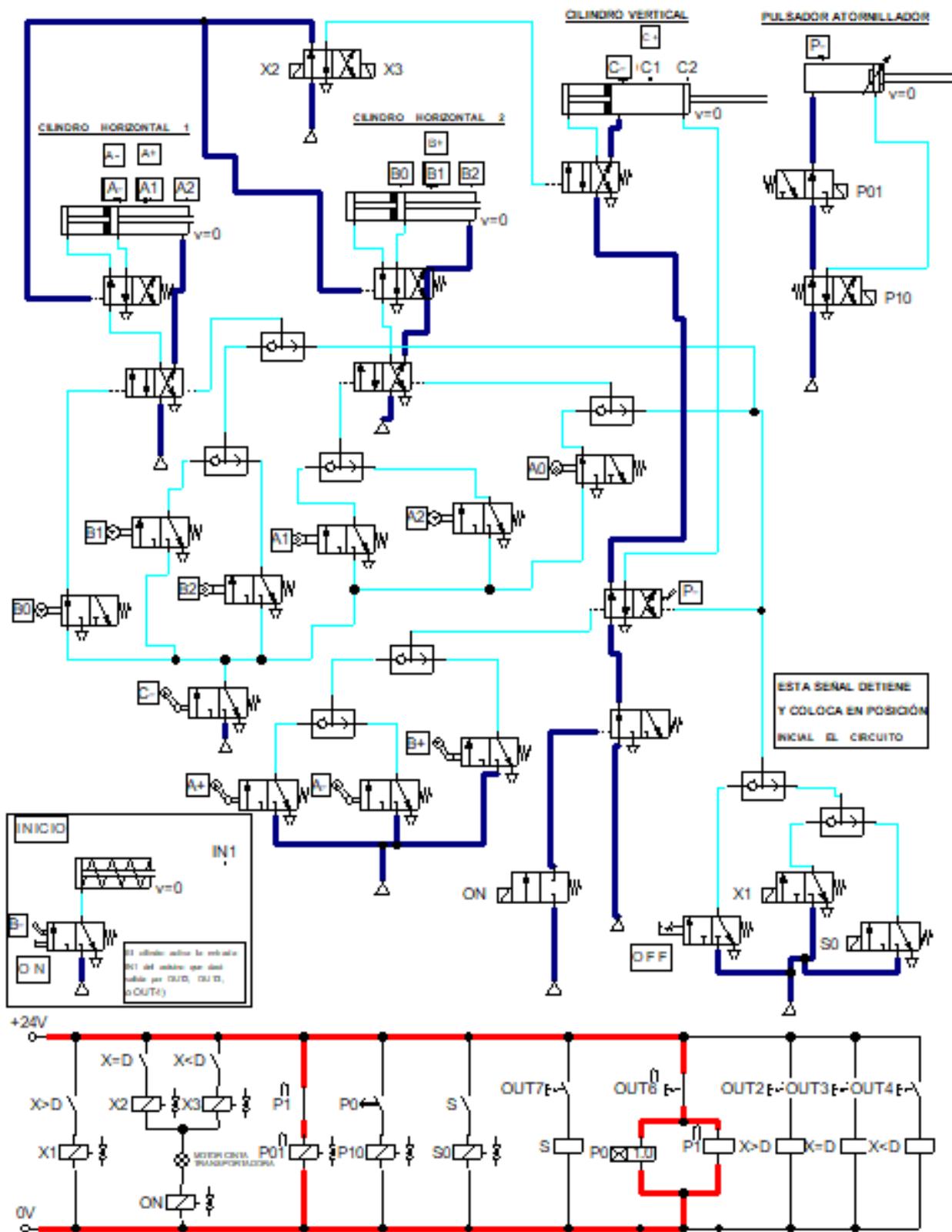


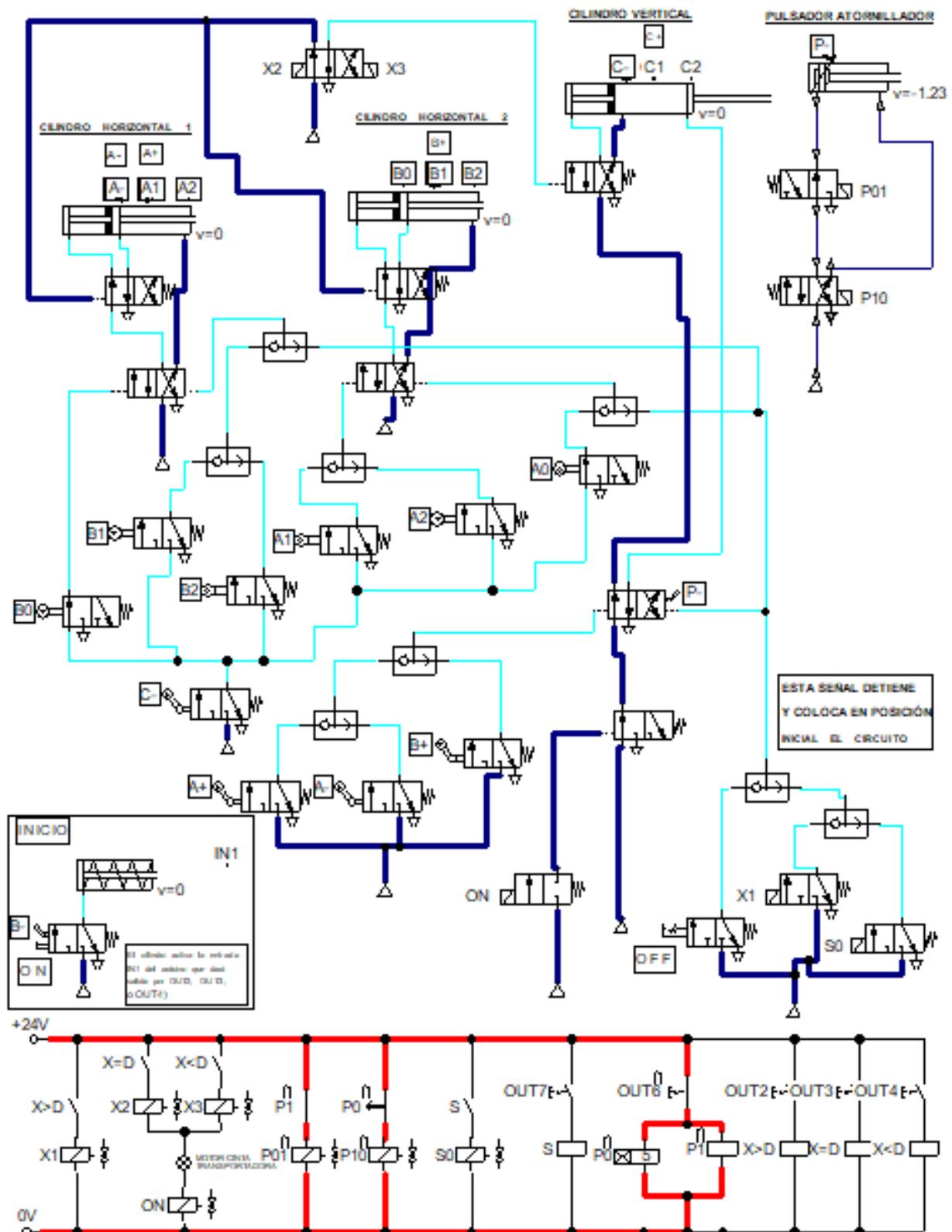
Figura 81. Subcircuito control movimiento cilindros A, B y C.

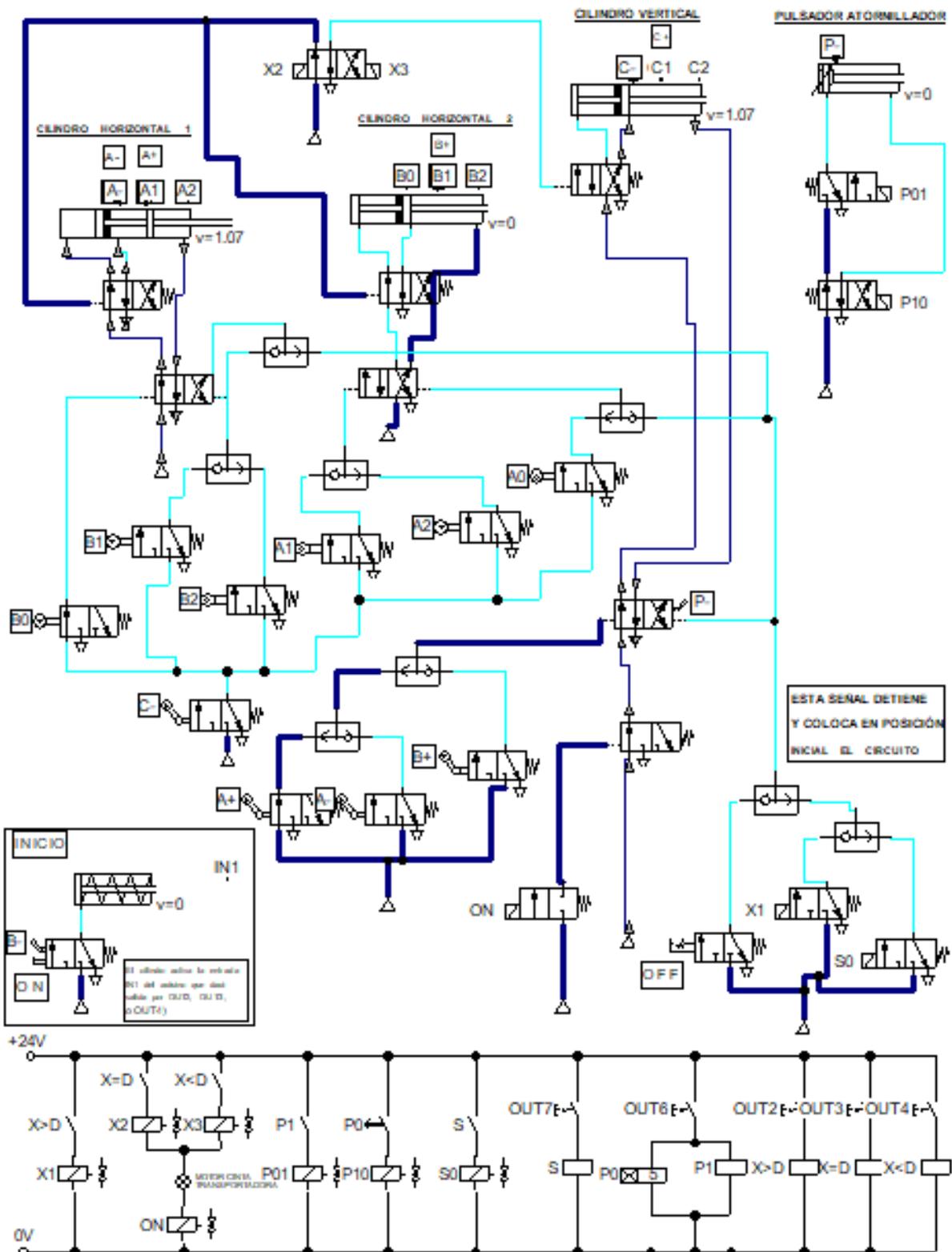
9.1.3 Simulación del circuito

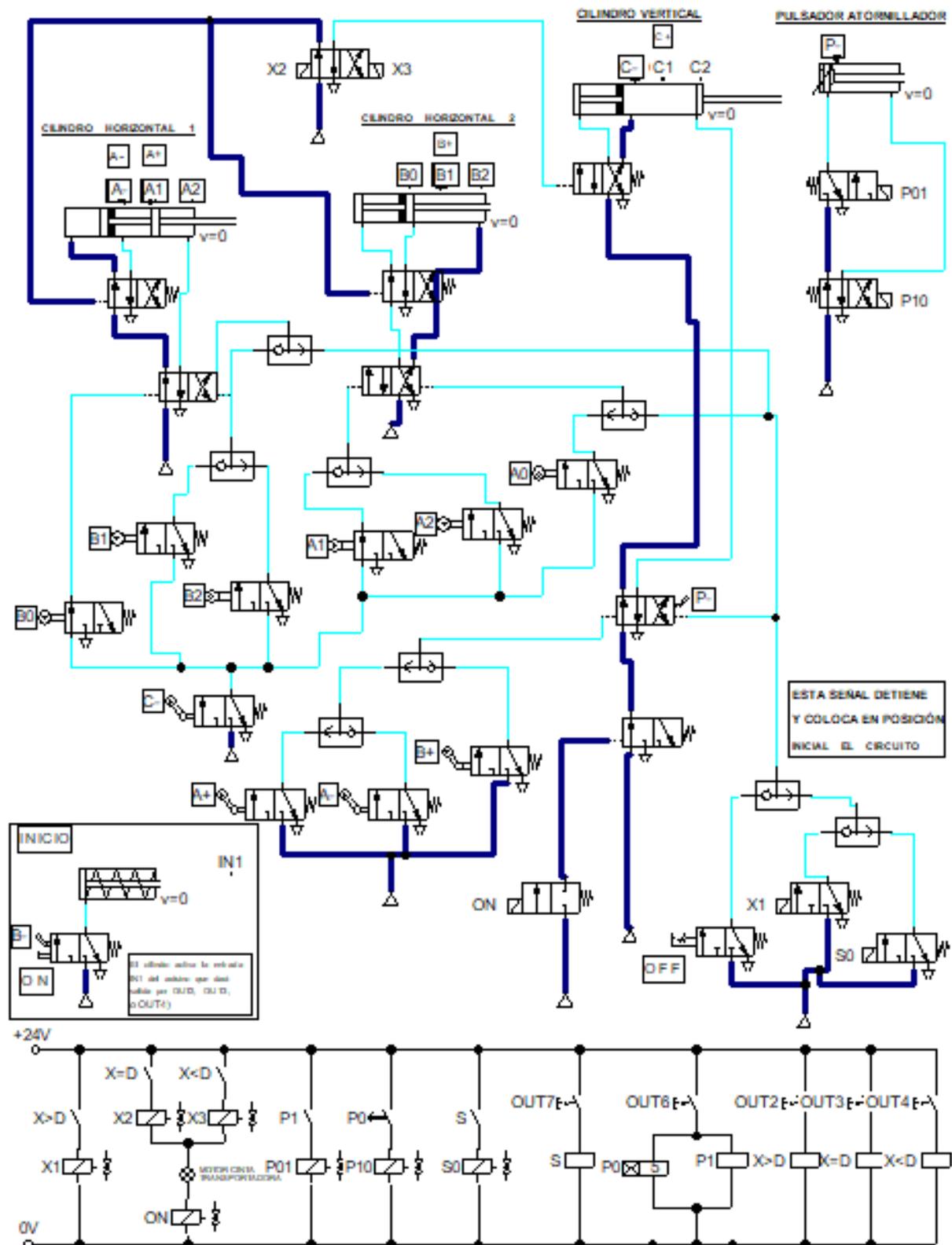
A continuación, se simulará la secuencia completa, para el caso de tener que atornillar un alternador pequeño, es decir, salida larga para el cilindro C y salida corta para los cilindros A y B. Está simulación se hará del ciclo completo, desde el inicio hasta el final, momento en el cual se reiniciaría el ciclo si no se para voluntariamente. Véase:

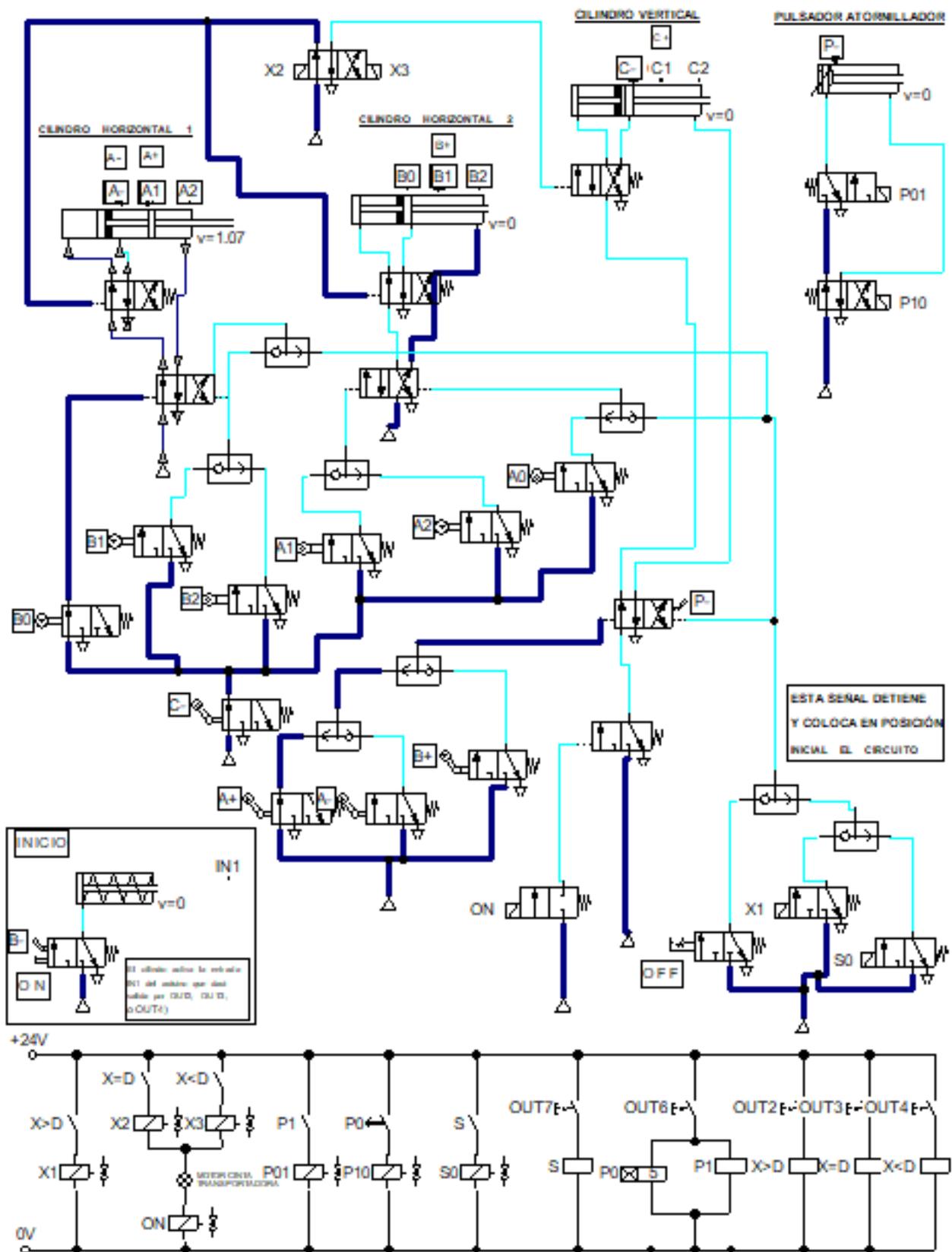


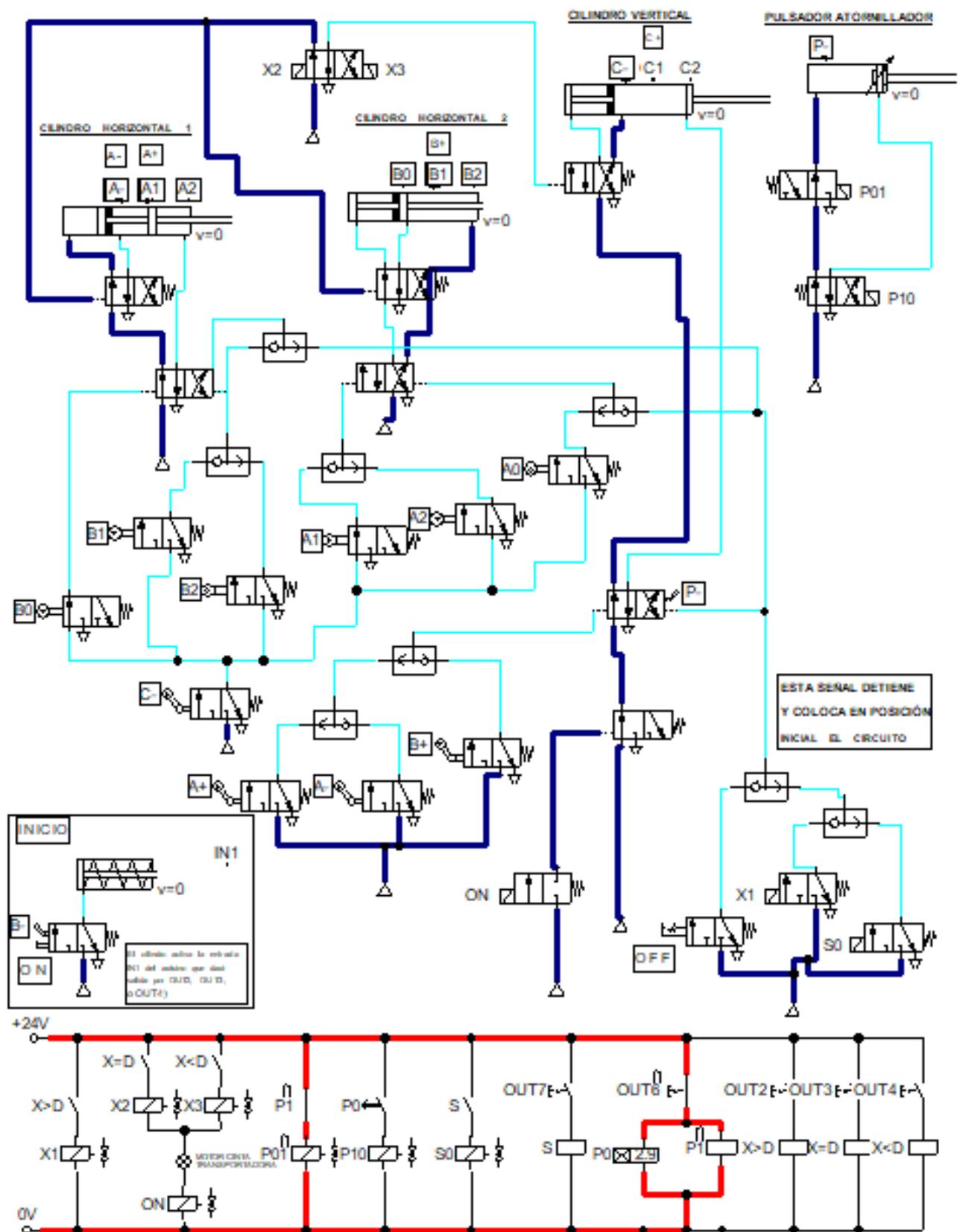


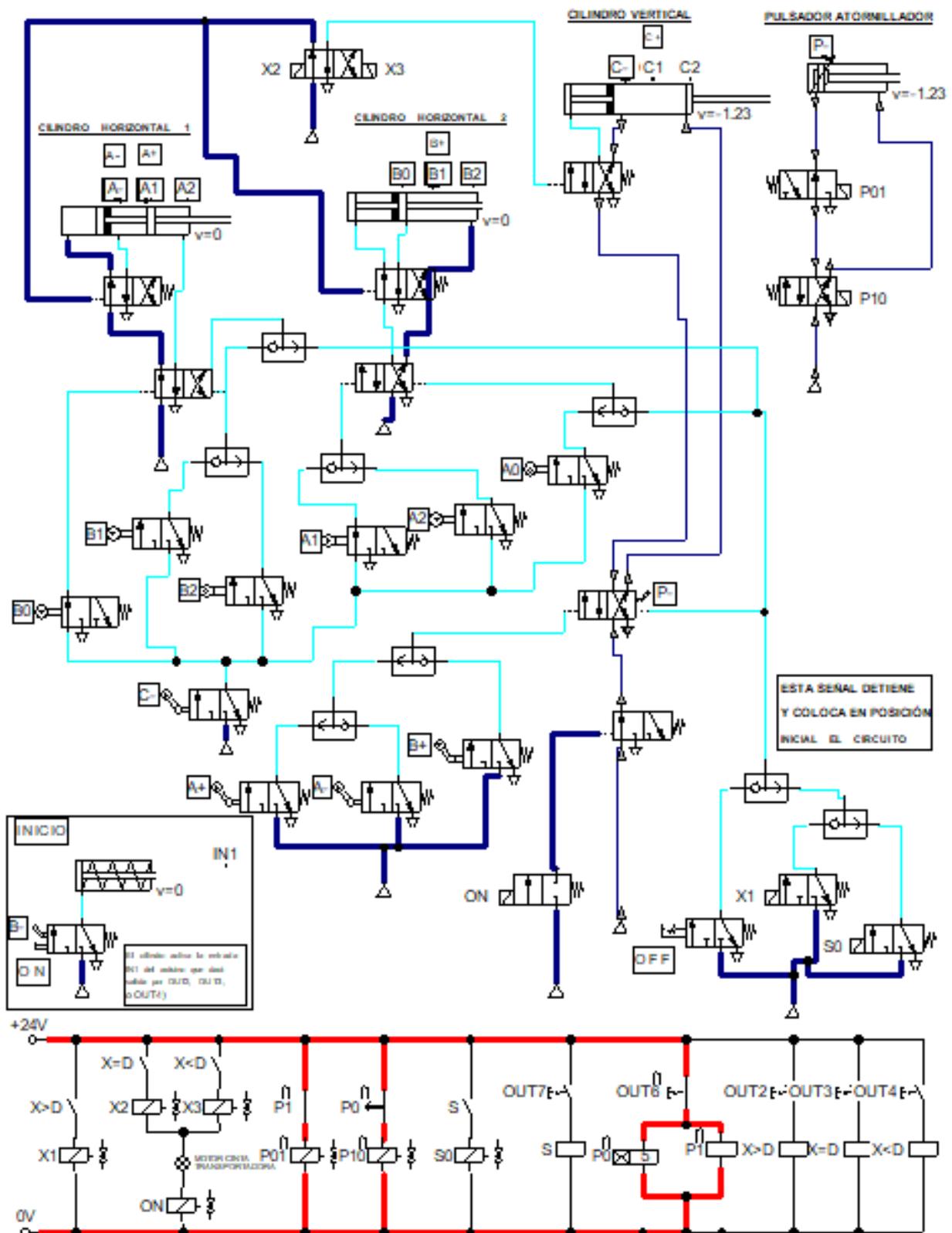


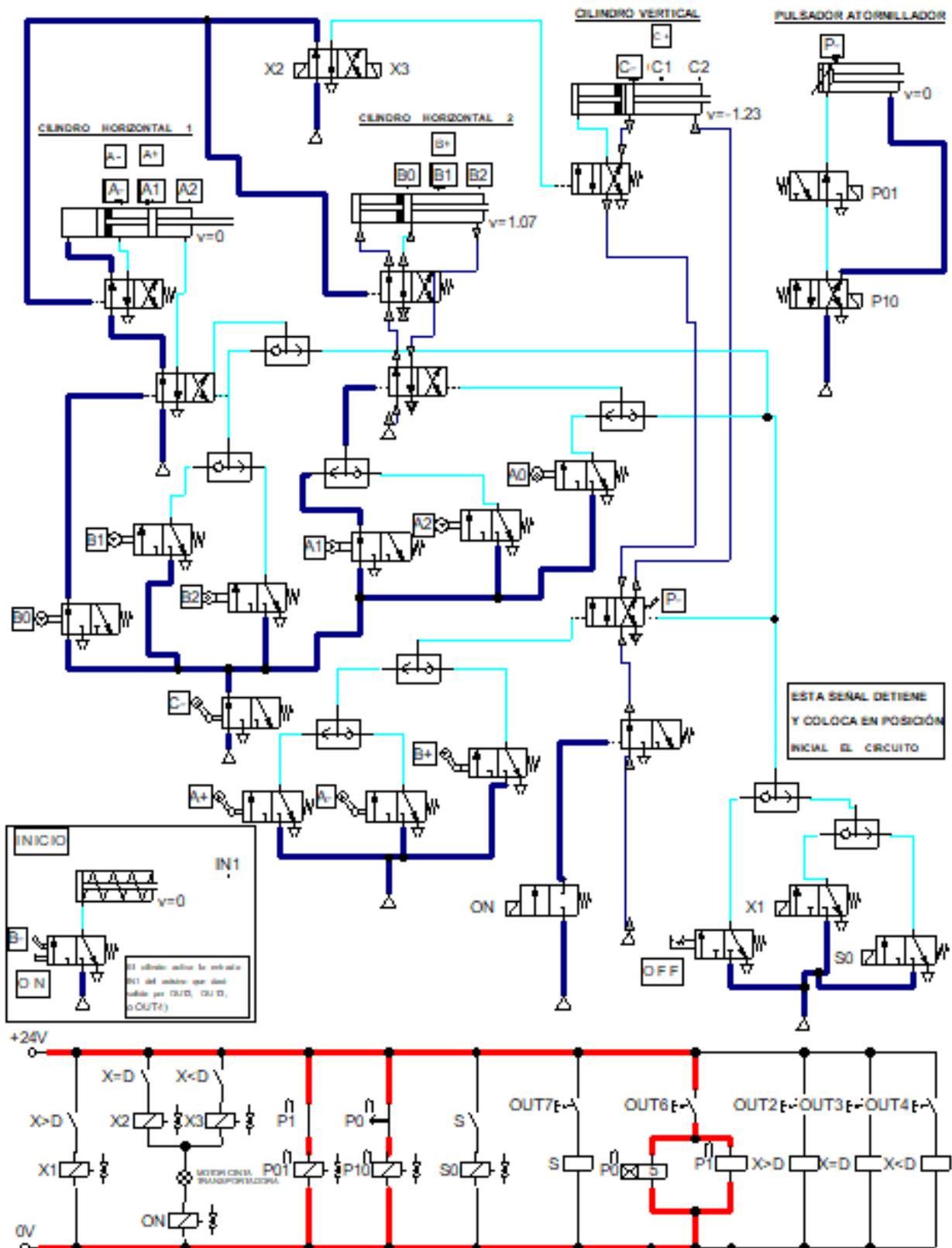


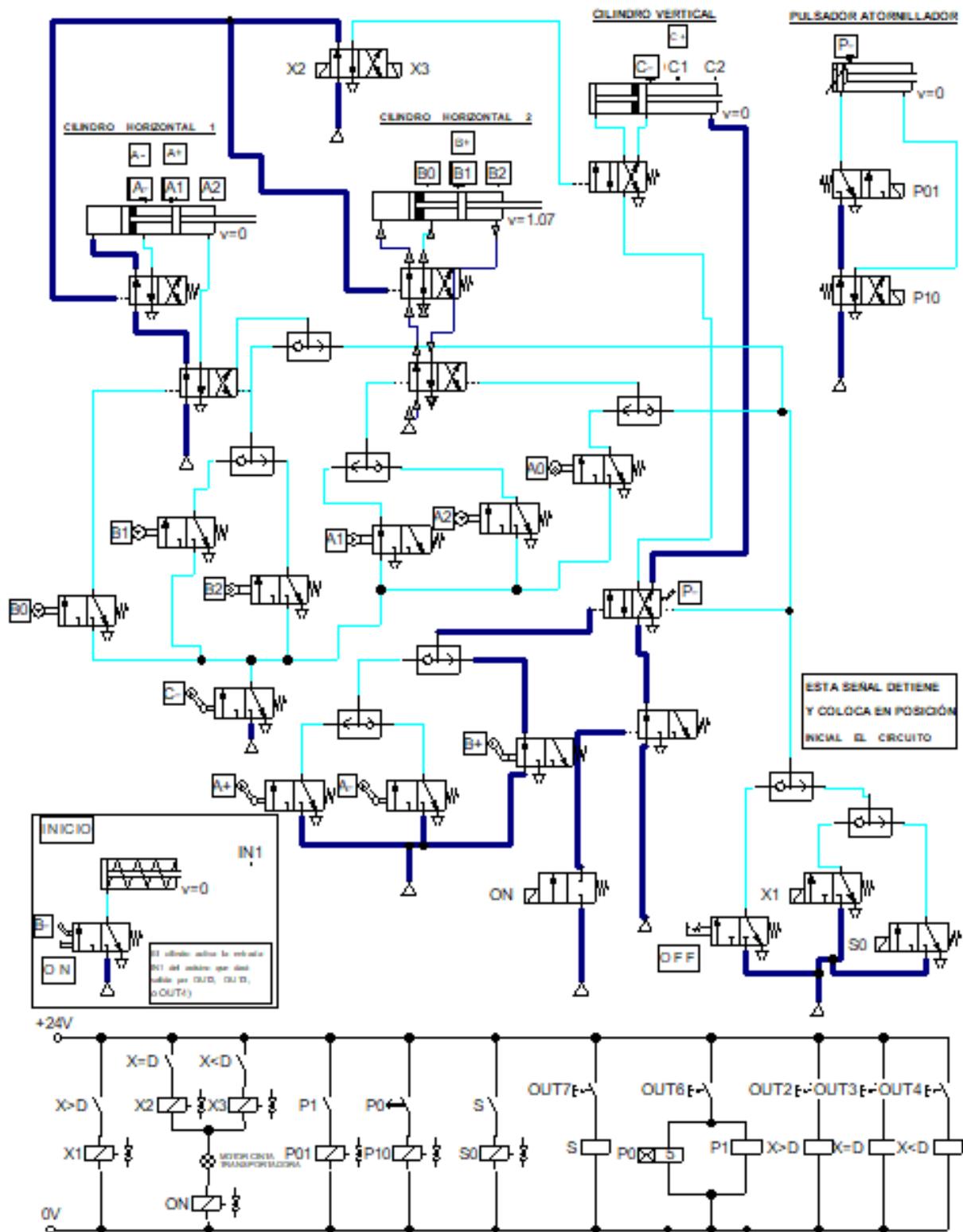


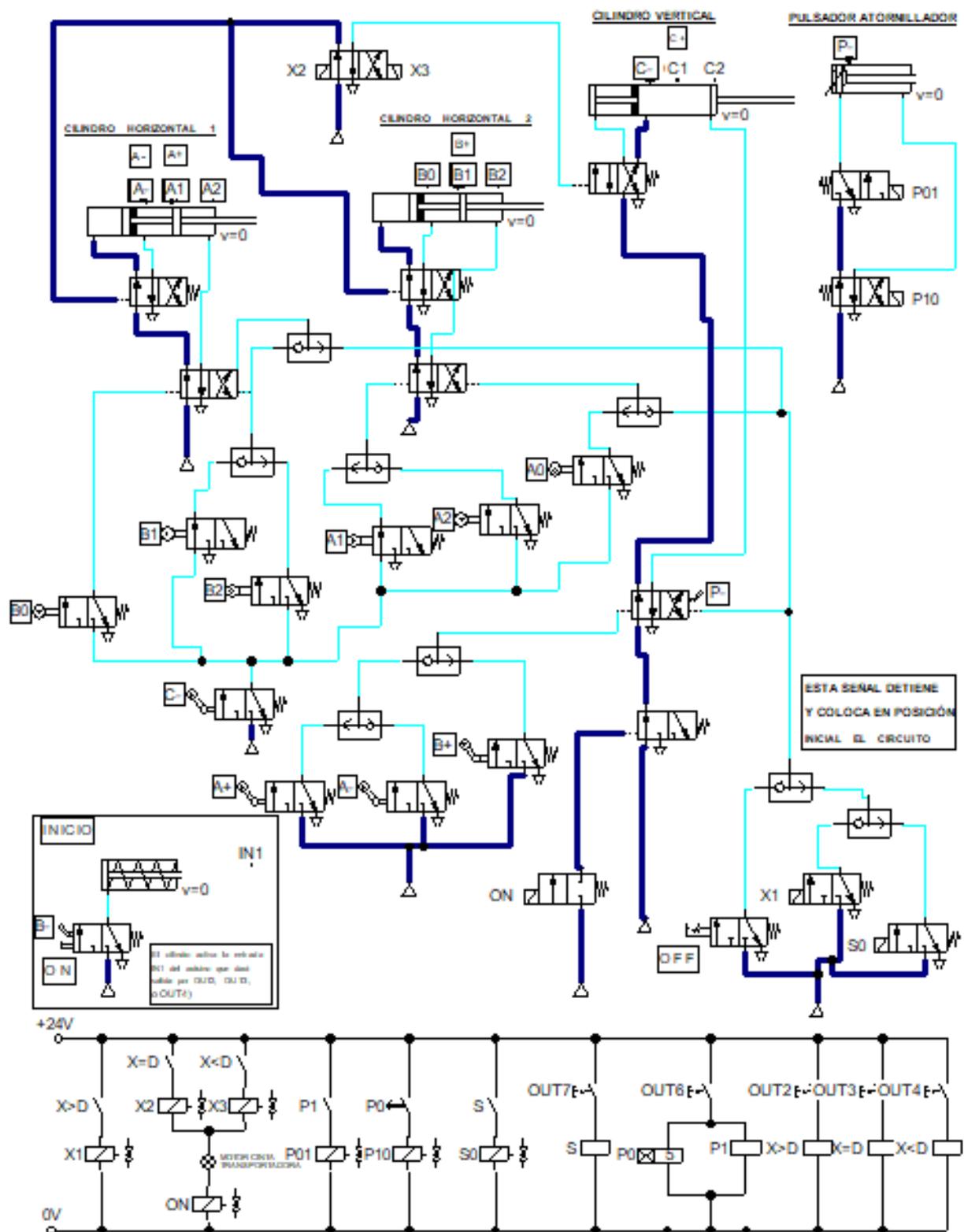


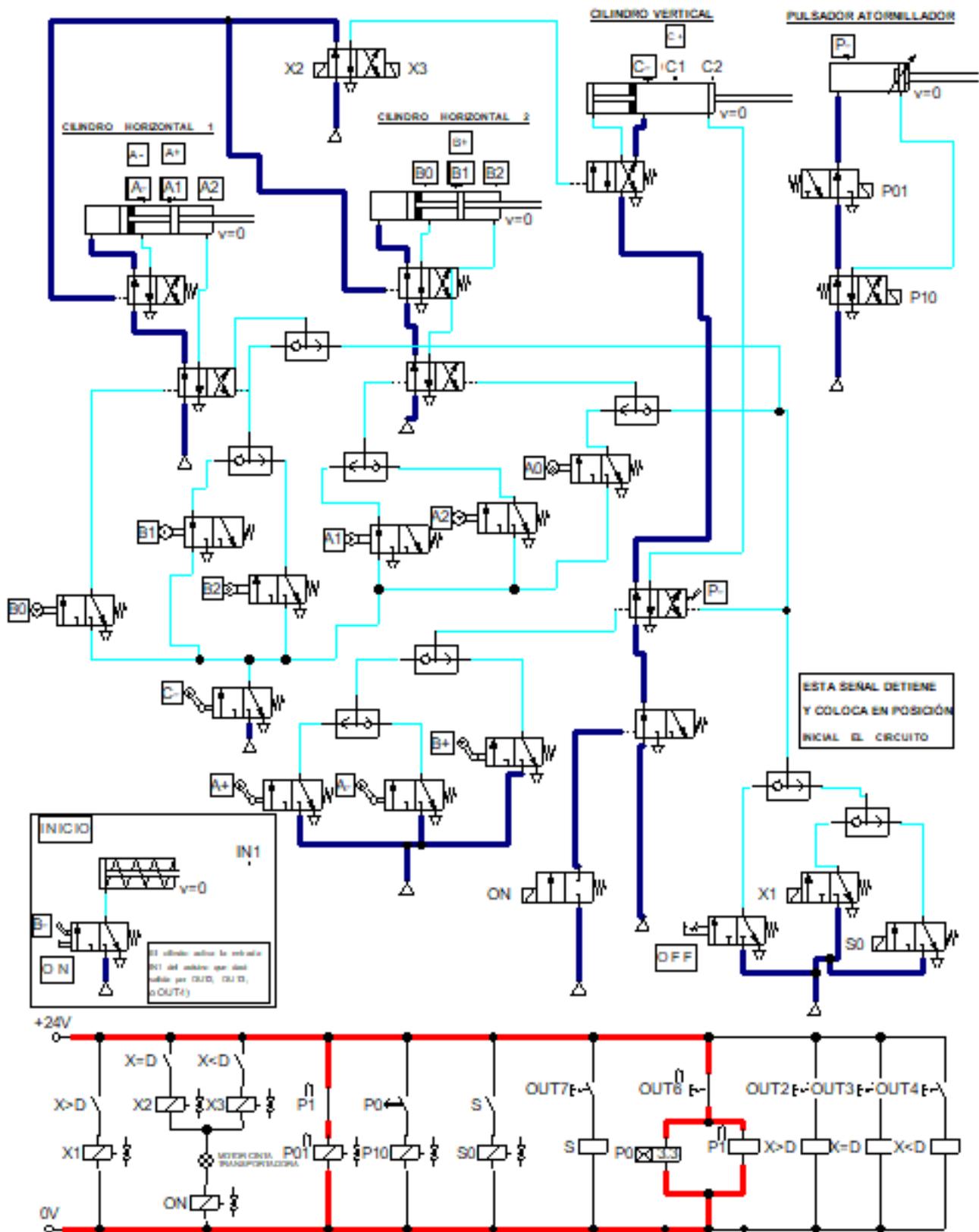


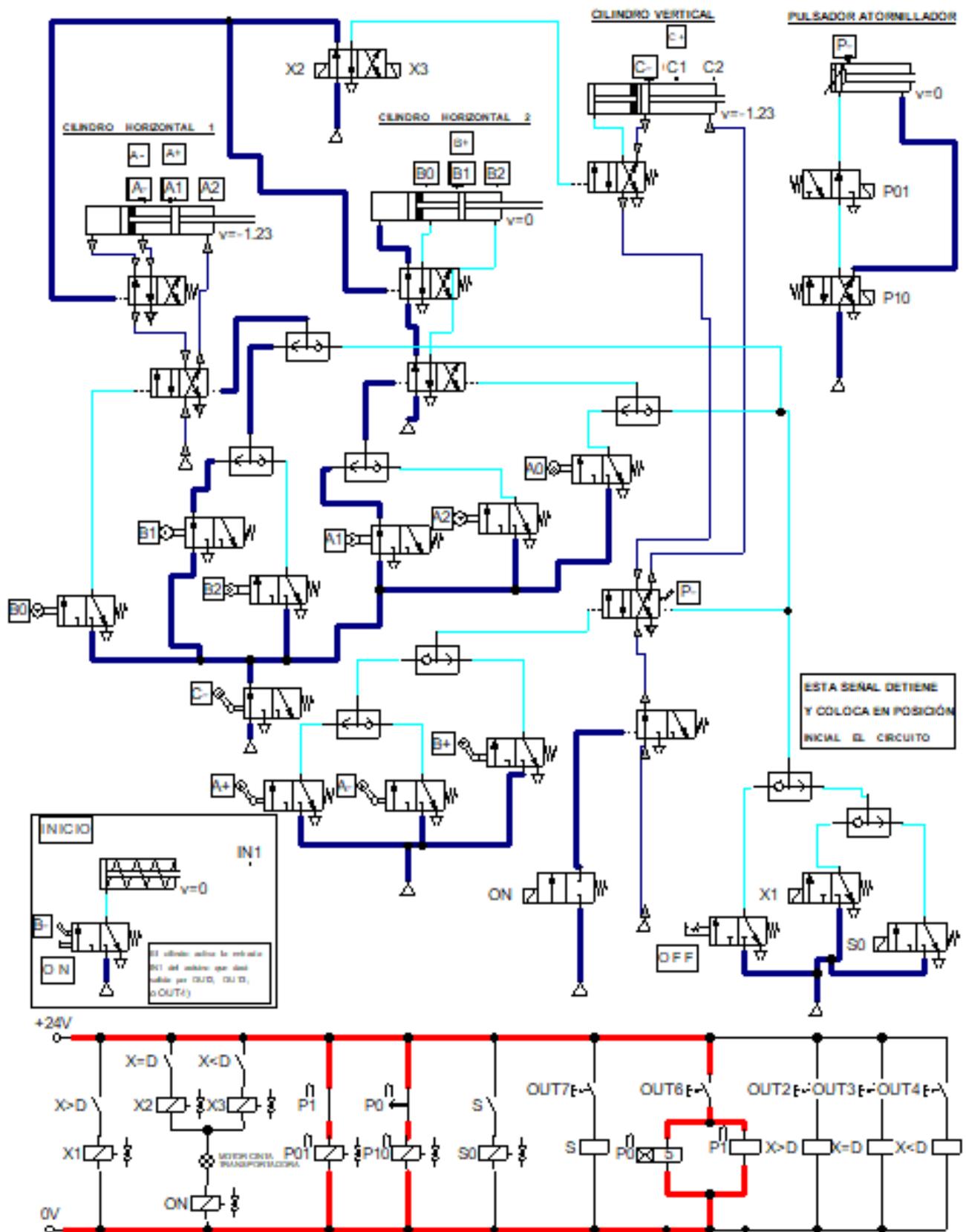


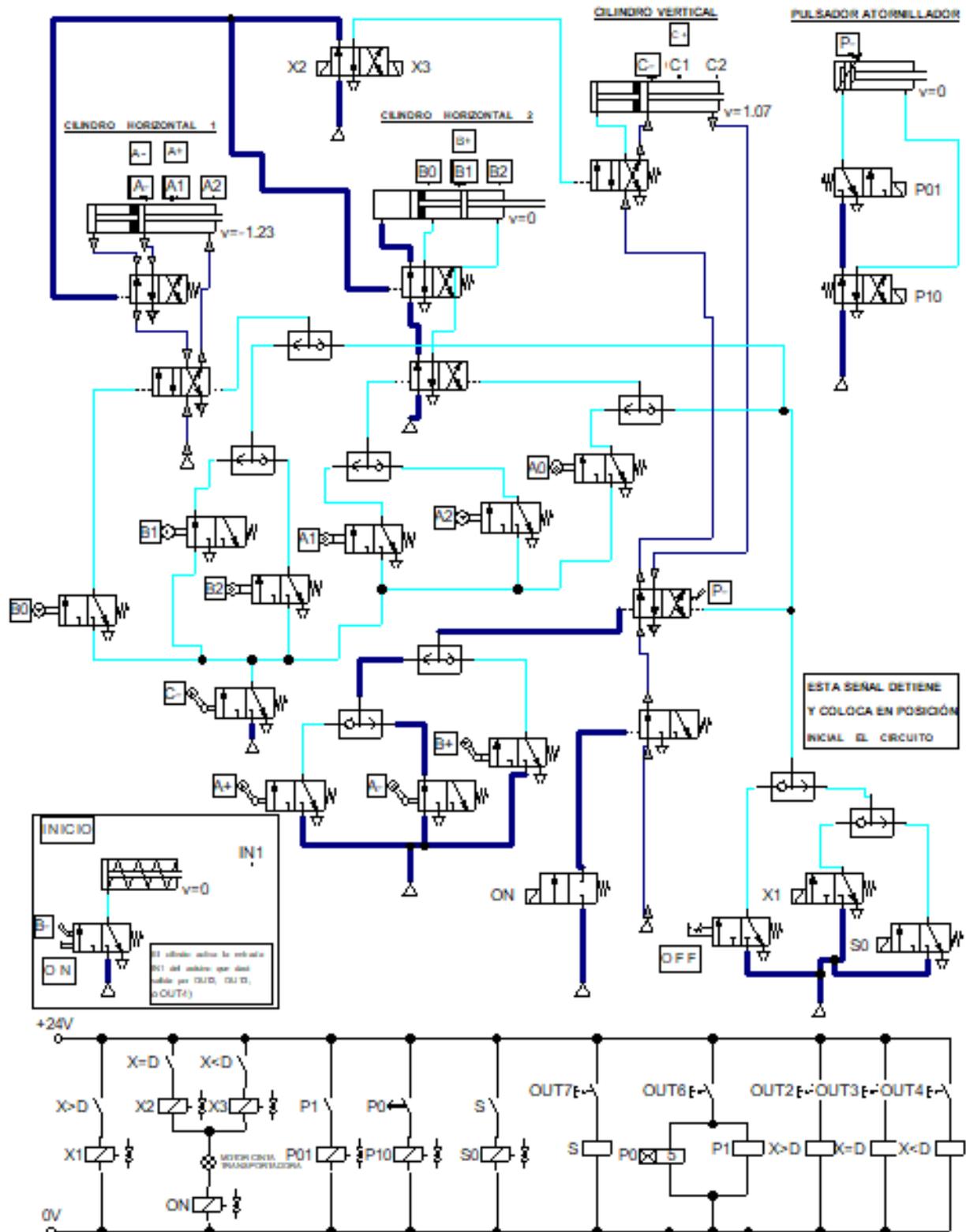


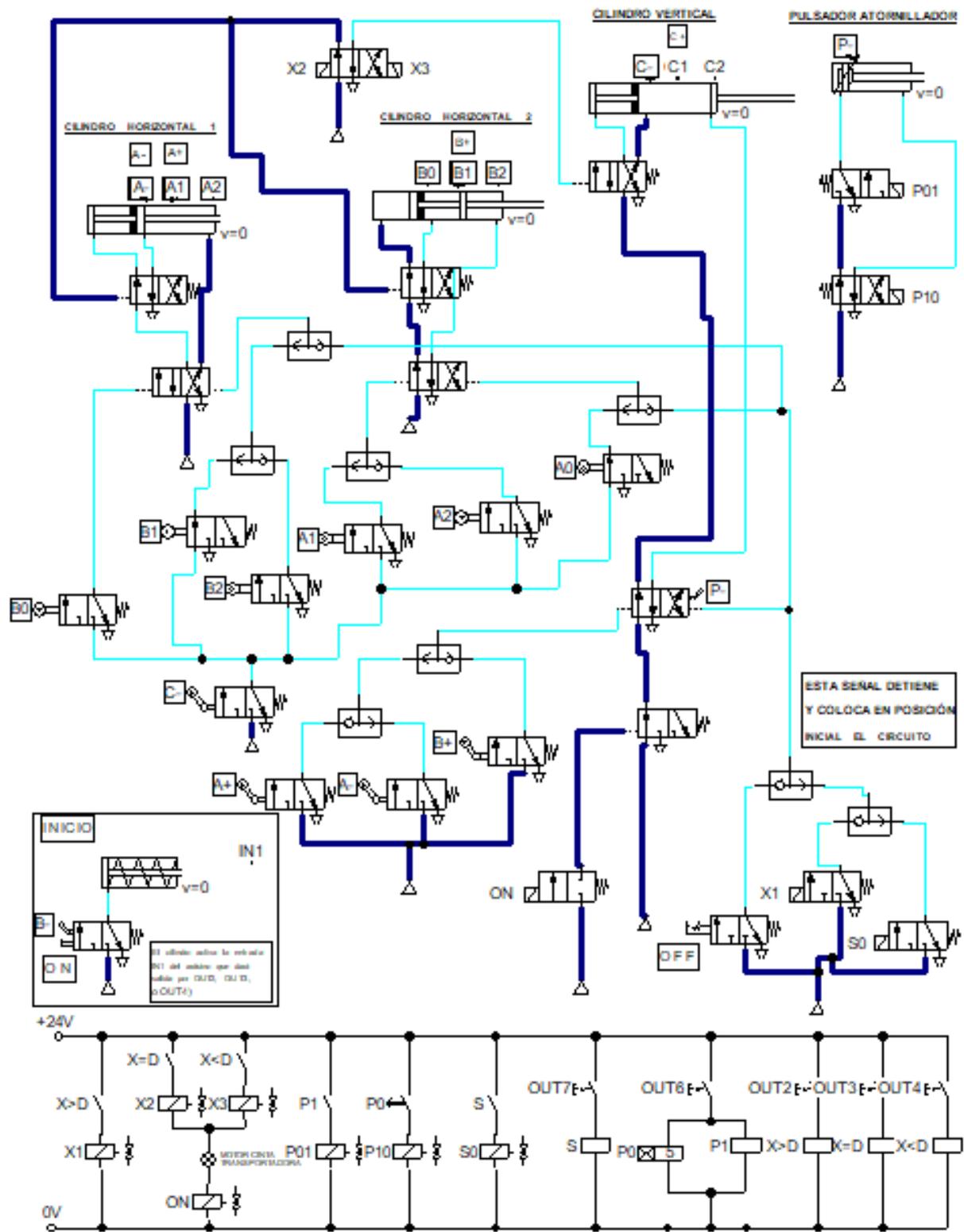


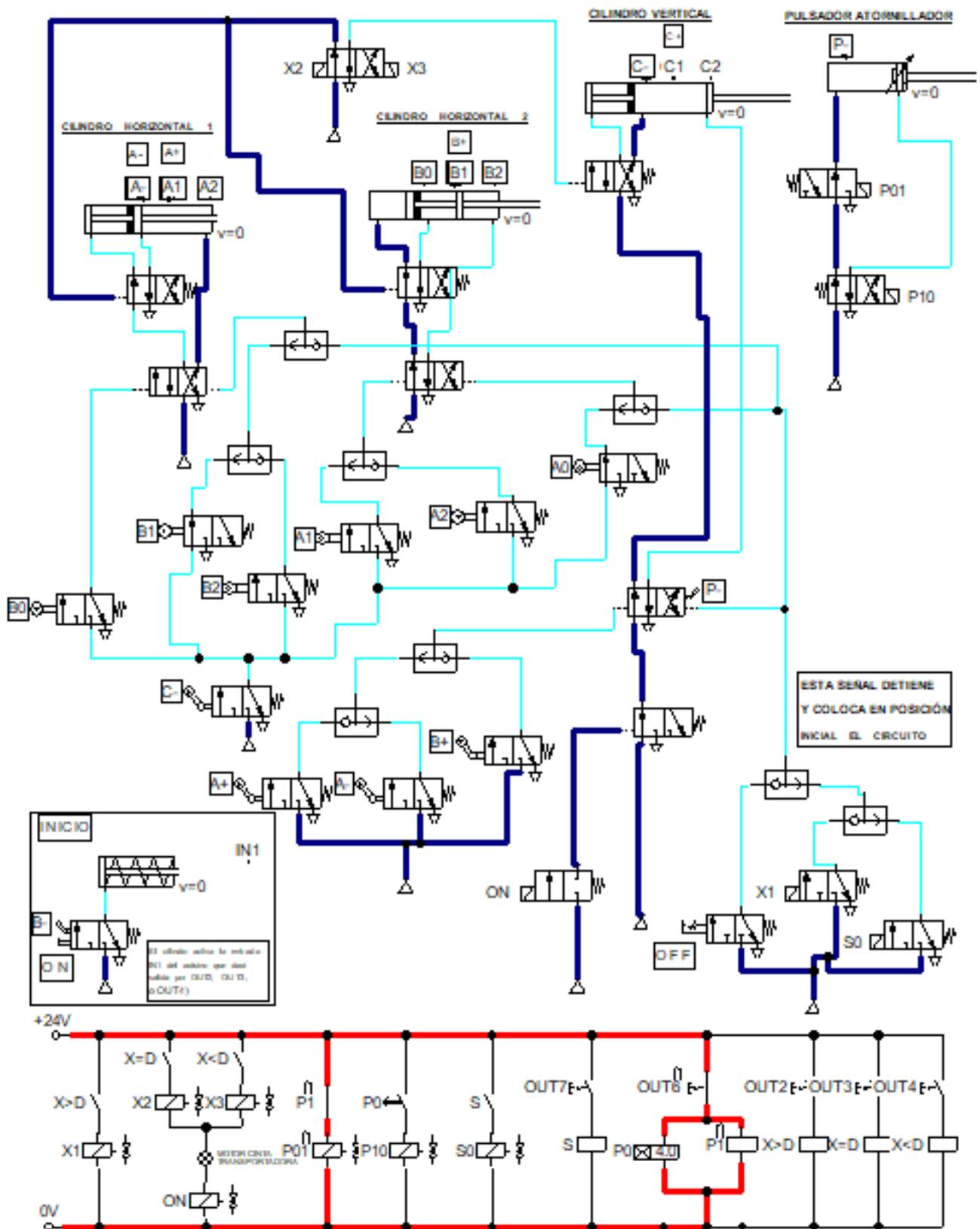


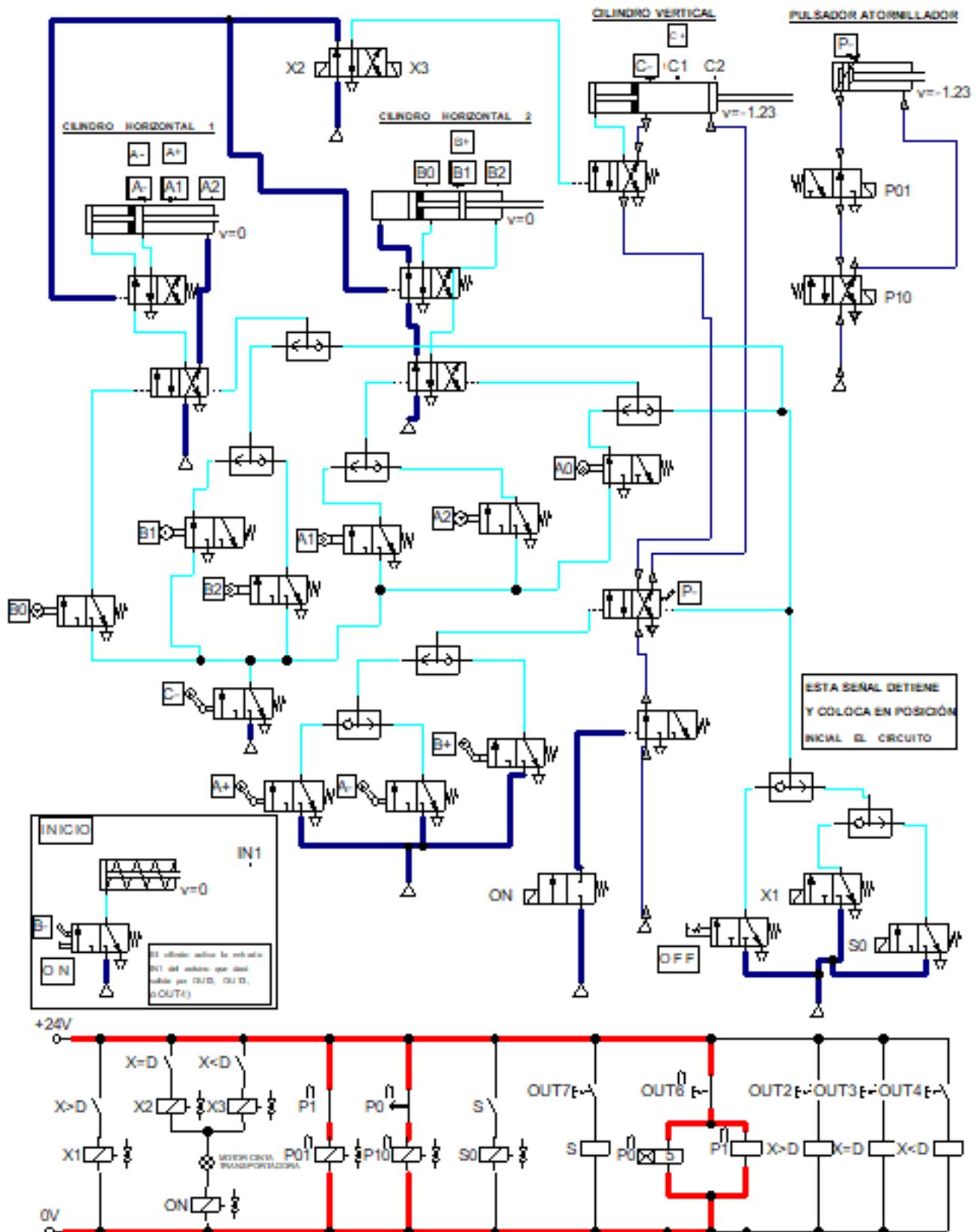


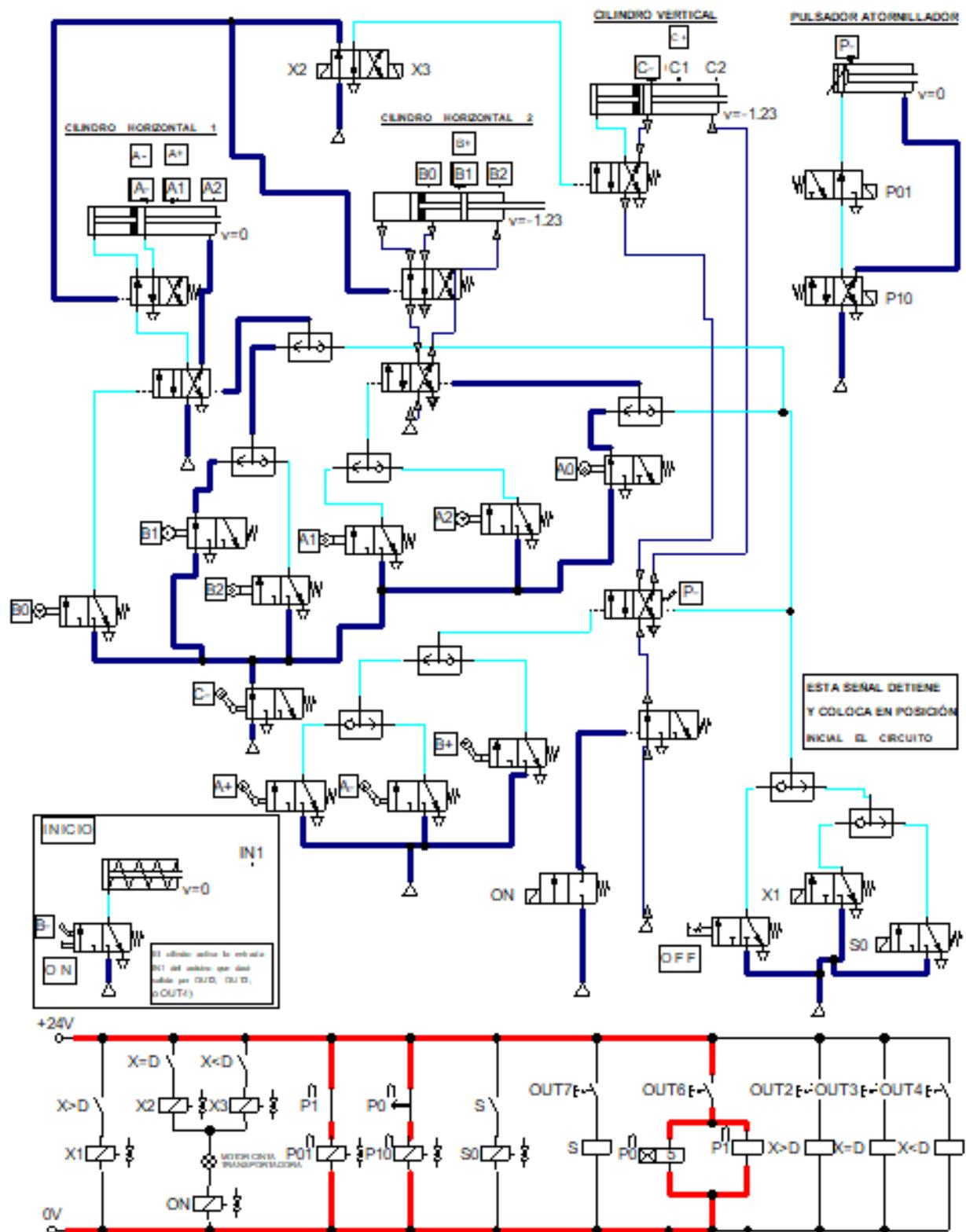












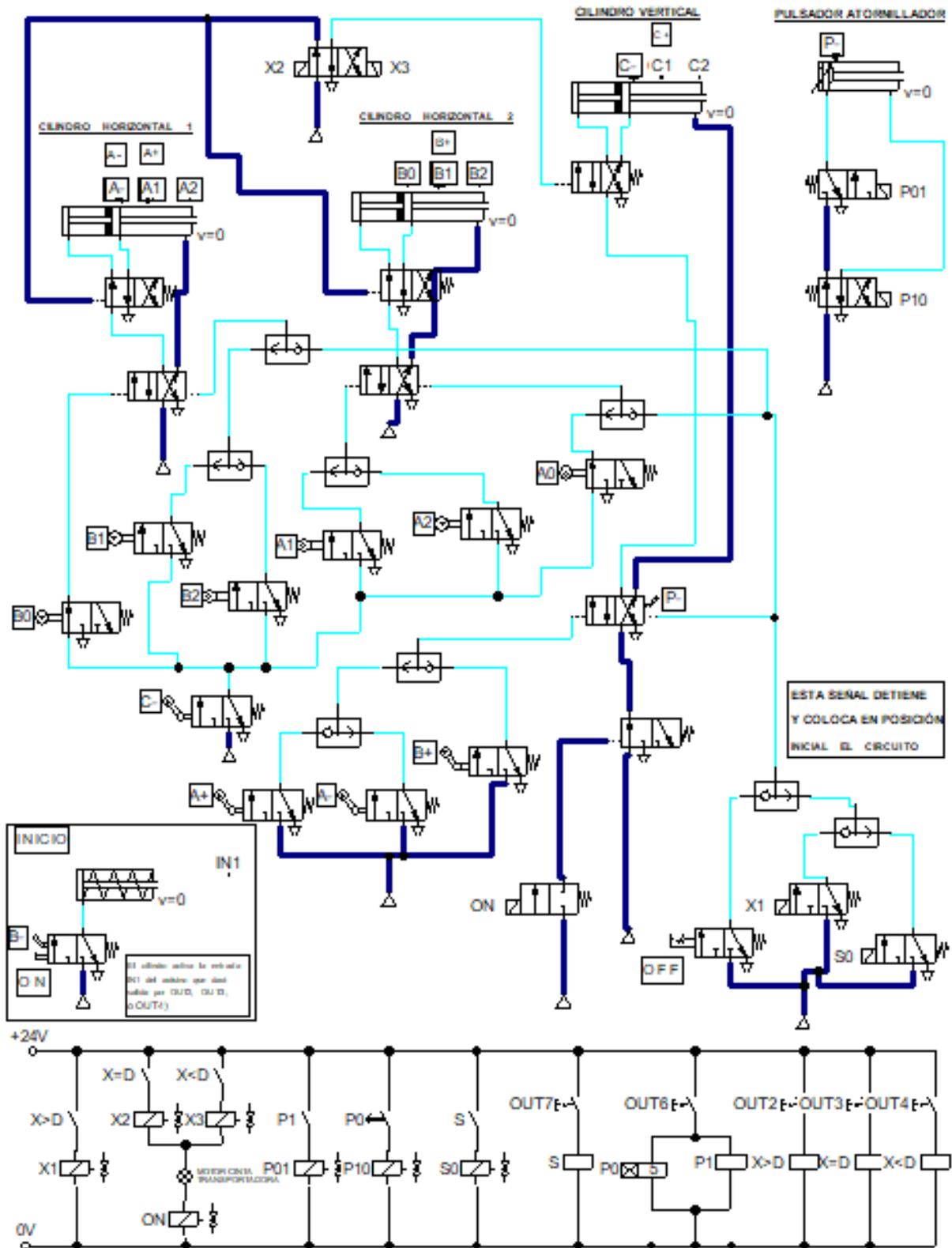


Figura 82. Simulación circuito.

10 PRESUPUESTO

Finalizado el proyecto, cabe estudiar su valor monetario, calculando los costes aproximados de cada una de sus partes, además de su fabricación y diseño, incluyendo todas las licencias necesarias para el conjunto del trabajo.

Para ello dividiremos el presupuesto en tres subtotales diferenciados: licencias informáticas, mano de obra y material utilizado.

10.1 LICENCIAS

LICENCIA	CANTIDAD	COSTE UNIDAD(€/ud)	COSTE TOTAL (€)
Windows Office	1	149,99	149,99
Autodesk Inventor Professional	3 (meses)	363	1089
Windows 10 Home	1	145	145
SUBTOTAL			1383,99

Figura 83. Presupuesto licencias.

10.2 MANO DE OBRA

MANO DE OBRA	CANTIDAD(h)	COSTE UNIDAD(€/h)	COSTE TOTAL (€)
INGENIERIL	175	22	3850
SUPERVISIÓN	15	22	330
MONTAJE	35	25	875
SUBTOTAL			5055

Figura 84. Presupuesto mano de obra.

10.3 MATERIALES UTILIZADOS

MATERIAL	CANTIDAD	COSTE UNIDAD(€/ud)	COSTE TOTAL
PATA	5	20	100
TACO CAUCHO	20	0,5	10
TABLA SOPORTE	1	100	100
SOPORTE CINTA	2	85	170
RODAMIENTO JB/T 10238	20	70,66	1413,2
EJE CINTA	10	60	600
ISO 4014 - M10 x 45	16	2,17	34,72
UNIÓN SOPORTE CINTA	1	30	30
ISO 4014 - M10 x 55	8	4,67	37,36
ISO 4032 - M10	8	0,52	4,16
VAGÓN SIMPLE 1	1	18	18
VAGÓN SIMPLE 2	1	19,5	19,5
VAGÓN PORTA CILINDRO 1	1	48	48
VAGÓN PORTA CILINDRO 2	1	48	48
EJE CORTO	1	17	17
EJE LARGO	1	17	17
SOPORTE HUSILLO	1	75	75
CILINDRO DE DOBLE SALIDA	3	87,51	262,53
CILINDRO DOBLE EFECTO	1	45,56	45,56
CILINDRO CARRERA CORTA	1	34,32	34,32
CILINDRO SIMPLE EFECTO	1	39,64	39,64
SENSOR LASER	2	15,61	31,22
SOPORTE SENSOR LASER	1	17	17
PARED SENSOR LASER	1	13	13

FINAL DE CARRERA RODILLO	8	16,12	128,96
FINAL DE CARRERA RODILLO ABATIBLE	6	19,35	116,1
PUERTA NEUMÁTICA OR	8	13,96	111,68
VALVULA 3,2	18	41,66	749,88
VALVULA 4,2	7	66,15	463,05
MOTOR ELÉCTRICO	1	86,79	86,79
PULSADOR ELECTRICO	5	12,91	64,55
SOLENOIDE	7	10,82	75,74
RELÉ/OBTURADOR	1	26,2	26,2
ARDUINO UNO	1	23,57	23,57
ATORNILLADOR WEBER	1	4845	4845
SUBTOTAL			9876,73

Figura 85. Presupuesto materiales utilizados.

10.4 COSTE FINAL

SUBPARTADO	COSTE TOTAL
LICENCIAS	1383,99
MANO DE OBRA	5055
MATERIAL	9876,73
TOTAL	16315,72
13% GASTOS GENERALES	2121,04
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	978,94
COSTE FINAL	19415,71

Figura 86. Coste total del proyecto.

11 CONCLUSIONES

Al comienzo del proyecto me surgían dudas sobre el hecho de, automatizar este proceso de producción basándome casi totalmente en la neumática, ya que también consideraba la opción de hacerlo electrónicamente. Finalmente me decidí por generar un diseño casi puramente neumático, debido a que entendía que la dificultad del proceso que iba a automatizar, lo permitía perfectamente.

Además, en mi estaba la idea de que haciendo que el proceso dependiese únicamente del aire, lo dotaría de una robustez mayor, hecho fundamental sabiendo que el coste del sistema no iba a ser barato, y que para poder amortizar su valor, tendría que tener un uso prolongado.

Cuando llego el momento de diseñar el circuito electroneumático, rápidamente me di cuenta de que es necesario un mínimo de electrónica, para que el circuito funcionase sin complicarlo excesivamente. A partir de aquí, a lo largo del diseño iba entendiendo que, aunque efectivamente sí que podía ser una ventaja depender únicamente del aire, aparecían también otros factores más diferenciales. Fundamentalmente, como la complejidad del circuito limita determinantemente las funciones que pueda desempeñar. Además, la cantidad de elementos necesarios para poder ejecutar la secuencia, hace que el volumen que ocupe sea también un factor negativo. Y todo esto, podría ser suplido casi en su totalidad por una programación adecuada, la cual no tiene ni límites físicos, ni de dificultad.

Por último, una vez calculé el presupuesto, vi que la cantidad de elementos necesarios en el circuito, también incrementaba claramente el coste de la automatización del sistema.

Analizando todo esto, puedo concluir que la automatización de un proceso neumáticamente, va siendo menos rentable a medida que se complica el proceso a automatizar, a la vez que aumentan los beneficios de la utilización de electrónica.

12 REFERENCIAS

Sector automoción en la industria

- [1] Rafael Muñoz Ramírez -ExPresidente de Mercedes-Benz España S.A.- , "La industria de automoción: su evolución e incidencia social y económica"
- [2] <https://www.investinspain.org/es/sectores/automocion-movilidad>
- [3] <https://thecarbook.wordpress.com/2016/03/23/fardier-de-1769/>
- [4] Marina Bordacheva, "Aportación de la industria del automóvil al crecimiento económico de España e impacto de las tendencias actuales en el sector"
- [5] Gobierno de España, "Agenda Sectorial de la Industria de Automoción 2017"
- [6] <https://www.motorpasion.com/industria/100-anos-de-ford-en-cadena-o-cuando-ford-reinvento-la-industria>

Alternador

- [7] "Manual de taller, alternadores 2004/05"
<https://www.prestolite.com/Corporate/>

Neumática

- [8] Arturo Agalio Alvarado Dubón –Universidad autónoma de nuevo León– "Tecnología neumática y sus aplicaciones"
- [9] A. Serrano Nicolás, "Neumática Práctica"
- [10] Pedro Fernández Díez –Universidad de Cantabria-, "Compresores"

- [11] <https://personales.unican.es/redoc/docencia.htm>
- [12] <https://personales.unican.es/ortizff/>
- [13] <https://www.directindustry.es/cat/actuadores-hidraulicos-neumaticos-BC.html>
- [14] <https://hidroneumaticaaplicada.blogspot.com/>
- [15] <https://www.mundocompresor.com/>
- [16] <https://www.monografias.com/trabajos13/actoneu/actoneu.shtml>
- [17] <https://www.aignep.com/Attuatori-Pneumatici>
- [18] <https://www.smc.eu/en-eu/products/actuators~16635~nav>
- [19] http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361_ca.pdf
- [20] <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica18.htm>
- [21] <http://oa.upm.es/view/department/Ingenieria=5FEnergetica/>
- [22] <https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-lineales-neumaticos/8389556>
- [23] http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/3_actuadores_neumaticos.html

Uniones roscadas

- [24] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley"

- [25] Jesús Félez Mindán, María Luisa Martínez, "Ingeniería gráfica y diseño"

Atornillador Weber

- [26] Catálogo, "Atornillado automático Weber"

Control del mecanismo

- [27] <http://www.aldakin.com/aplicaciones-plc-industria-moderna/>
- [28] <https://hacedores.com/cuantos-tipos-diferentes-de-arduino-hay/>
- [29] <https://www.arduino.cc/en/Guide>
- [30] <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/>
- [31] <https://rufianenlared.com/sensor-laser/>
- [32] <https://sumador.com/products/arduino-uno-r3-compatible>
- [33] "Hoja de datos-Convertidores dc-dc aislados de salida única"
<https://es.rs-online.com/web/p/convertidores-dc-dc-aislados/6895056>

FluidSIM

- [34] http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_resumen.pdf
- [35] "Brochure - FluidSIM 5 ES" <https://www.festo-didactic.com/>

13 AGRADECIMIENTOS

Para concluir, me gustaría dar las gracias a muchas personas, todas aquellas que de una manera o de otro, me han ayudado en este proceso, aunque no puedo citar a todas las que me gustaría.

Primero a mi familia, sin la cual nada de esto sería posible, fundamentalmente mi madre, mi padre, mis hermanas y mi abuelo, todas ellas con las que he vivido durante parte o todo el proceso.

Segundo, a mis compañeros y amigos, parte necesaria, llevando mi aprendizaje desde el plano más académico hasta el más personal. Me han hecho disfrutar estos años, y es aquí donde no podría citarles a todos, desde los que me han acompañado ya en bachiller, hasta Reinosa, Santander, Braga...

Tercero, agradecer a cada uno de los profesores de los que he tenido la oportunidad de aprender, de los cuales, aunque ellos no lo sepan me acuerdo de muchos.

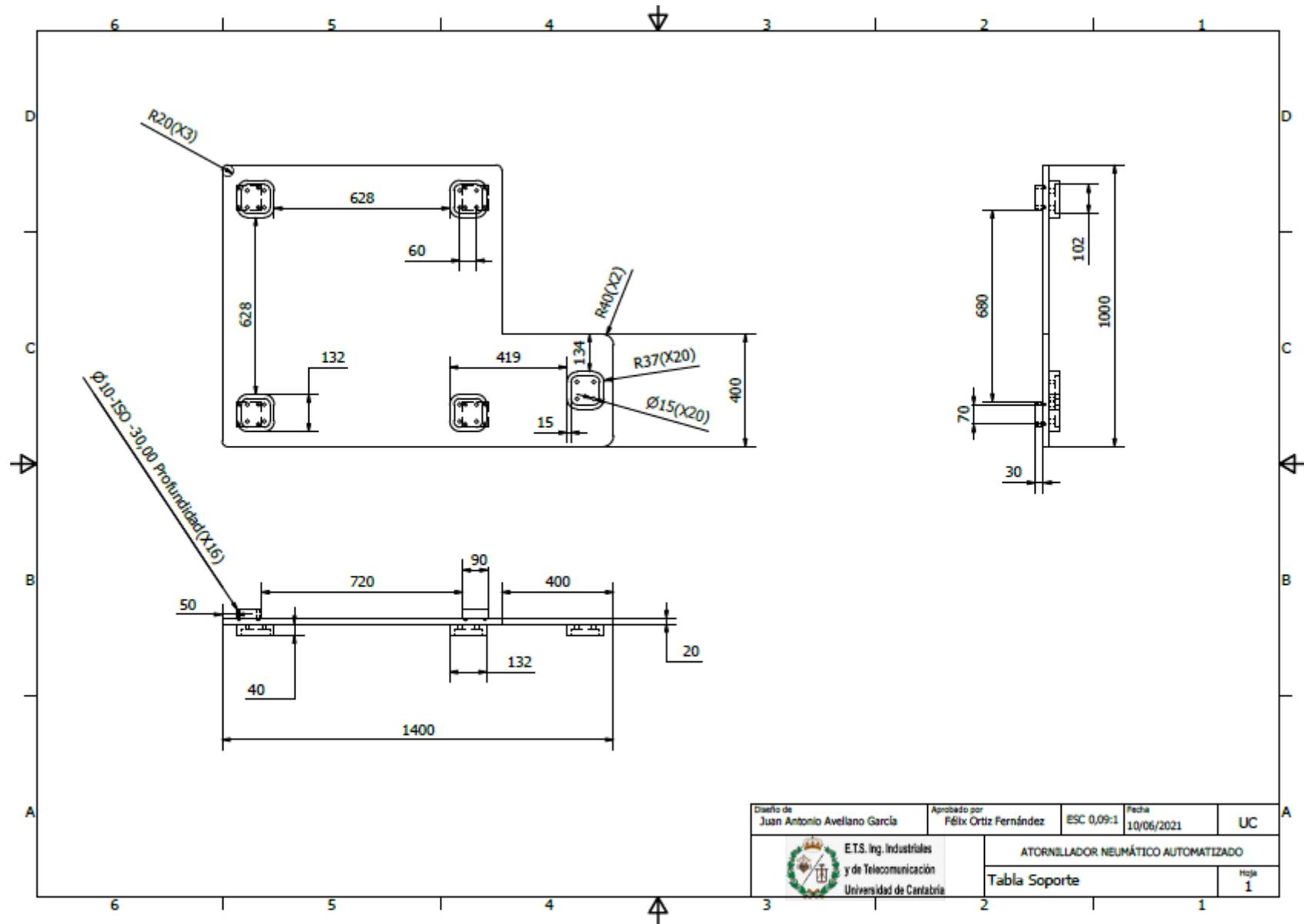
Por último, a Félix, mi tutor, no solo por ayudarme en la realización, también por la implicación como docente en todos los momentos en los que he tenido contacto con él.

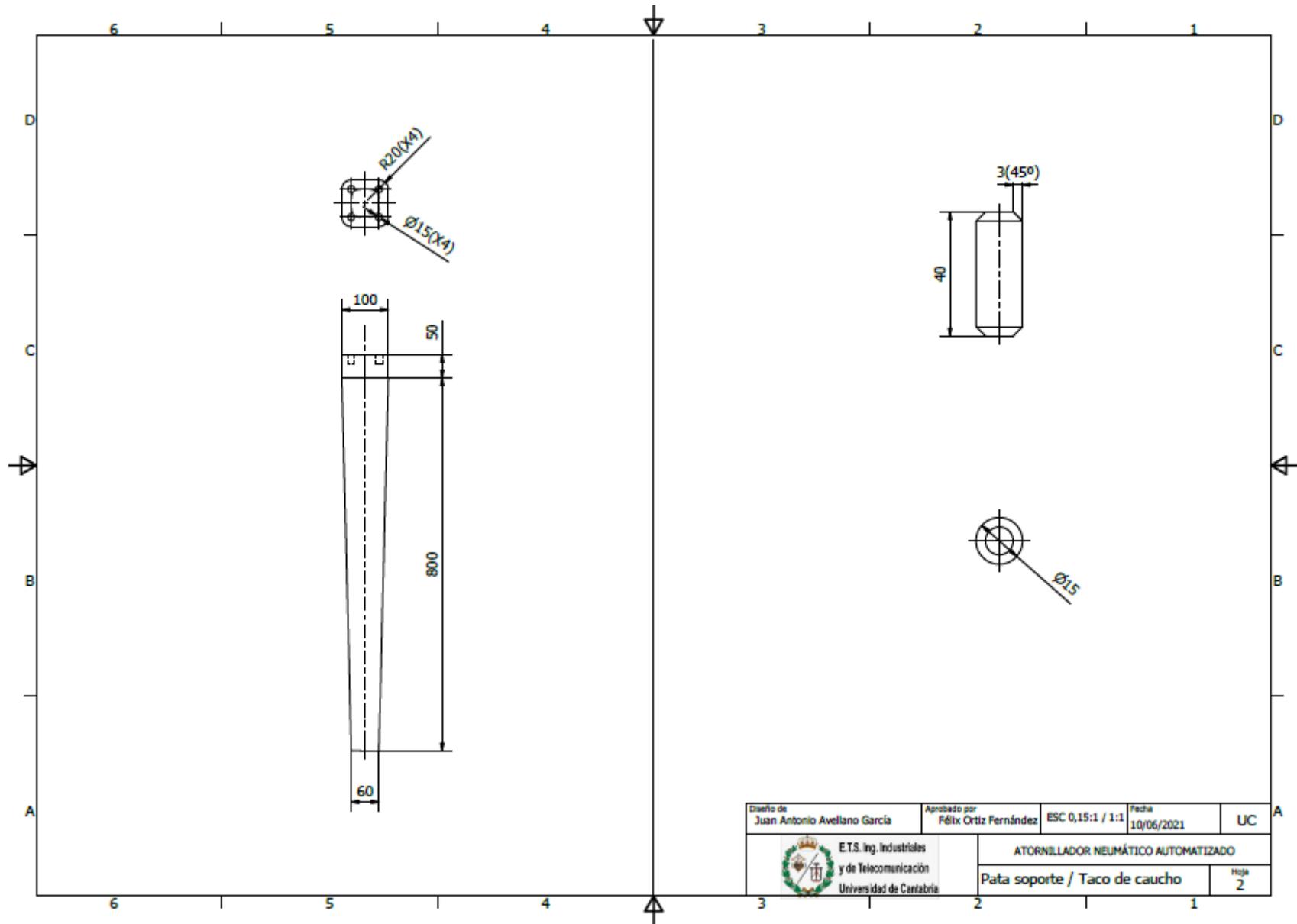
ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO (AUTOMATED PNEUMATIC SCREWDRIVER)

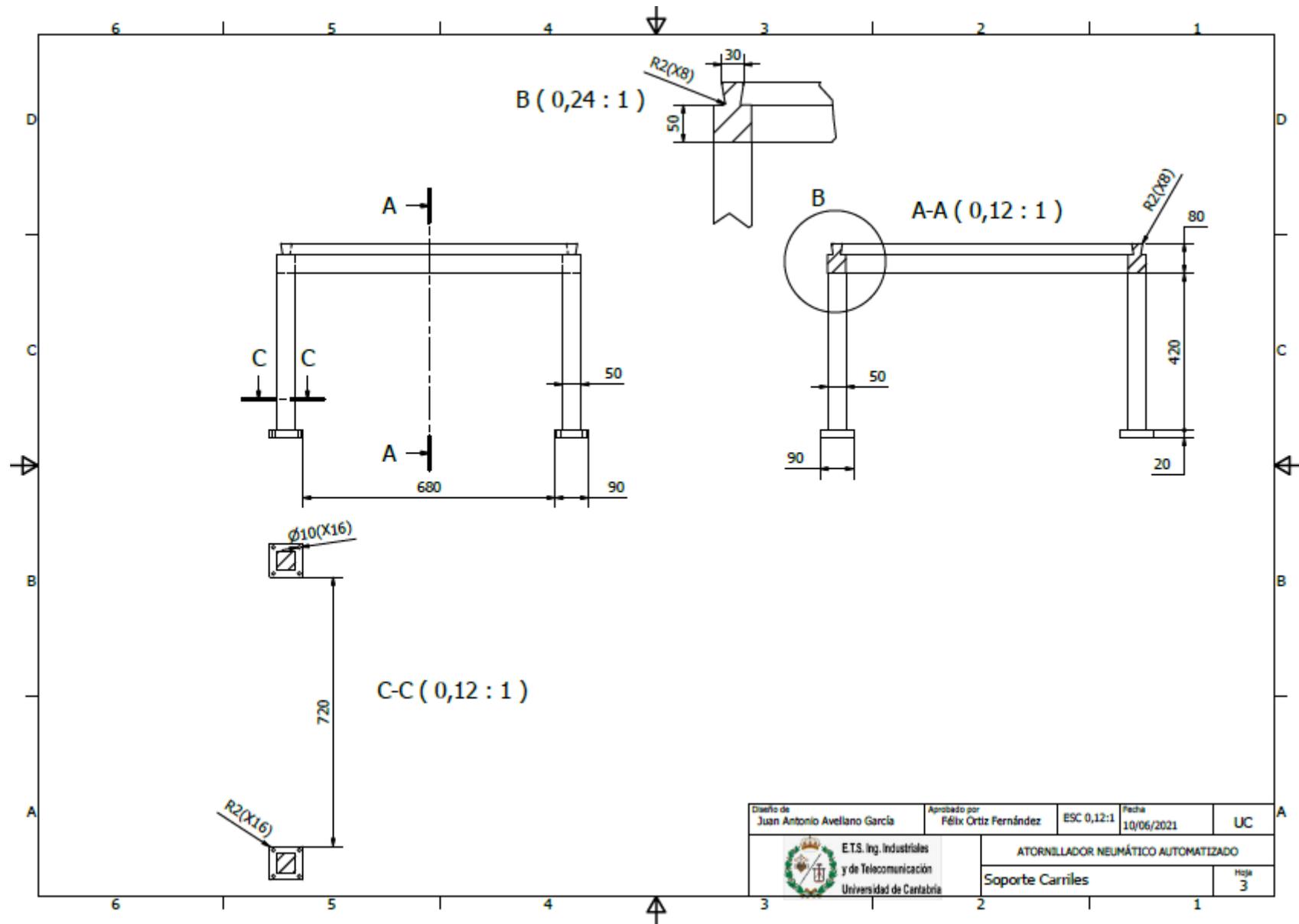
Grado en ingeniería mecánica

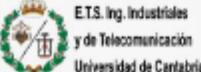
ANEXO I

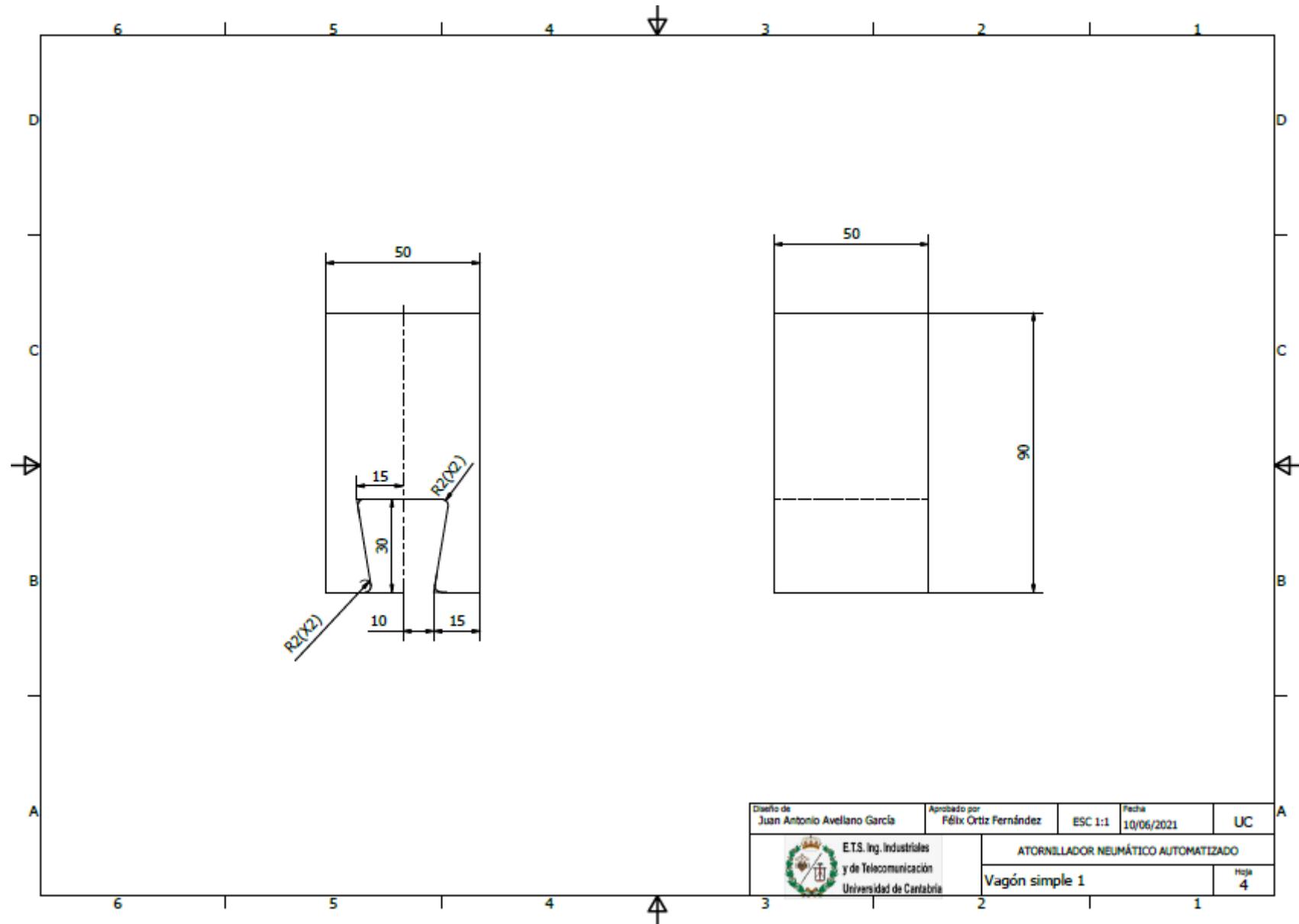
Planos diseño mecánico

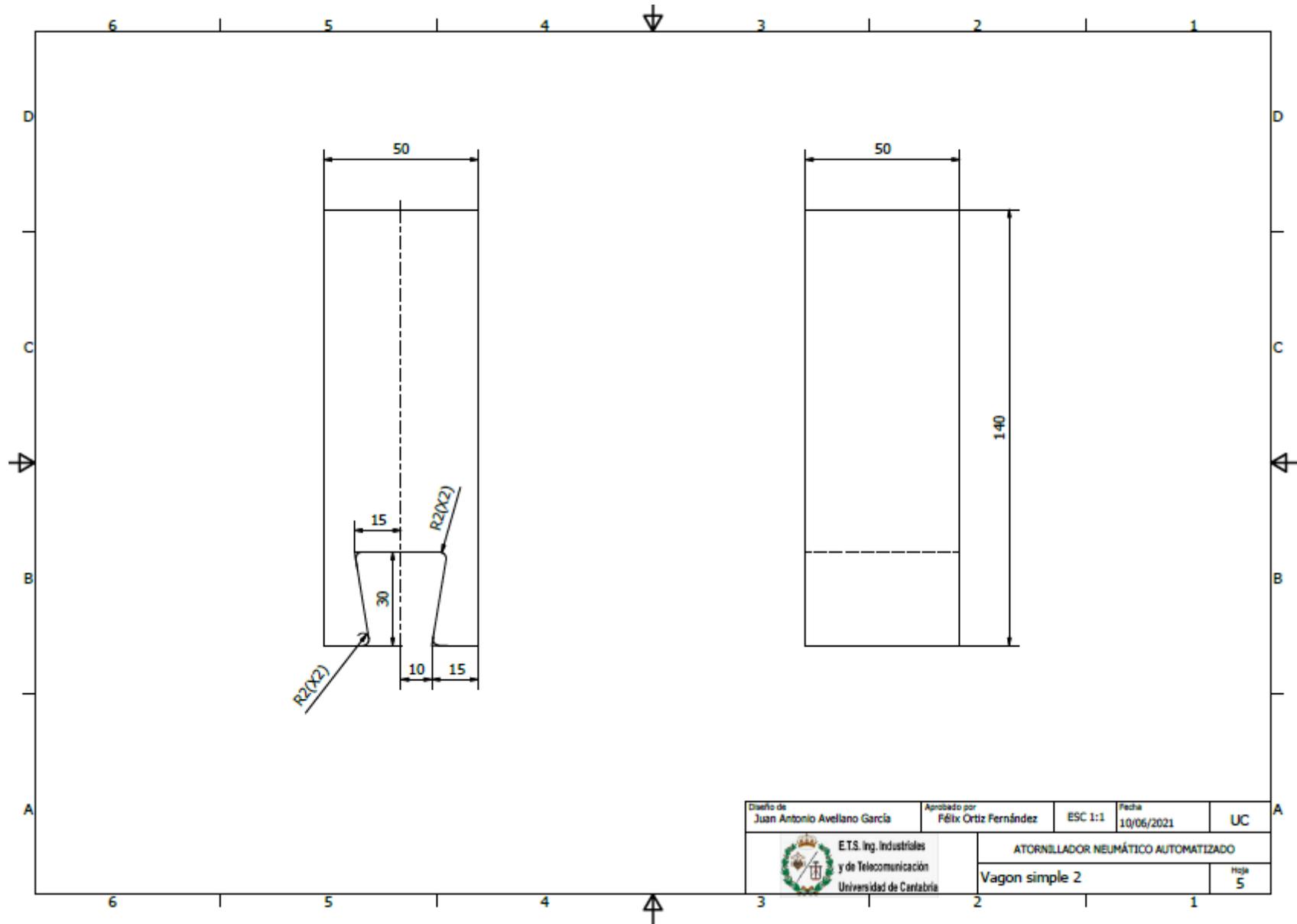




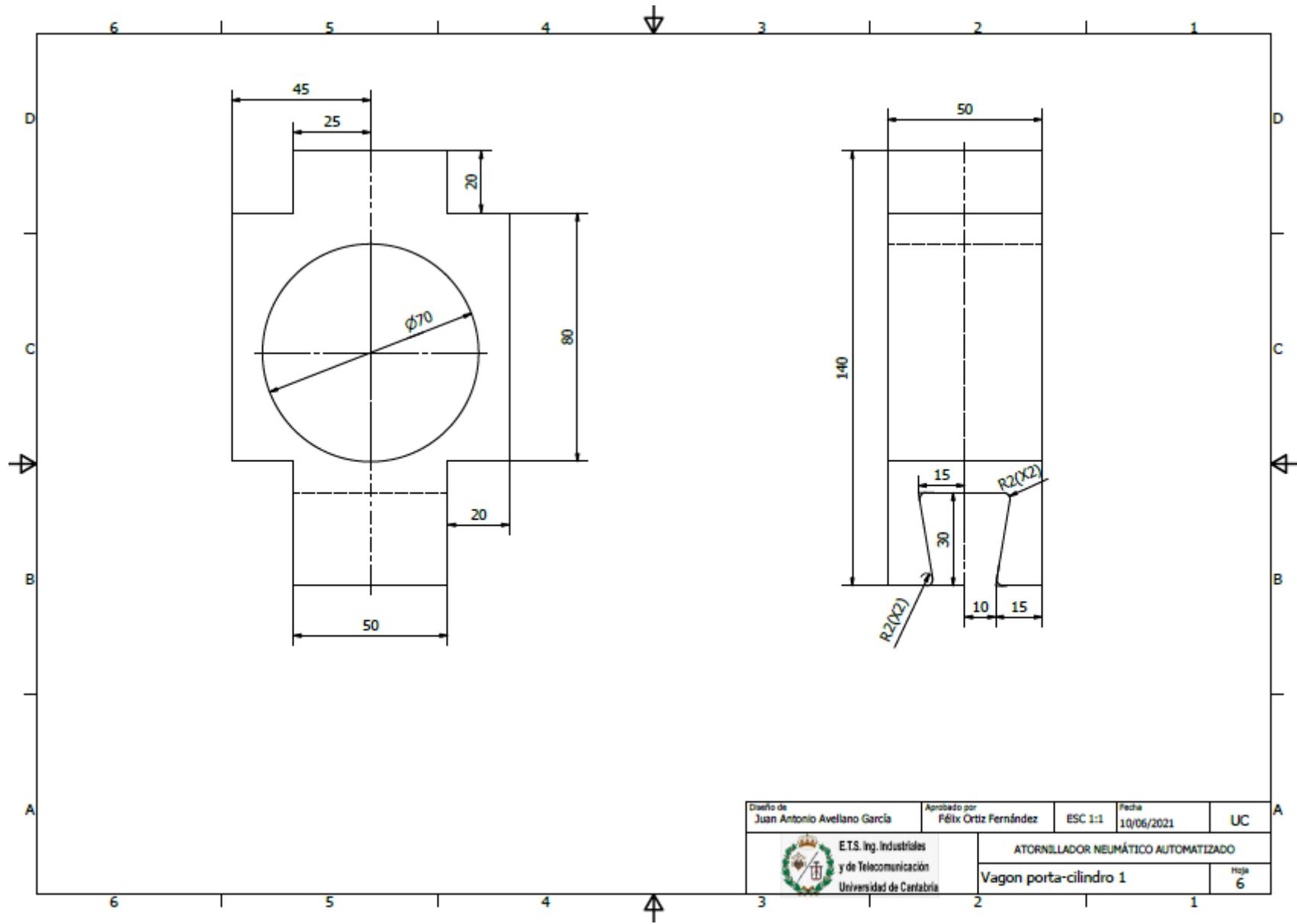


Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 0,12:1	Fecha 10/06/2021	UC
 ETS. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		
		Soporte Carriles		Hoja 3

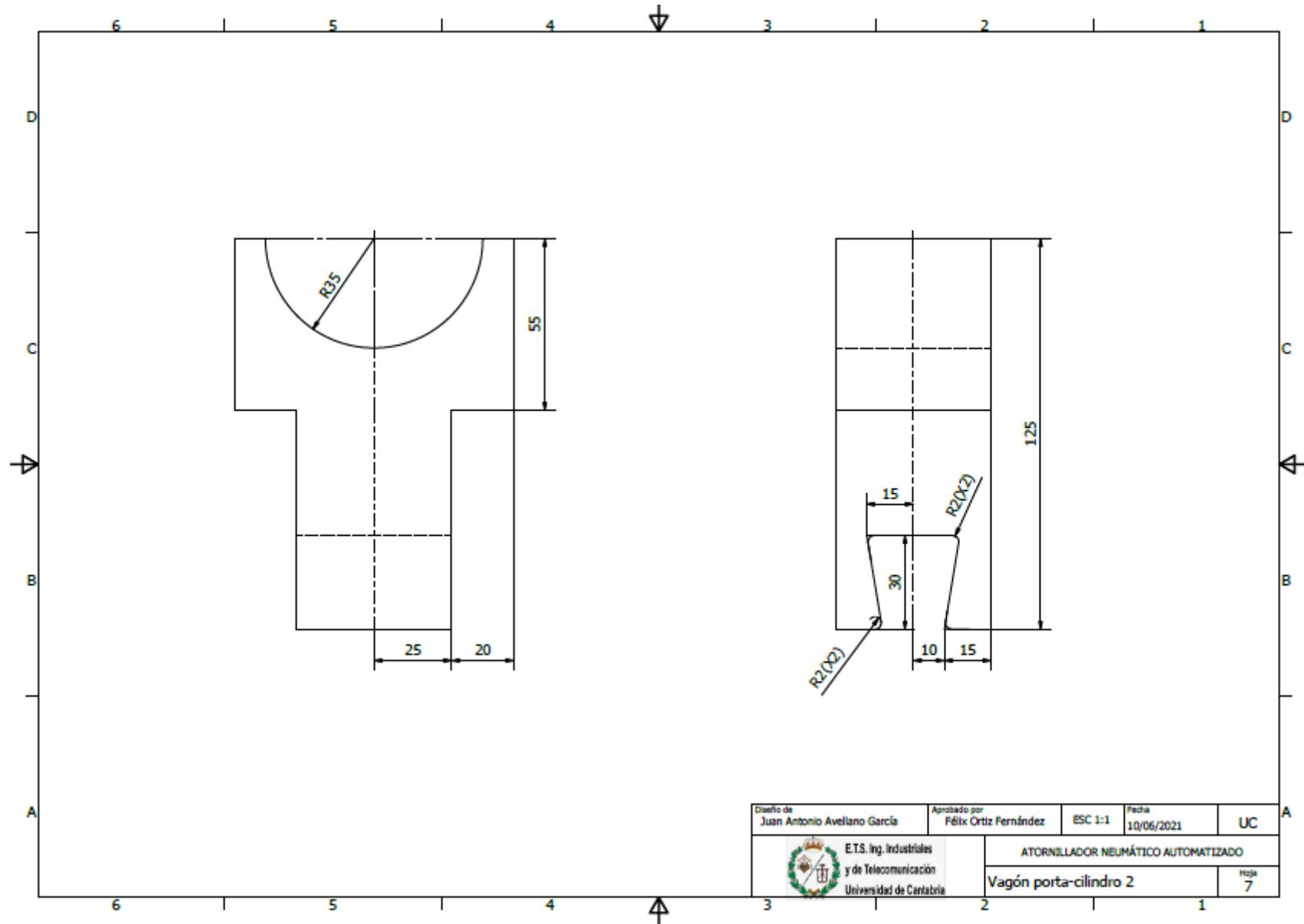


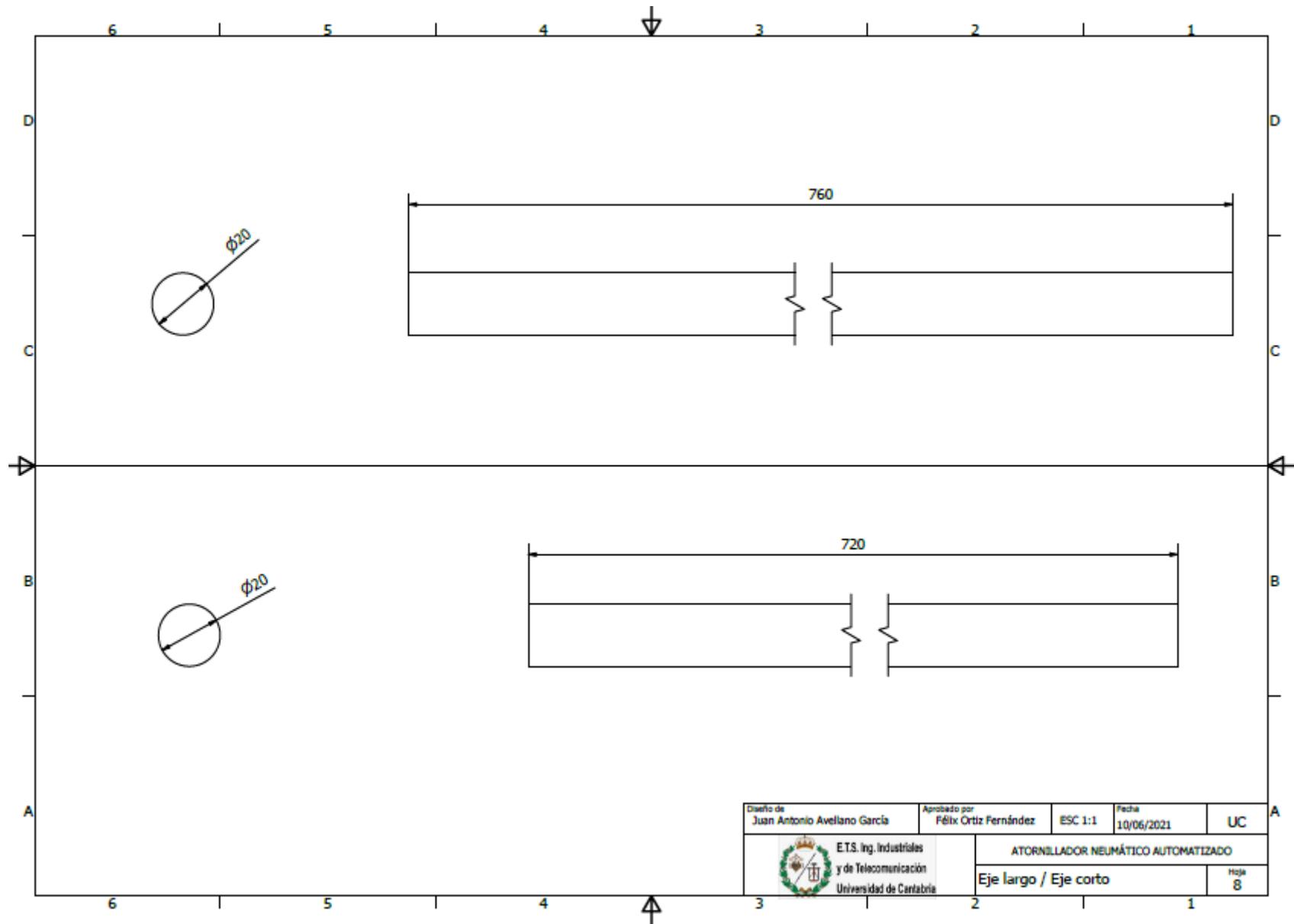


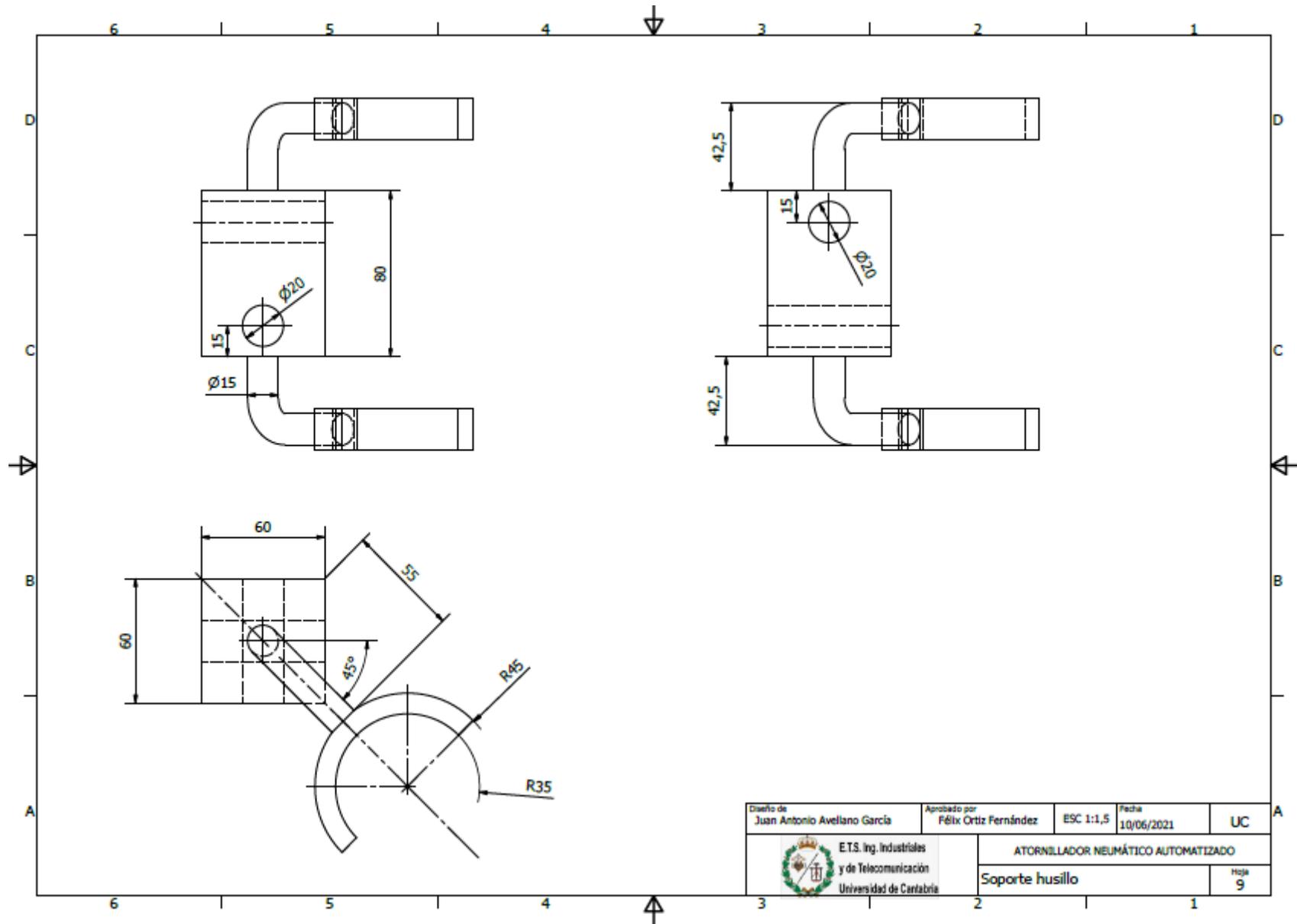
Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:1	Fecha 10/06/2021	UC
 E.T.S. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		
		Vagon simple 2		Hoja 5

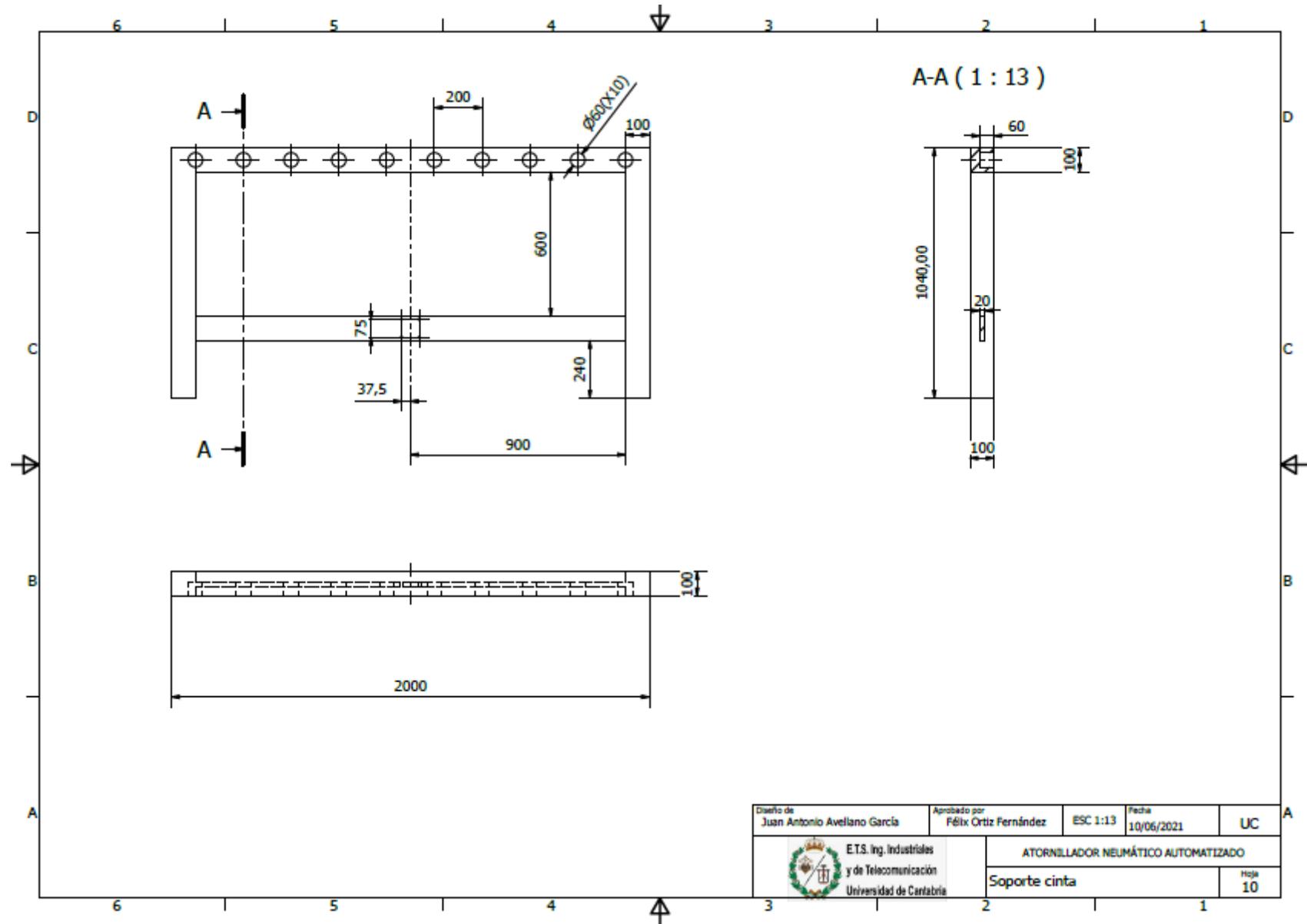


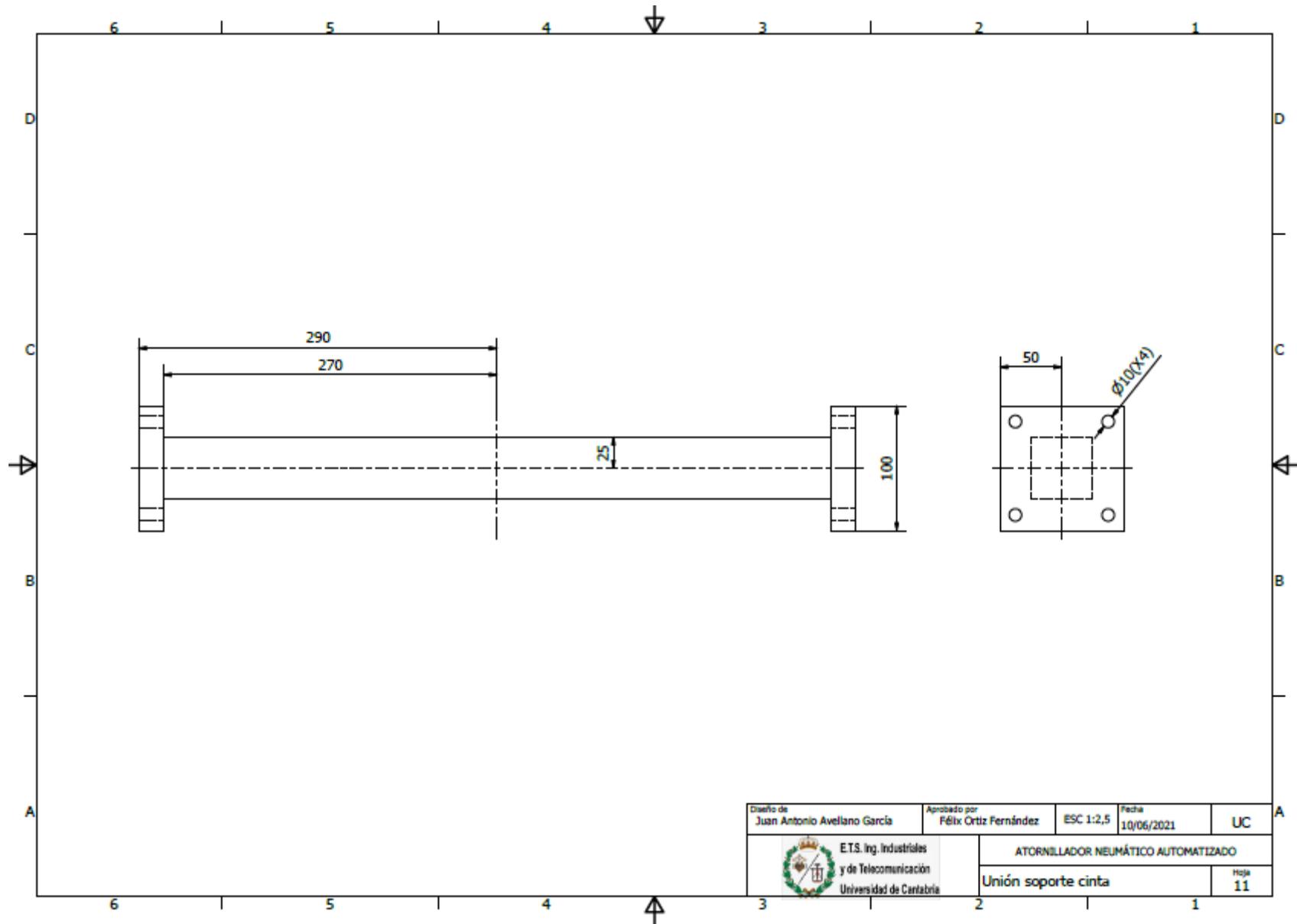
Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:1	Fecha 10/06/2021	UC
 ETS. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		
		Vagon porta-cilindro 1		Hoja 6



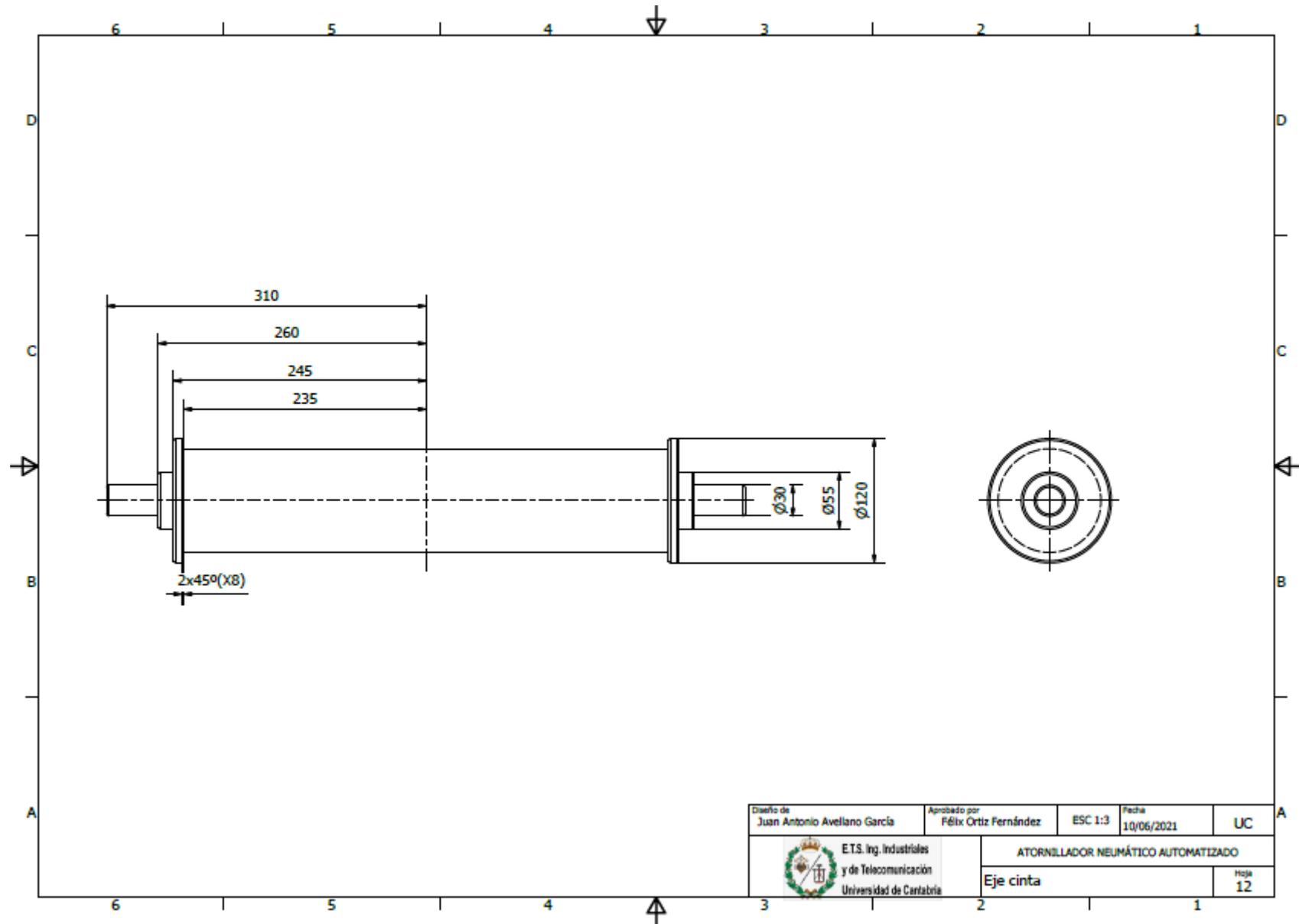


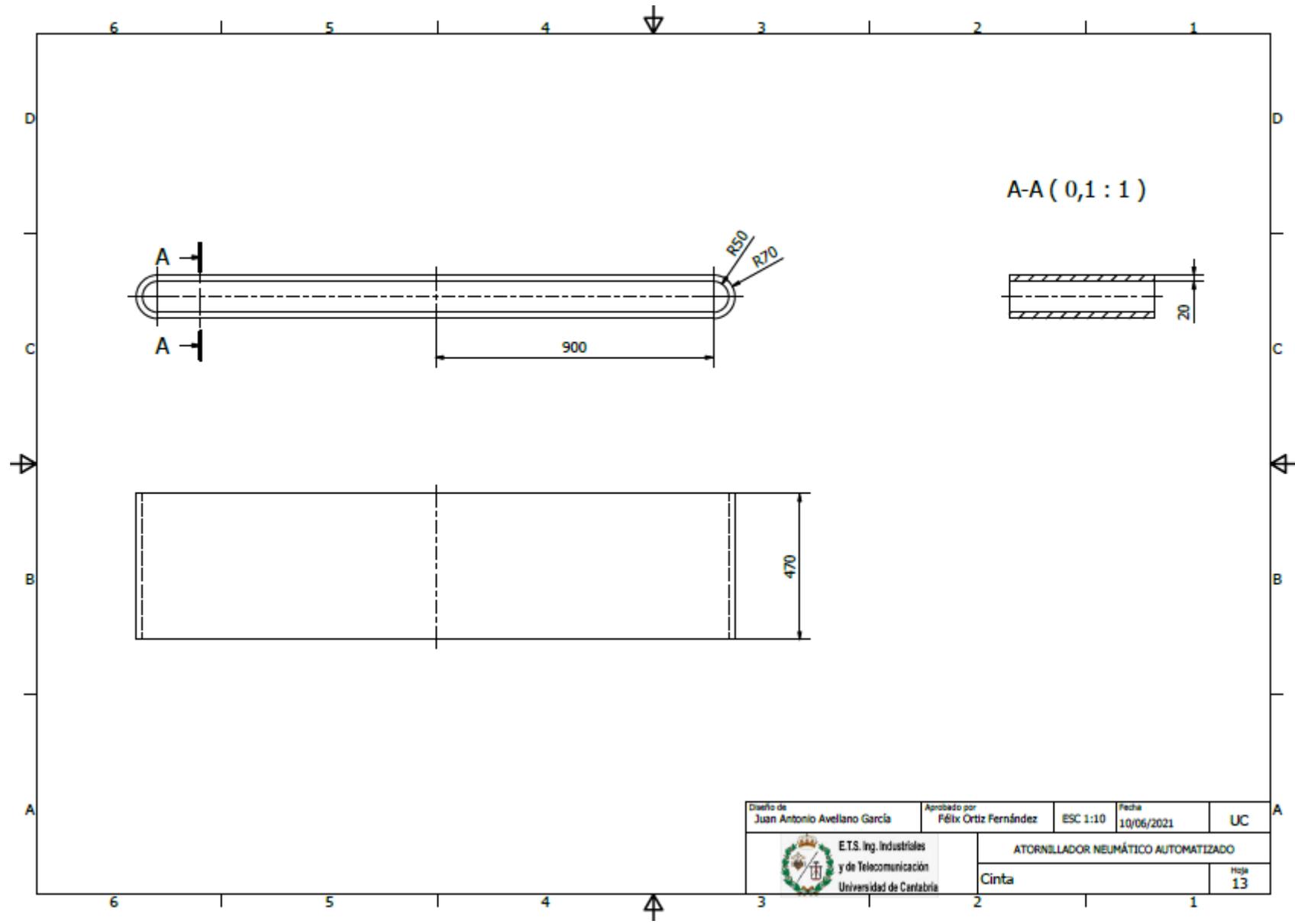




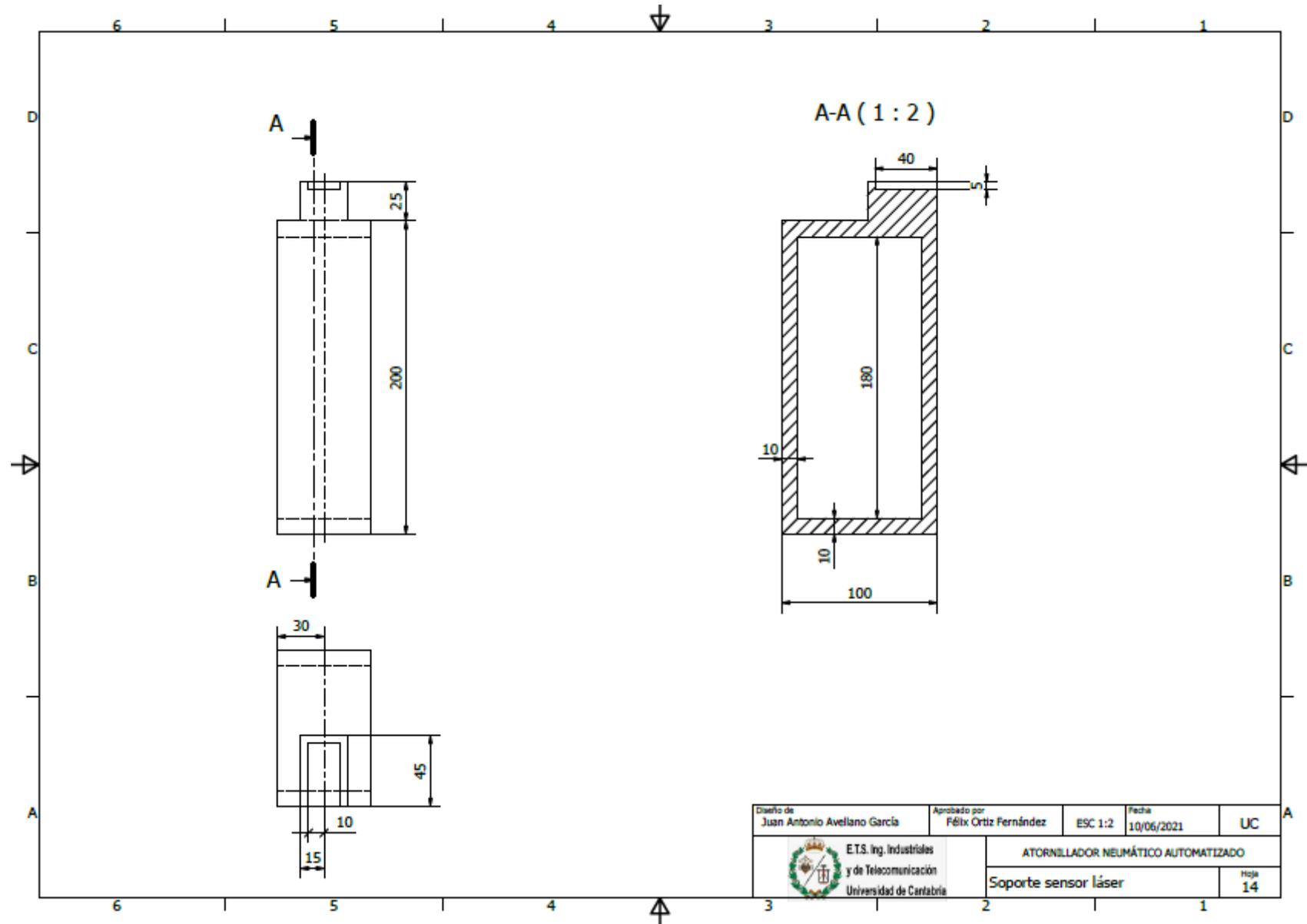


Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:2,5	Fecha 10/06/2021	UC
 ETS. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO Unión soporte cinta		Hoja 11

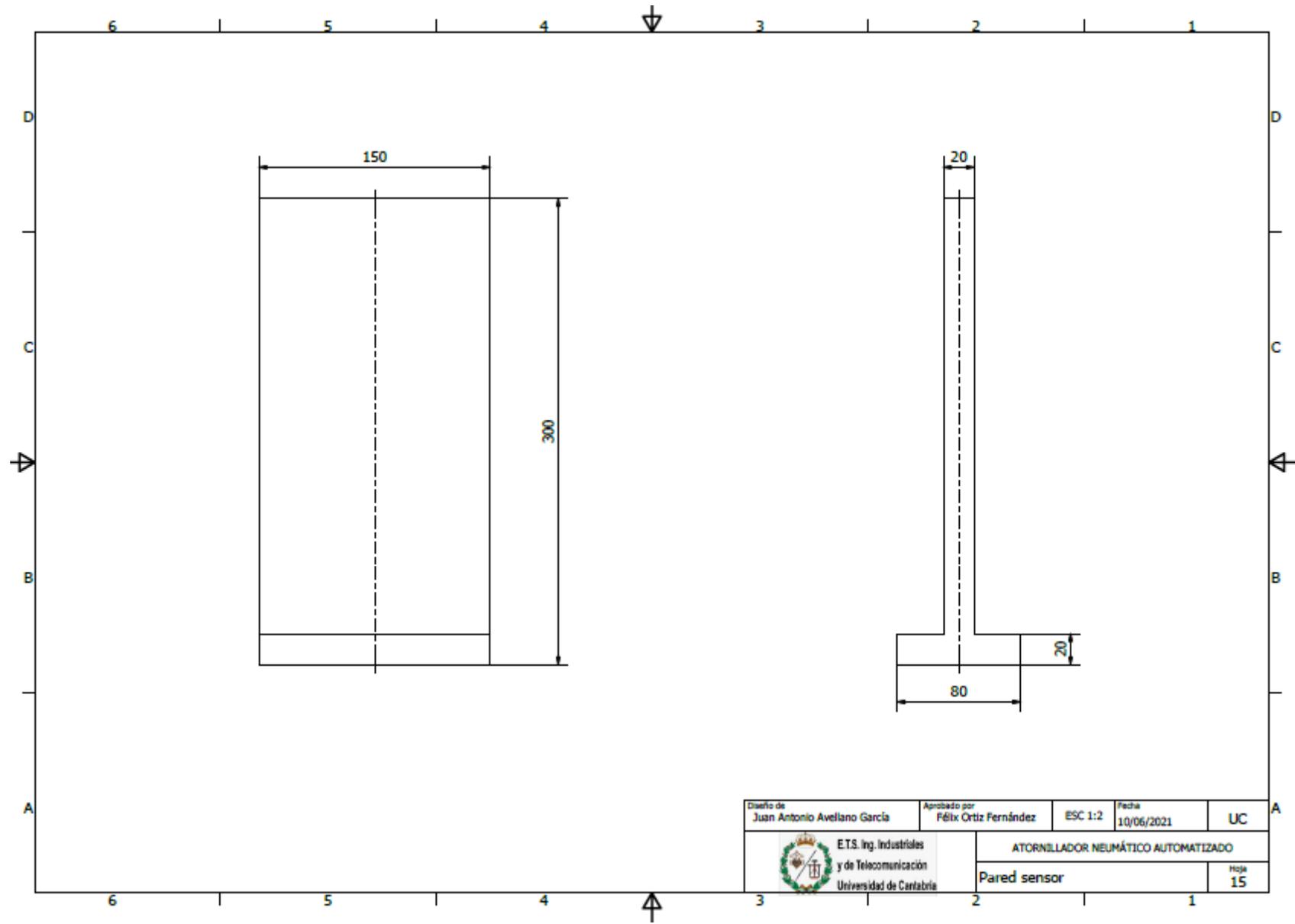




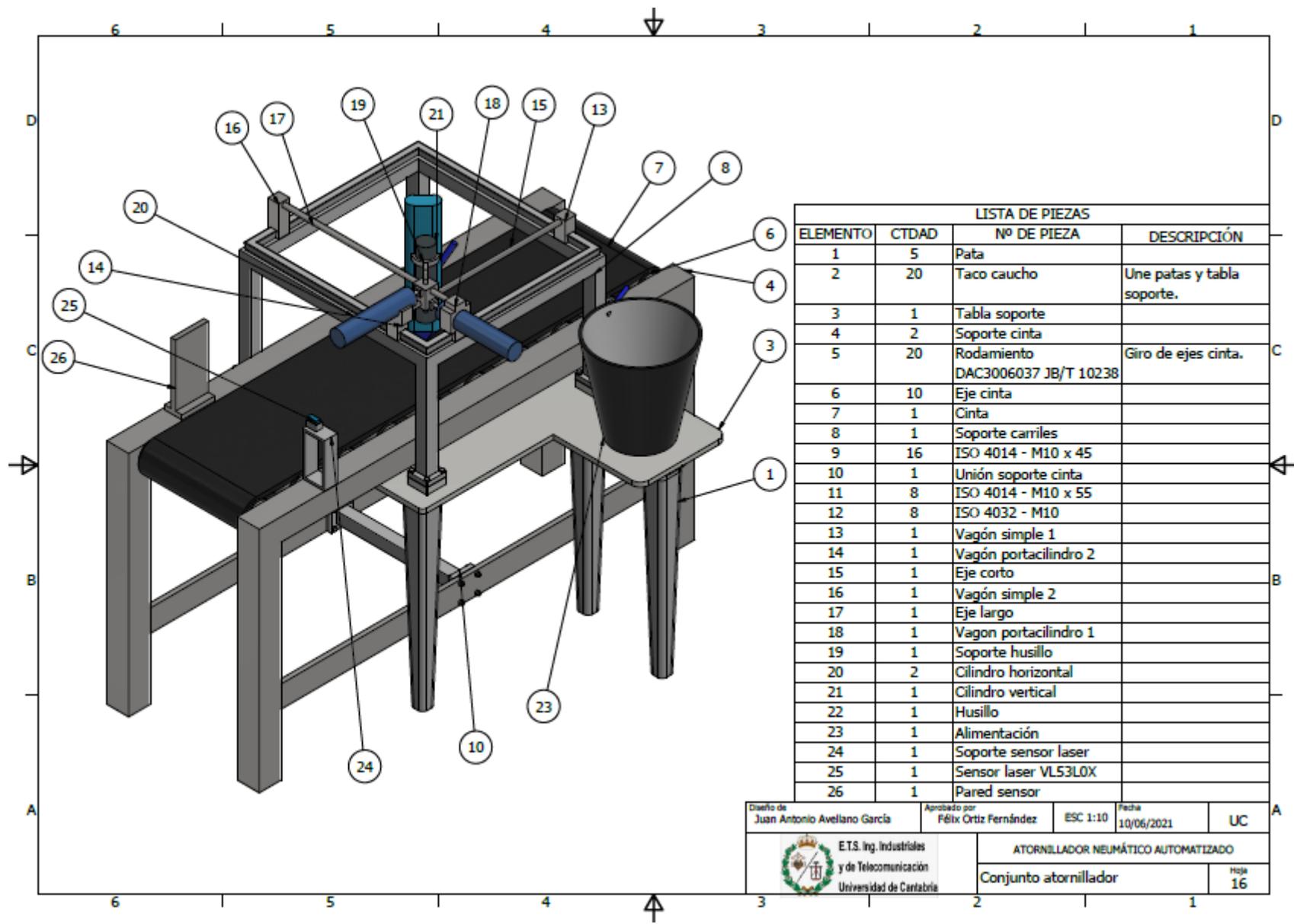
Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:10	Fecha 10/06/2021	UC
 ETS. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		
		Cinta		Foja 13



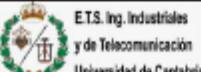
Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:2	Fecha 10/06/2021	UC
 E.T.S. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		
		Soporte sensor láser		Hoja 14

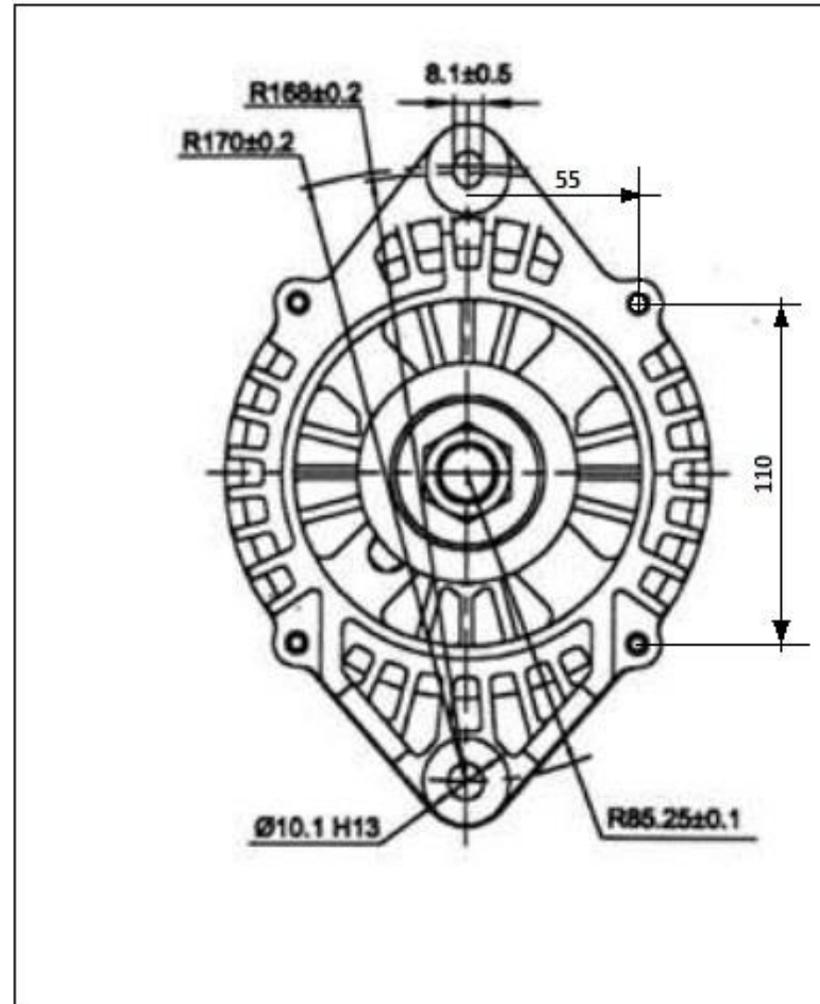
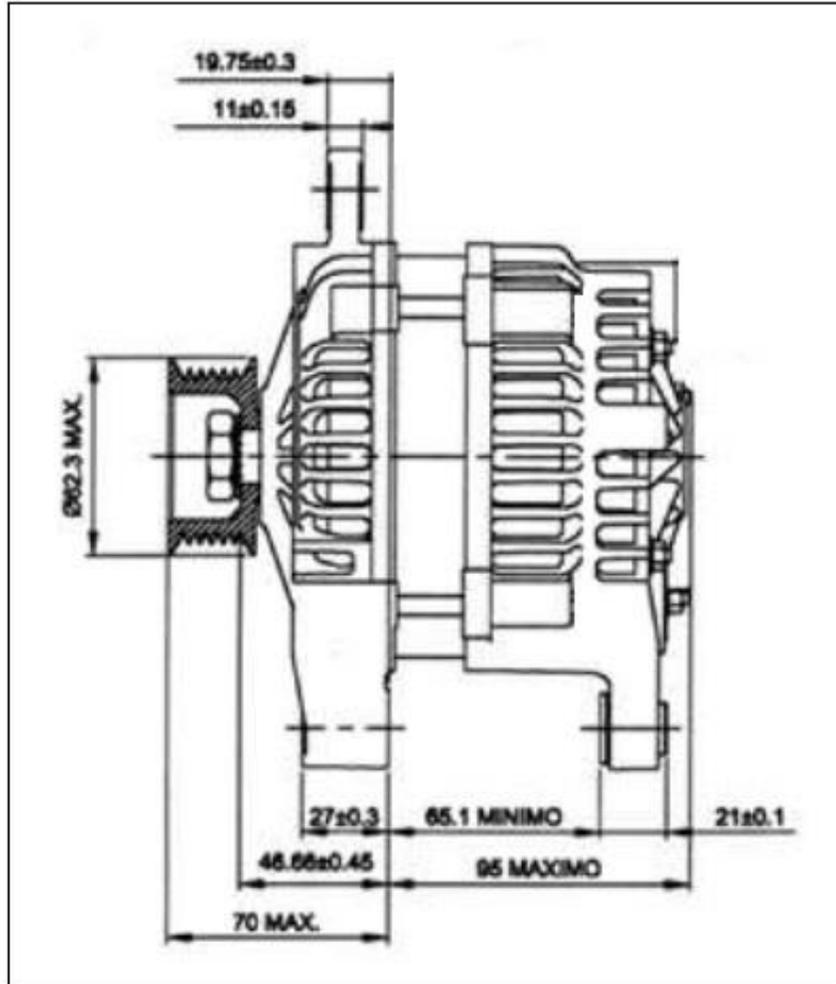


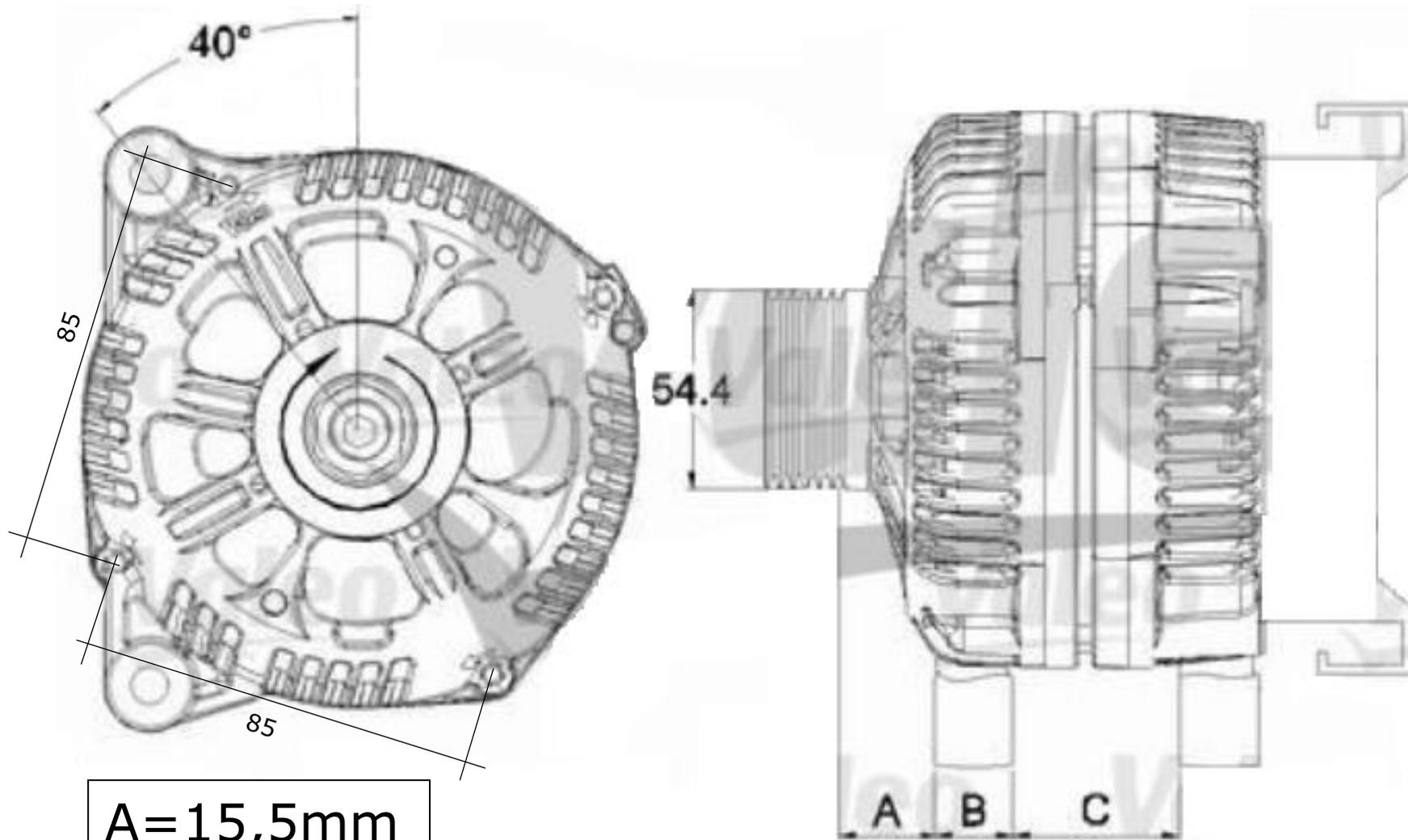
Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:2	Fecha 10/06/2021	UC
 E.T.S. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO		Hoja 15
		Pared sensor		



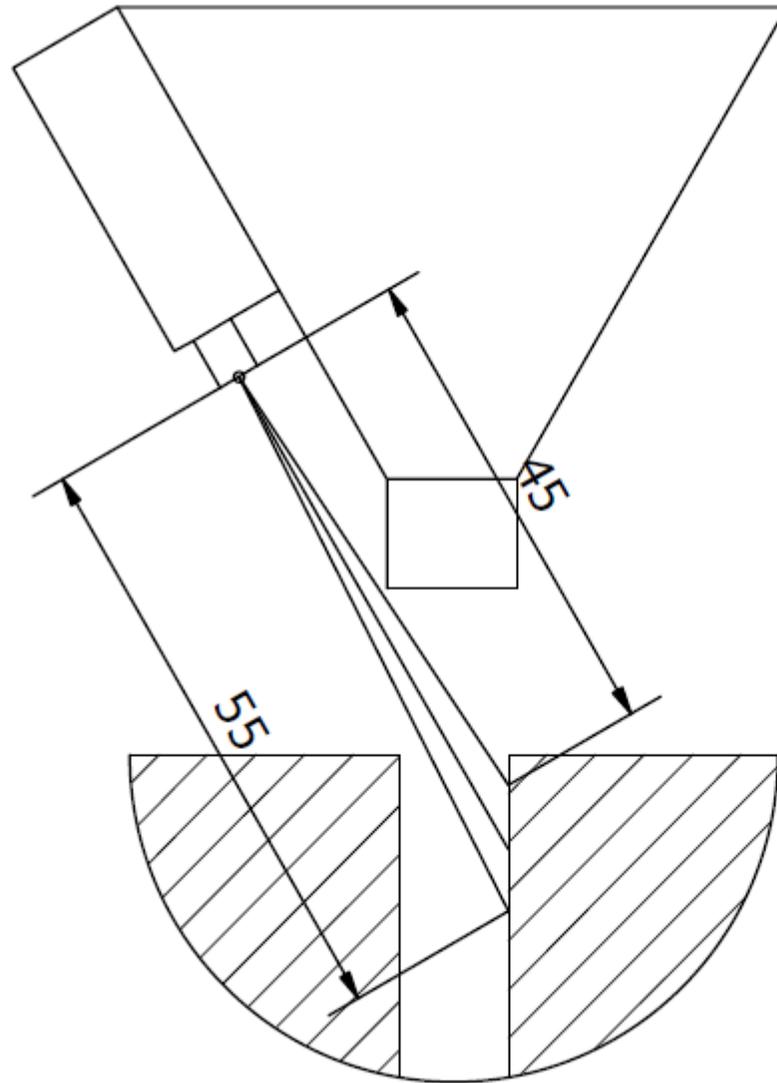
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	5	Pata	
2	20	Taco caucho	Une patas y tabla soporte.
3	1	Tabla soporte	
4	2	Soporte cinta	
5	20	Rodamiento DAC3006037 JB/T 10238	Giro de ejes cinta.
6	10	Eje cinta	
7	1	Cinta	
8	1	Soporte carriles	
9	16	ISO 4014 - M10 x 45	
10	1	Unión soporte cinta	
11	8	ISO 4014 - M10 x 55	
12	8	ISO 4032 - M10	
13	1	Vagón simple 1	
14	1	Vagón portacilindro 2	
15	1	Eje corto	
16	1	Vagón simple 2	
17	1	Eje largo	
18	1	Vagon portacilindro 1	
19	1	Soporte husillo	
20	2	Cilindro horizontal	
21	1	Cilindro vertical	
22	1	Husillo	
23	1	Alimentación	
24	1	Soporte sensor laser	
25	1	Sensor laser VL53L0X	
26	1	Pared sensor	

Diseño de Juan Antonio Avellano García	Aprobado por Félix Ortiz Fernández	ESC 1:10	Fecha 10/06/2021	UC
 ETS. Ing. Industriales y de Telecomunicación Universidad de Cantabria		ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO Conjunto atornillador		Hoja 16





A=15,5mm
B=17mm
C=40mm



MEDIDA SENSOR LASER 2

ATORNILLADOR NEUMÁTICO AUTOMATIZADO (AUTOMATED PNEUMATIC SCREWDRIVER)

Grado en ingeniería mecánica

ANEXO II

PROGRAMA ARDUINO

Programa_control_del_mecanismo Arduino 1.8.14 Hourly Build 2021/01/29 11:33

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

```

Programa_control_del_mecanismo
#include <VL53LOX.h>
#include <Wire.h>

//creamos los objetos laser y laser2 VL53LOX
VL53LOX laser;
VL53LOX laser2;

//Declaramos las variables y contantes que vamos a utilizar
int d;
int Xa;

#define x1 2 //Si d es mayor que 540mm
#define x2 3 //Si d es igual que 540mm
#define x3 4 //Si d es menor que 540mm
#define AgujeroV 6 //Si Xa está entre 45 y 55
#define AgujeroF 7 //Si Xa no está entre 45 y 55

void setup() {
  //Escribimos nuestro codigo de configuración del programa:
  //Primero inicializamos los laser
  laser.init(1);
  laser.setTimeout(750); //definimos la lectura del laser válida hasta los 750ms
  laser.startContinuous();

  laser2.init(5);
  laser2.setTimeout(750); //definimos la lectura del laser válida hasta los 750ms
  laser2.startContinuous();

  //Definimos que pins son entradas y cuales salidas

  pinMode (1,INPUT); //Lectura del valor del laser
  pinMode (x1,OUTPUT); //Salida si el valor es mayor que 540mm
  pinMode (x2,OUTPUT); //Salida si el valor es igual que 540mm
  pinMode (x3,OUTPUT); //Salida si el valor es menor que 540mm

  pinMode (5,INPUT); //Lectura del valor del laser2
  pinMode (AgujeroV,OUTPUT); //Si el valor está entre 45 y 55
  pinMode (AgujeroF,OUTPUT); //Si el valor no está entre 45 y 55
}

void loop() {

  // Definimos el código de actuación del programa:
  // Determinamos el valor de "d"
  d=laser.readRangeContinuousMillimeters();
  laser.timeoutOccurred(); //Comprobamos que la medida ha sido tomada en el tiempo correcto

  if (d > 545) {
    digitalWrite(x1, HIGH); // Salida high por el pin 2

    digitalWrite(x2, LOW); // Salida low por el pin 3

    digitalWrite(x3, LOW); // Salida low por el pin 4
  }
}

```

```
else if (545 > d > 535) {
    digitalWrite(x1, LOW); // Salida low por el pin 2

    digitalWrite(x2, HIGH); // Salida high por el pin 3

    digitalWrite(x2, LOW); // Salida low por el pin 4
}
else {
    digitalWrite(x1, LOW); // Salida low por el pin 2

    digitalWrite(x2, LOW); // Salida low por el pin 3

    digitalWrite(x2, HIGH); // Salida high por el pin 4
}

//Determinamos el valor de Xa
Xa=laser2.readRangeContinuousMillimeters();
laser.timeoutOccurred(); //Comprobamos que la medida ha sido tomada en el tiempo correcto

if (55<Xa<45){
    digitalWrite(AgujeroV, HIGH); // Salida high por el pin 6

    digitalWrite(AgujeroF, LOW); // Salida low por el pin 7
}
else {
    digitalWrite(AgujeroV, LOW); // Salida low por el pin 6

    digitalWrite(AgujeroF, HIGH); // Salida high por el pin 7
}
}
```